



**ELEKTRİK ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ**

EEMKON 2017

16-18 KASIM 2017

HARBIYE ASKERİ MÜZE KÜLTÜR SİTESİ

- **Biyomedikal Mühendisliği**
(İstanbul Tabip Odası ile Birlikte Düzenlenmektedir)
- **Elektrik ve Kontrol Mühendisliği**
- **Elektronik Sanayi**
- **Enerji Politikaları**
- **İletişim Teknolojileri**
- **Kent ve Elektrik**
- **Mühendislik Eğitimi**



BİLDİRİLER KİTABI

www.eemkon.org.tr

 /eemkon2017

 /eemkon2017

 /eemkon2017



1954
TMMOB
Elektrik Mühendisleri Odası
İstanbul Şubesi

EEMKON 2017

Elektrik Elektronik Mühendisliği Kongresi

Bildiriler Kitabı

Adres: Ergenekon Mah. Cumhuriyet Cad. Adlı Han No:173/3
Harbiye - İstanbul

Tel: 0212 259 11 50

Faks: 0212 258 36 55

Web: <http://istanbul.emo.org.tr>

E-Posta: istanbul@emo.org.tr

EMO Yayın No: SK/2017/698

ISBN: 978-605-01-1128-6

SEMPOZYUM YÜRÜTME KURULU

Erol Celepsoy
 Mehmet Turgut
 Hüseyin Ergun Doğru
 Tuğçe Çakırca
 Mustafa Bulut
 Dağistan Bekiroğlu
 Hasan Ece
 Erhan Karaçay
 İsa Güngör
 Galip Demircan
 Asuman Gülay Yıldırım
 İpek Şen
 F. Kemal Özoguz
 Aydın Akan
 Burak Polat
 Hasan Fırat
 Muzaffer Başak
 Barış Çoruh
 Fikret Küçükdeveci
 Barış Ünlü
 Osman Eroğul
 Hasan Şahin
 Onur Koçak
 Beyza Metin
 İlker Aydın
 M.Timur Aydemir
 Özgür Üstün
 Neslihan Serap Şengör
 Hüseyin Halıcı
 Şeyda Solukcu
 Hakkı Kaya Ocakaçan
 Mustafa Dayanıklı
 Ata Barış Ceyhan
 Gökhan Sezer
 Deniz Ülker
 Hüseyin Orman
 Suat Kaş
 Gazi İpek
 Yasemin Yavuz Kaya
 Bilgin Akbal
 Fatih Nuroğlu
 Nazife İlhan
 Cemil Ünal
 Şenay Karabayır
 Aybent Gökgöz
 Gürkan Serteller
 Erkan Solmaz
 İhsan Yurt
 Mehmet Akif Senol
 Nuruilah Güleç
 Dağistan Bekiroğlu
 Tanay Sıdkı Uyar
 Hatice Geyik
 Tayfun İşbilin
 Selami Çelebioğlu
 Alper Uğur
 Ayşe Şenay
 Aziz Sanır
 Barış Arıkan
 Füsün Sarp Nebil
 Huriye Alacakaptan
 Melike Özlem Bilgili
 Ömür Yıldız
 Selçuk Pakır
 Veyis Sarioğuz
 Cemil Kocatepe
 Demir Gürsoytrak
 Ahmet Turan Aydemir
 Ferruh Iskenderoğlu
 Mustafa Kavukcu
 Fevzi Yıldırım
 Yasin Demiröz
 Selçuk Esen
 Figen Özen
 Belgin Emre Türkay
 Ahmet Tarık Uzunkaya
 Hamit Serbest
 Nihal Türüt
 İrfan Onay
 İrfan Şenlik
 Mehmet Hayri Kartopu
 Özdemir Özkan
 Mehmet Mazmanoğlu
 Tuğçe Ateş

EMO İstanbul Şube Yönetim Kurulu Başkanı
 Düzenleme Kurulu Başkanı
 EMO İstanbul Şube Yönetim Kurulu Başkan Yardımcısı
 EMO İstanbul Şube Yönetim Kurulu Saymanı
 EMO İstanbul Şube Yönetim Kurulu Üyesi
 EMO İstanbul Şube Yönetim Kurulu Üyesi
 EMO İstanbul Şube Yönetim Kurulu Üyesi
 EMO Onur Kurulu Üyesi
 EMO Onur Kurulu Üyesi
 EMO İstanbul
 EMO İstanbul
 Biyomedikal Müh. Sempozyumu Yürütme Kurulu Başkanı
 Biyomedikal Müh. Sempozyumu Yürütme Kurulu Sekreteri
 Biyomedikal Müh. Sempozyumu
 Biyomedikal Müh. Sempozyumu
 Biyomedikal Müh. Sempozyumu
 Biyomedikal Müh. Sempozyumu
 Biyomedikal Müh. Sempozyumu
 Biyomedikal Müh. Sempozyumu
 Biyomedikal Müh. Sempozyumu
 Biyomedikal Müh. Sempozyumu
 Biyomedikal Müh. Sempozyumu
 Elektrik ve Kontrol Müh. Sempozyumu Yürütme Kurulu Başkanı
 Elektrik ve Kontrol Müh. Sempozyumu Yürütme Kurulu Sekreteri
 Elektrik ve Kontrol Müh. Sempozyumu
 Elektrik ve Kontrol Müh. Sempozyumu
 Elektrik ve Kontrol Müh. Sempozyumu
 Elektrik ve Kontrol Müh. Sempozyumu
 Elektrik ve Kontrol Müh. Sempozyumu
 Elektrik ve Kontrol Müh. Sempozyumu
 Elektronik Sanayi Sempozyum Yürütme Kurulu Başkanı
 Elektronik Sanayi Sempozyum Yürütme Kurulu Sekreteri
 Elektronik Sanayi Sempozyumu
 Elektronik Sanayi Sempozyumu
 Elektronik Sanayi Sempozyumu
 Elektronik Sanayi Sempozyumu
 Elektronik Sanayi Sempozyumu
 Enerji Politikaları Sempozyumu Yürütme Kurulu Başkanı
 Enerji Politikaları Sempozyumu Yürütme Kurulu Sekreteri
 Enerji Politikaları Sempozyumu
 Enerji Politikaları Sempozyumu
 Enerji Politikaları Sempozyumu
 Enerji Politikaları Sempozyumu
 Enerji Politikaları Sempozyumu
 Enerji Politikaları Sempozyumu
 Enerji Politikaları Sempozyumu
 Enerji Politikaları Sempozyumu
 Enerji Politikaları Sempozyumu
 Enerji Politikaları Sempozyumu
 Enerji Politikaları Sempozyumu
 Enerji Politikaları Sempozyumu
 Enerji Politikaları Sempozyumu
 Enerji Politikaları Sempozyumu
 Enerji Politikaları Sempozyumu
 İletişim Teknolojileri Sempozyumu Yürütme Kurulu Başkanı
 İletişim Teknolojileri Sempozyumu Yürütme Kurulu Sekreteri
 İletişim Teknolojileri Sempozyumu
 İletişim Teknolojileri Sempozyumu
 İletişim Teknolojileri Sempozyumu
 İletişim Teknolojileri Sempozyumu
 İletişim Teknolojileri Sempozyumu
 İletişim Teknolojileri Sempozyumu
 İletişim Teknolojileri Sempozyumu
 İletişim Teknolojileri Sempozyumu
 İletişim Teknolojileri Sempozyumu
 Kent ve Elektrik Sempozyumu Yürütme Kurulu Başkanı
 Kent ve Elektrik Sempozyumu Yürütme Kurulu Sekreteri
 Kent ve Elektrik Sempozyumu
 Kent ve Elektrik Sempozyumu
 Kent ve Elektrik Sempozyumu
 Kent ve Elektrik Sempozyumu
 Kent ve Elektrik Sempozyumu
 Mühendislik Eğitimi Sempozyumu Yürütme Kurulu Başkanı
 Mühendislik Eğitimi Sempozyumu Yürütme Kurulu Sekreteri
 Mühendislik Eğitimi Sempozyumu
 Mühendislik Eğitimi Sempozyumu
 Mühendislik Eğitimi Sempozyumu
 Mühendislik Eğitimi Sempozyumu
 Mühendislik Eğitimi Sempozyumu
 Mühendislik Eğitimi Sempozyumu
 Mühendislik Eğitimi Sempozyumu
 Mühendislik Eğitimi Sempozyumu
 Mühendislik Eğitimi Sempozyumu
 Mühendislik Eğitimi Sempozyumu
 Mühendislik Eğitimi Sempozyumu
 Mühendislik Eğitimi Sempozyumu
 Mühendislik Eğitimi Sempozyumu

BİLİM KURULU

A. Hülya Obdan - Yıldız Teknik Üniversitesi
Adnan Kaypmaz - Beykent Üniversitesi
Ahmet Dervişoğlu - İstanbul Teknik Üniversitesi
Ata Akın - Acıbadem Üniversitesi
Avni Morgül - Boğaziçi Üniversitesi
Aydın Akan - İzmir Katip Çelebi Üniversitesi
Belgin Emre Türkay - İstanbul Teknik Üniversitesi
Bora Acarkan - Yıldız Teknik Üniversitesi
Burak Polat - Gelişim Üniversitesi
Duran Leblebici - İstanbul Teknik Üniversitesi
Erdal Irmak - Gazi Üniversitesi
Erdal Panayır - Kadir Has Üniversitesi
Esra Saatçı - İstanbul Kültür Üniversitesi
Fatih Mehmet Nuroğlu - Karadeniz Teknik Üniversitesi
Figen Özen - Haliç Üniversitesi
Fikret Küçükdeveci - Kardiosis
Galip Cansever - Yıldız Teknik Üniversitesi
Gökhan Ertaş - Yeditepe Üniversitesi
Güven Önbiçgin - 19 Mayıs Üniversitesi
Hakan Kuntman - İstanbul Teknik Üniversitesi
Hamit Serbest - Çukurova Üniversitesi
Hasan Dinçer - Kocaeli Üniversitesi
Hasan Şahin - Ege Üniversitesi
Herman Sedef - Yıldız Teknik Üniversitesi
Hüsnü Deniz Başdemir - Çankaya Üniversitesi
İbrahim Şenol - Yıldız Teknik Üniversitesi
İpek Şen - Bilgi Üniversitesi
İrfan Şenlik - EMO
Kamuran Kadıpaşaoğlu - Yıldız Teknik Üniversitesi
Kemal Leblebicioğlu - Ortadoğu Teknik Üniversitesi
Leyla Gören Sümer - İstanbul Teknik Üniversitesi
Mana Sezdi - İstanbul Üniversitesi
Mehmet Akif Şenol - Gelişim Üniversitesi
Mehmet Turan Söylemez - İstanbul Teknik Üniversitesi
Metin Salamcı - Gazi Üniversitesi
Mithat İdemem - İstanbul Teknik Üniversitesi
Murat Aşkar - İzmir Ekonomi Üniversitesi
Murat Eyüboğlu - Ortadoğu Teknik Üniversitesi

Murat Okatan - Cumhuriyet Üniversitesi
Mustafa Baysal - Yıldız Teknik Üniversitesi
Mustafa Cem Kasapbaşı - İstanbul Ticaret Üniversitesi
Muzaffer Başak - İstanbul Tabip Odası
N. Özlem Ünverdi - Yıldız Teknik Üniversitesi
Necmi Altın - Gazi Üniversitesi
Neslihan Serap Şengör - İstanbul Teknik Üniversitesi
Nizamettin Aydın - Yıldız Teknik Üniversitesi
Nur Bekiroğlu - Yıldız Teknik Üniversitesi
Onur Koçak - Başkent Üniversitesi
Onur Osman - Arel Üniversitesi
Oruç Bilgiç - İstanbul Kültür Üniversitesi
Osman Coşkunoglu
Osman Eroğul - TOBB ETÜ
Ozan Keysan - Ortadoğu Teknik Üniversitesi
Özcan Kalenderli - İstanbul Teknik Üniversitesi
Özgür Üstün - İstanbul Teknik Üniversitesi
Özlem Birgül - Ankara Üniversitesi
R. Koray Çiftçi - Namık Kemal Üniversitesi
R. Nejat Tuncay - Okan Üniversitesi
Rafet Akdeniz - Namık Kemal Üniversitesi
Ramazan Bayındır - Gazi Üniversitesi
Rengin Ünver - Yıldız Teknik Üniversitesi
Sacit Karamürsel - İstanbul Tabip Odası
Salman Kurtulan - İstanbul Teknik Üniversitesi
Selçuk Paker - İstanbul Teknik Üniversitesi
Selim Şeker - Boğaziçi Üniversitesi
Serhat Şeker - İstanbul Teknik Üniversitesi
Sermin Onaygil - İstanbul Teknik Üniversitesi
Seyhun Solakoğlu - İstanbul Tabip Odası
Siddık Yarman - İstanbul Üniversitesi
Sibel Zorlu partal - Yıldız Teknik Üniversitesi
Şeref Naci Engin - Yıldız Teknik Üniversitesi
Tahsin Saya - İstanbul Teknik Üniversitesi
Tamer Demiralp - İstanbul Tabip Odası
Tanay Sıdkı Uyar - Marmara Üniversitesi
Tayfun Akgül - İstanbul Teknik Üniversitesi
Timur Aydemir - Gazi Üniversitesi
Uğur Savaş Selamoğulları - Yıldız Teknik Üniversitesi
Umut Engin Ayten - Yıldız Teknik Üniversitesi
Yekta Ülgen - Bahçeşehir Üniversitesi
Yusuf Ziya Umul - Çankaya Üniversitesi
Ziya Telatar - Ankara Üniversitesi

İÇİNDEKİLER

SUNUŞ	1
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ SEMPOZYUMU BİLDİRİLERİ	3
Dipper Non-dipper Sınıflandırmasında AKBM Dataları Kullanılmadan Yenilikçi Bir Yaklaşım <i>Semich İmprim, Zehra Aysun Altıkardeş (Marmara Üniversitesi)</i>	4
EKG'den Wavelet Dönüşümü Yardımı ile Transmural Miyokard İskemisinin Belirlenmesi <i>Emre Canayaz, Ömer Akgün (Marmara Üniversitesi)</i>	11
Mikrodenetleyici Kullanarak Kalp Atış Hızının Ölçülmesi <i>Mehmet Merkeççi, Nuran Doğru (Gaziantep Üniversitesi)</i> <i>M. Sadettin Özyazıcı (Bahçeşehir Üniversitesi)</i>	15
Pediyatrik Hastaların Rutin Beyin Manyetik Rezonans Görüntülemelerinde Özgül Soğurma Oranı (SAR) Değerlerinin İncelenmesi <i>İbrahim Aslyüce, Meltem Ceyhan Bilgici (19 Mayıs Üniversitesi)</i>	20
Biyosensör Teknolojisindeki En Son İlerlemeler ve Gelecekteki Potansiyel Uygulamaları <i>Gökhan Şahin (TOBB ETÜ Üniversitesi)</i>	27
Tıbbi Cihaz Satışı Yapan Personelin Eğitimi ve Kuruluşların Yetkilendirilmesi <i>Mana Sezdi, Ahmet Kandemir Pehlivanlı (İstanbul Üniversitesi)</i> <i>Nazif İlker Sezdi (Medibim Medikal Bilişim Kalibrasyon)</i>	41
Tıbbi Cihaz Test, Kontrol ve Kalibrasyon Hizmeti veren Personelin Eğitimi ve Kuruluşların Yetkilendirilmesi <i>Mana Sezdi, (İstanbul Üniversitesi), Nazif İlker Sezdi (Medibim Medikal Bilişim Kalibrasyon)</i>	44
ELEKTRİK KONTROL MÜHENDİSLİĞİ SEMPOZYUMU BİLDİRİLERİ	47
Adaptif Seyir Kontrol Sistemi Simülasyonu <i>Recepşan Günay, Ali Köse, R. Nejat Tuncay (Okan Üniversitesi)</i>	48
Araç Ağı Ve Fonksiyonlarıyla Uyumlu Dijital Gösterge Paneli Tasarımı <i>Şadan Dönmez, Anıl Onur Canbaz, Mustafa Yalçınkaya (Tofaş Türk Otomobil Fabrikası)</i>	53
Bilgisayar Destekli Elektrik Proje Çizim Programı: E3 Series <i>Figen Çoban (CPV Endüstriyel Proje Enerji Bilgi Teknolojileri San. ve Tic. Ltd. Şti.)</i>	61
Büyük Patlama Büyük Çöküş Algoritması ile Aktif Güç Talep Azaltımı için Volt-Var Kontrol Cihazlarının Optimal Çalışma Planı (Türkçe) <i>Gülcihan Özdemir (İstanbul Teknik Üniversitesi)</i>	64
Dağıtık Üretim Kaynaklarında Arıza Karakterleri ve ETAP Yazılımı ile Gerçekleştirilen Arıza ve Koruma Koordinasyonu Çalışması <i>Okan Kondul, Recep Yumurtacı (Yıldız Teknik Üniversitesi)</i>	68
DALI Protokolü ile Kontrol Edilebilen Enerji Tasarruflu LED Sürücü <i>Bünyamin Söğüt, Burak Fulin, Fırat Parlak (Sakarya Üniversitesi)</i>	84
Doğuş Himota İnsansız Deniz Taşıtı <i>Nuri Tüzel, Gürcan Şahin Akıncı, Dilek Tükel (Doğuş Üniversitesi)</i>	90
Elektrik Dağıtım Şebekelerinin Korunmasında Yeni Gelişmeler <i>Ömer Usta, Berkin Kara, Fatih Özveren (İstanbul Teknik Üniversitesi)</i> <i>Cenk Göçer, Mustafa Özgür (ENTES Elektronik)</i>	95
Endüstriyel Otomasyon Kontrol Sistemleri Güvenliği (Siber Güvenlik) <i>Halil Satılışağı (TEMA Makina Otomasyon)</i>	100

Enerji Dağıtım Sistemleri İçin Düşük Kayıplı Düşük Maliyetli Enerji Kalitesi Düzenleyicisi Tasarımı ve Benzetimi	
<i>Ahmet Eren (Endosk Enerji Dağıtım Sistemleri) Ahmet Mete Vural (Gaziantep Üniversitesi)</i>	110
Ev Tipi İndüksiyon Ocaklar İçin Çok Bobinli AC-AC Dönüştürücü Tasarımı	
<i>Metin Öztürk, Nihan Altıntaş (Yıldız Teknik Üniversitesi)</i>	118
Fotovoltaik Jeneratörler için Akbaba Modelini Kullanarak Yeni Bir Mikrodenetleyici Tabanlı MPPT Yönteminin Geliştirilmesi	
<i>Nurettin Gökşenli (Çankırı Karatekin Üniversitesi) Mehmet Akbaba (Karabük Üniversitesi)</i>	123
Gerilim Kaynaklı Konvertörlü Yüksek Gerilimli AC/DC (VSC-HVDC) Hattının Dinamik Analizi ve Kontrolörün Performansı	
<i>Kadir Abacı, Volkan Yamaçlır (Mersin Üniversitesi)</i>	130
İnsan-Elektrik Hibrit Araç için Gerçek Zamanlı Sistem Simülatörü Benzetimi	
<i>Özgür Aktekin, Utku Kiran, Ahmet Sakallı (AVL Araştırma ve Mühendislik)</i>	135
Nesne Takip Eden Robot – Akıllı Taşıma Sistemi	
<i>Fatih İleri, Hasan Mert Kavaf, Dilek Tükel (Doğuş Üniversitesi)</i>	141
Ortak Enerji Depolama Sistemlerinin Elektrik Güç Sistemlerinde Talep Cevabı Konsepti İçin Kullanılması	
<i>Alper Çiçek, İbrahim Şengör, Ozan Erdiç (Yıldız Teknik Üniversitesi)</i>	144
Özilitinti ve Spektral Güç Yoğunluğu Kullanarak Radar Darbe Tekrarlama Aralığı Tahmini ve Karakterize Edilmesi	
<i>Bora Coşkun, M. Emre Çek (Dokuz Eylül Üniversitesi)</i>	154
PowSysGUI: Güç Sistemi Analizi ve Simülasyonu için MATLAB Tabanlı bir GUI Programı	
<i>Serdar Ekinci (Batman Üniversitesi)</i>	159
Sabit Mıknatıslı Senkron Makine İçin Hassas Moment Tahmininin Gerçekleştirilmesi	
<i>Ahmet Faruk Bakan, Abdülkerim Gündoğan (Yıldız Teknik Üniversitesi)</i>	165
Oyun Motoru Kullanılarak Sanal Prototipleme Altyapısı : Augmea Immersive Platform™	
<i>Ali Mehmet Altundağ, Luke Edwards, Cihan Demirkan</i>	
<i>Orhan Aksoy (Augmea Simülasyon Teknolojileri A.Ş.)</i>	171
Şebekeden Bağımsız H5 Eviricili Fotovoltaik Sistem Tasarım	
<i>Ahmet Yüksel, Adnan Cora (Karadeniz Teknik Üniversitesi)</i>	179
Tek Fazlı AC Motorun PVG ile Tahrik Edilerek Akbaba Modeline göre Geliştirilen Yeni MPPT Yöntemiyle Deneysel Olarak Gerçekleştirilmesi	
<i>Nurettin Gökşenli (Çankırı Karatekin Üniversitesi)</i>	182
ELEKTRONİK SANAYİ SEMPOZYUMU BİLDİRİLERİ	187
Acil Aydınlatma ve Yönlendirme Otomasyonu	
<i>Kevork Benlioğlu (EEC Electronics)</i>	188
Akıllı Binalarda Yangın Otomasyonu Sesli Uyarı Sistemleri	
<i>Doğan Alkan (Elektropanç Elektronik Sanayi)</i>	193
İki Peltier Modüllü Termoelektrik Pompası İncelemesi	
<i>Ivaylo Belovski, Anatoliy Aleksandrov, Yovka Nikolova (Prof. D-r Asen Zlatarov University) (Technical University of Gabrovo)</i>	198
Kesintili Mod Flyback Dönüştürücülerde RCD-R Bastırma Hücresinin İletim Yayınımına Etkisi	
<i>Ömer Emre Pepeç (Akım Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş.)</i>	202
Uzay Uygulamaları için FPGA Tabanlı Lojik Devrelerde Üçlü Modüler Yedeklemeli Hata Düzeltme ve İkili Karşılaştırmalı Hata Tespiti Devresi	
<i>Burak Kelleci (Okan Üniversitesi)</i>	207

ENERJİ POLİTİKALARI SEMPOZYUMU BİLDİRİLERİ	211
Afetlerde Doğal Gaz ve Elektrik Sistemlerinin Ortak Yönetimi	
<i>Göktürk Poyrazoğlu (Özyeğin Üniversitesi), Figen Özen (Haliç Üniversitesi)</i>	212
Biyokütle Santralinin Jeotermal Santral ile Karşılaştırılması	
<i>Alara Ulaş, Gürkan Soykan (Bahçeşehir Üniversitesi)</i>	219
IEC 61850: Enerji Otomasyonuna Yeni Protokol	
<i>Elşan Kahraman (Ekosinerji Elektrik San. Tic. A.Ş.)</i>	223
Kablosuz Enerji İletiminin Mobil Robota Uyarlanması	
<i>Mehmet Ali Özçelik (Gaziantep Üniversitesi), Ahmet Ateş (Gaziantep Maçka Akif Tuncel Teknik ve End. Mesl. Lis.)</i>	228
MARKAL Modeli ile Türkiye'nin Optimum Enerji Stratejilerinin Belirlenmesi	
<i>Egemen Sulukan, Doğuş Özkan, (Millî Savunma Üniversitesi, Deniz Harp Okulu) Tanay Sıdkı UYAR, (Marmara Üniversitesi)</i>	234
Mevcut Şebekeler ve Geleceğin Teknolojisi Akıllı Şebekelerin Karşılaştırılması	
<i>Ahmet Batuhan Ünsal, Ozan Gök, Prof. Dr. Nurettin Umurkan (Yıldız Teknik Üniversitesi)</i>	239
Ulusal Güç Sistemimizde Kayıp Yük Değerinin Makroekonomik Analizi ve Hesaplanması	
<i>Mehmet Rıda Tür (Mardin Artuklu Üniversitesi), Ramazan Bayındır (Gazi Üniversitesi)</i>	248
Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Bağlı Sistem Esnekliği: Önemi, Ölçütleri ve Kullanım Alanları	
<i>Göktürk Poyrazoğlu (Özyeğin Üniversitesi)</i>	254
İLETİŞİM TEKNOLOJİLERİ SEMPOZYUMU BİLDİRİLERİ	261
5G: Büyük Ölçekli MIMO, Hüzme Şekillendirme ve Radyo Kaynaklarının Yönetimi	
<i>Ömer Aydın (NETAŞ)</i>	262
5G İletişim Ağı için Yama Anten Tasarımı ve Besleme Yöntemlerinin İncelenmesi	
<i>Orçun Yıldırım, Hüsnü Deniz Başdemir (Çankaya Üniversitesi)</i>	268
Endüstri 4.0 Kapsamında CAN Haberleşmesi Uygulamalarının İncelenmesi	
<i>Özgür Güçlü (FORD Otosan), Selçuk Kızır (Kocaeli Üniversitesi)</i>	277
Hava Araçlarının Enerji Nakil Hatlarına Çarpmasını Önlemeye Yönelik Bir Deneme	
<i>Kamil Karacı (İstanbul Teknik Üniversitesi)</i>	281
Kaotik Dikgen Vektörler Kullanarak Uyumlu Olmayan Çok Kullanımlı Kaotik Haberleşme Sistemi	
<i>Hatice Kübra Dağdeviren, Mehmet Emre Çek (Dokuz Eylül Üniversitesi)</i>	286
Milimetre Dalga Entegre Devreler için Düzlemsel Anten Tasarımı	
<i>Ersin Usta (Ctech Bilişim Teknolojileri), Nurhan Türker Tokan (Yıldız Teknik Üniversitesi)</i>	289
Sinyal Karıştırıcıların LTE/LTE-A Aşağı-Hat Fiziksel Kanalına Etkileri	
<i>Gizay Kısa, Özgür Ertuğ (Gazi Üniversitesi)</i>	293
SONET / SDH ve PDH Teknolojilerinde Veri Performansı	
<i>Mustafa Öztürk, N. Özlem Ünverdi (Yıldız Teknik Üniversitesi)</i>	297
Telekom Veri Merkezleri için Tasarım Standartlarının İncelenmesi	
<i>Çilem Acar, Nihan Altıntaş (Yıldız Teknik Üniversitesi)</i>	301

KENT VE ELEKTRİK SEMPOZYUMU BİLDİRİLERİ	307
Aydınlatmanın Ötesindeki Işık	
<i>Dilara Gürkan (Philips Aydınlatma)</i>	308
Galata Kulesi'nde Aydınlatma Tasarımı Süreçleri	
<i>Nergiz Arifoğlu (NA Lightstyle Aydınlatma Tasarımı ve Danışmanlığı)</i>	310
Gaz İzoleli Hücrelerin 36kV İndirici Merkezlerde Kullanımı	
<i>Mehmet İzzet Güray (İTÜ, Sakarya Mühendislik Fakültesi)</i>	313
Kent, Elektrik ve Aydınlatma	
<i>Rengin Ünver (Yıldız Teknik Üniversitesi)</i>	314
Kentsel Mimari Aydınlatmada Enerji Kullanımını Etkileyen Etmenler	
<i>Müjgan Şerefhanoglu Sözen (Yıldız Teknik Üniversitesi)</i>	
<i>Tuba Bostancı Başkan (Philips Aydınlatma)</i>	318
Meskenlerde Gerçekleşen Ölümlü Elektrik Kazalarının Analizi, Bu Kazalardaki Kusurların ve Kusur Oranlarının Belirlenmesi	
<i>Mehmet Zile (Mersin Üniversitesi)</i>	322
Teknoloji, Modernizm ve Bir Planlama Problemi Olarak Işık Kirliliği	
<i>Emre Güneş</i>	327
Yapı Yüzü Aydınlatması ve Enerji Kullanımı İçin Bir Örnek	
<i>Arezou Mahmoudi, Merve Dönmez Yaşa, Rengin Ünver (Yıldız Teknik Üniversitesi)</i>	328
MÜHENDİSLİK EĞİTİMİ SEMPOZYUMU BİLDİRİLERİ	335
Mühendislik Eğitimi Sorunlarına Yerel Bir Bakış	
<i>Rafet Akdeniz (Namık Kemal Üniversitesi)</i>	336

SUNUŞ

Dünya dönüyor ve o döndükçe bilimsel gelişmeler de neredeyse baş döndürücü bir hızla gündemimize giriyor. Bu gelişmeleri yayın organlarında, bilimsel dergilerde izlemek her zaman yeterli olmuyor. Çünkü bilimsel konular, kendi doğası gereği üzerinde saatler, belki de günler sürecektir tartışmaları da gerektiriyor. Bu tartışmalar genellikle bilimsel dergilerde yayımlanan makaleler üzerinden yazışmalar yoluyla yapılıyor. Ancak bütün bu tartışmaları daha da anlamlı kılmak üzere; bilim insanlarını karşı karşıya getirerek onların sadece ilgilendikleri konularla değil, bunları belirleyen, geliştirip zenginleştiren yaşam anlayışlarını da taşıyıp getirecekleri, akla gelebilecek her konuda fikir alışverişinde bulunabilecekleri ve duyarlı kesimlerin izleyici olarak katılımıyla da canlandırılmış platformlar olarak düzenlenen kongrelerin, belirleyici katkısı her zaman öne çıkıyor.

İşte bu anlayışla, Elektrik Mühendisleri Odası olarak 16-18 Kasım tarihlerinde bu yıl ikincisini düzenlediğimiz Elektrik Elektronik Mühendisliği Kongresi EEMKON 2017’de Odanın etkili ve yetkili olduğu mesleki alanları kapsayan ve uluslararası uzmanların katılımıyla da zenginleştirdiğimiz, 61 ayrı oturumda toplam 230 konuşmacının yer alacağı; “Mühendislik Eğitimi”, “Enerji Politikaları”, “Elektronik Sanayi Uygulamaları”, “İletişim Teknolojileri”, “Elektrik ve Kontrol Mühendisliği”, “Biyomedikal Mühendisliği” ve “Kent ve Elektrik” konulu yedi ayrı sempozyumda bilim insanlarını, üniversiteleri, kamu kuruluşlarını ve sanayi temsilcilerini bir araya getirerek, hem bu alanlar üzerinden mesleki bilgi ve uygulamaların güncellenmesine hem üniversite-sanayi işbirliğinde yeni ufuklar açılmasına ve hem de ülke kalkınmasına, bilimin yol göstericiliğinde katkıda bulunmayı amaçlıyoruz.

EEMKON 2017’nin Bildiriler oturumlarında sunulmak üzere başvuruda bulunan 98 bildirden, öğretim üyelerinden oluşan hakem heyetinin onayından geçen 44’ü ve ayrıca 25 davetli bildiri olmak üzere toplam 69 bildiri sizlerle paylaşmak üzere kitap haline getirdik.

EEMKON 2017’nin tüm meslektaşlarımıza, bilim yaşamımıza, üniversitelerimize, sanayimize ve ülkemize yararlı olması dileğiyle...

Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi

EEMKON 2017 Düzenleme Kurulu



EEMKON 2017

16-18 KASIM 2017
Harbiye Askeri Müze Kültür Sitesi

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ



BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ SEMPOZYUMU BİLDİRİLERİ

Dipper Non-dipper Sınıflandırmasında AKBM Dataları Kullanılmadan Yenilikçi Bir Yaklaşım

Semich İmram¹, Zehra Aysun Altıkardes²

¹Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

semichimpram@marun.edu.tr

²Marmara Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu,

Bigisayar Teknolojileri Bölümü

aaltikardes@marmara.edu.tr

Özet:Hipertansiyon dünyada ve ülkemizde artış göstermiş kardiyovasküler hastalıklarla ilişkili önemli bir halk sağlığı sorunudur. İnsan sağlığına ve sağlık sistemine getirdiği yük düşünüldüğünde tanı ve tedavisi önem kazanmaktadır. Kan basıncı gün içerisinde sirkadyen ritim ile değişmektedir. Gece saatlerindeki kan basıncı değeri gündüz değerine göre 10% veya daha düşük değil ise bu olay non-dipper hipertansiyon olarak tanımlanır ve kardiyovasküler riskleri arttırmaktadır. Bundan dolayı ambulatuvar kan basıncı monitorizasyonu (AKBM), hipertansiyon tanısı ve tedavisinin düzenlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ancak AKBM maliyetli bir yöntemdir ve cihaz gece boyunca hastayı rahatsız ettiği için sağlıklı veriler alınamamaktadır. Bu çalışmada AKBM kullanılmadan ve ön tanı konmadan hastanın laboratuvar ve klinik verileri kullanılarak tanıyı yapan doktora yardımcı olacak karar destek sisteminin hazırlanması hedeflenmiştir. Marmara Üniversitesi Hastane'sinden alınan verilerden AKBM verileri çıkartılarak 80 hasta üzerinde sınıflandırma modelleri oluşturulmuştur. Doğruluk, duyarlılık, özgünlük ve ROC alanı verileri gösterilerek teşhis koyulamamış hastalarda 80% oranında başarı sağlanmıştır ve bu oranın üzerine çıkılması hedeflenmektedir.

Abstract:Hypertension is considered as an important public health problem which is associated with increasing cardiovascular diseases in our country and worldwide. Therefore, it is a burden on human health and the public health system, hence the diagnosis and treatment of hypertension is essential. Blood pressure follows a 24-hour profile, rising in the daytime and falling at night. In case the blood pressure does not fall 10% below the daytime levels, the patient diagnosed with non-dipping hypertension. This type of hypertension causes increased cardiovascular risks. As a consequence, ambulatory blood pressure monitoring (ABPM) is the only method to diagnose non-dipping hypertension. However, this method has high costs and the data from the device may be corrupted because patients have a disturbed night with the device. This study aims to design a decision support system, that will support doctors to diagnose dipper non-dipper pattern of patients, with the assistance of clinical and laboratory data without ABPM. The study was conducted with 80 patients' data in Marmara University Hospital. After the reduction of ABPM attributes the data used for classification model design. These models have 80% accuracy of diagnosing undiagnosed patients and the target is to increase this proportion above this level.

1.Giriş

Yüksek kan basıncı olarak da bilinen hipertansiyon modern toplumlarda yükselen bir tehdit olarak görülmektedir. Dünya sağlık örgütü 2014 rakamlarına göre Türkiye’de erkeklerde hipertansiyon prevalansı 23%, kadınlarda ise 22,9%’dur [1]. Böyle görülmesinin başlıca sebepleri hipertansiyonun kardiyovasküler hastalıklarda ana risk faktörü olarak kabul edilmesi, giderek artan hipertansiyon prevalansı ve antihipertansif ilaçlardaki kayda değer gelişmelere rağmen yetersiz kan basıncı kontrolüdür[2].

Kan basıncının gece saatlerinde düşmesi normal fizyolojik bir değişimdir. Ancak bu değişim kardiyovasküler risk faktörleri ve hipertansiyonun ciddiyeti gibi parametrelerden etkilenmektedir. Gece saatlerinde kan basıncı gündüz değerlerine göre 10% ve daha fazla düşmüyorsa bu olay non-dipper olarak tanımlanmaktadır.Uzun süren gözlemsel araştırmalara göre non-dipper hastalardaki kardiyovasküler olaylarda artış bulunmaktadır. Ayrıca uzun süren klinik denemeler, gece boyunca ilaç tedavisinin doğru uygulanmasıyla daha iyi kan basıncı seviyeleri elde edilirse kardiyovasküler olayların azalacağını göstermiştir[3].Bundan dolayı gerekli tedavinin belirlenmesi ve gereksiz ilaç tedavisinden kaçınılması açısından hipertansif hastanın gece boyunca kan basıncı oranının saptanması gerekmektedir.

Bu bağlamda en çok kullanılan ve bu ölçümlerde standart sayılan Ambulatuvar Kan Basıncı Monitorizasyonu’dur (AKBM). Bu yöntem ile hasta 24 saat boyunca kolunda holter adı verilen ölçüm cihazıyla rutin aktivitesine devam etmektedir. Ancak uykuda cihazın periyodik ölçüm amaçlı çalışmasıyla hasta rahatsız olmakta ve alınan verilerdeki hata payı artmaktadır. Ayrıca bu cihazların ve eğitilmiş personelin maliyeti yüksektir ve zaman kaybına neden olmaktadır. Bundan dolayı bu araştırmada AKBM’na gerek kalmadan hastanın doktor tarafından dipper veya non-dipper olarak sınıflandırılmasına yardımcı olacak karar destek sistemi oluşturulması hedeflenmiştir.

Literatür taraması sonucu dipper non-dipper sınıflandırması için karar destek sistemi üzerinde çalışan sadece bir araştırmaya rastlanmıştır.

Altıkardeş ve diğerleri [4] Tip 2 türü diyabetli hastalarda AKBM metodunu kullanmadan dipper/non-dipper sınıflandırması yapan karar destek sistemi dizayn etmişlerdir. 56 hastadan alınan veriler üzerinde uygulanan algoritmalarla 73,68% duyarlılık oranına ulaşılmıştır. Daha güncel bir araştırmalarında [5] ise duyarlılık oranını 82,14%’e kadar yükseltmeyi başarmışlardır.

Ayrıca Fanciulli ve diğerleri [6] benzer bir çalışmada Parkinson ve çoklu sistem atrofisi (Multiple System Atrophy-MSA) hastaları için karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistem hastalarda AKBM kullanılmadan eğik masa testi ile

elde edilen kardiyovasküler otonom fonksiyon parametrelerini kullanarak hastanın non-dipper olma riskini tanımlamayı hedeflemektedir.

2.Materyal ve Metodlar

Klinik karar destek sistemi olarak da adlandırılan bu sistemler hastanın kişisel bilgileri ile bilimsel bilgiyi birleştirmektedir. Doktorlara yapılacak tanı ve alınacak kararlarda yardımcı olan ve kişisel özelliklere uygun verinin eşleştirilmesi ile çözümler üreten yazılımlardır.[7]

Bu araştırmada tasarlanan karar destek sistemi hastaların klinik ve laboratuvar verilerinden yararlanarak hipertansiyonu dipper veya non-dipper olarak sınıflandırmaktadır. Makine öğrenmesi algoritmaları ile oluşturulan model gelecek yeni hastayı değerlerine bakarak bir sınıfa atayacak ve doktora kararını vermesinde yardımcı olacaktır. Bir modelin oluşturulabilmesi ve eğitilebilmesi için gerçek hastalardan alınmış verilere ve doktorun bu hastalar için koyduğu tanıya ihtiyaç duyulmaktadır. Araştırmada kullanılan veriler Marmara Üniversitesi Hastanesi’nden 80 hastaya aittir ve 47 nitelik (attribute) bulunmaktadır. Bu nitelikler arasında AKBM verileri de bulunmaktadır. Bu yüzden kullanılacak veri setinin belirlenmesi için AKBM nitelikleri çıkartılmış ve geriye 38 nitelik kalmıştır. Bu 38 nitelikten 7’si demografik veri, 6’sı laboratuvar tetkiklerinden elde edilen veri, 10’u otonomik testlerin sonuçları, 2’si EKG ve 13’ü de EKO ölçümleridir.[5]

Algoritmalar aracılığıyla sınıflandırma modellerinin oluşturulması için açık kaynak kodlu Weka isimli yazılım kullanılmıştır. Yeni Zelanda’dan Waikato Üniversitesi’nin geliştirdiği Java tabanlı bir yazılımdır ve kolay arayüzü ve barındırdığı birçok makine öğrenimi algoritması ile veri madenciliği için akademik kesim tarafından yaygın kullanılan programlardan biridir.[8]

Eğitimsel veri madenciliğinde karar ağaçları, rastgele orman (random forest), karar kuralları (decision rules), adimsal regresyon (stepwise regression) ve lojistik regresyon gibi popüler sınıflandırma metodları bulunmaktadır. Uygulanan sınıflandırıcının başarısını belirlemek için kullanılan veri seti eğitim ve test seti olarak ayrılmaktadır. Bu ayırma işlemi çeşitli yöntemlerle yapılabilir.Eğitimsel veri madenciliğinde en çok tercih edilen k katlamalı çapraz doğrulama (k-fold cross validation) yöntemidir. Bu yöntemde öncelikle k değeri belirlenir,literatürde kabul gören değer ise 10’dur. K değeri belirlendikten sonra veri seti k değeri kadar parçaya ayrılır. Parçalardan biri test için seçilir ve diğer parçalar eğitim seti olarak kullanılır. Bu işlem bütün parçalar test seti olarak kullanılabildiği kadar devam eder. Sınıflandırmanın genel başarısı ise elde edilen 10 değişik sonucun ortalaması olarak hesaplanır [9]. Bu çalışmada modeller için verilen değerler 10 katlamalı çapraz doğrulama kullanılarak elde edilmiştir.

3. Deney

Karar destek sisteminin oluşturulmasında en yaygın ve genellikle iyi sonuçlar veren algoritmalar kullanılmıştır. Bunlar karar destek ağaçları , en yakın komşu , Naive Bayes, destek vektör makineleri ve karar kurallarıdır.

AKBM nitelikleri veri setinden çıkartıldıktan sonra geri kalan 38 nitelik baz alınarak verilere yukarıda belirtilen algoritmalar uygulanmıştır. Çeşitli sayıdaki niteliklerle birçok kombinasyon denenmiş ve yüksek doğruluk oranları elde edilen 7 nitelikten oluşan kombinasyonda karar kılınmıştır. Nitelik sayısının azalması, hastanın tanının gerçekleştirilebilmesi için daha az klinik ve laboratuvar testine maruz kalması anlamına gelmektedir. Kullanılan algoritmalar arasında en yüksek doğruluk oranına karar kuralı algoritması olan PART algoritması ulaşmıştır. Ardından da en başarılı algoritma, karar ağacı algoritması olan J48'dir. Kullanılan algoritmaların başarı oranları Tablo 1'de görülebilir.

PART algoritması görece basit ve kural oluşturması aşamasında global optimizasyon tekniği kullanmayan bir algoritmadır. Ayır ve yönet stratejisi kullanarak bir kural oluşturur ve bu kuralın kapsadığı örnekler bir sonraki tekrarda hesaba katılmaz. Örnekler bitene kadar geriye kalan örnekleri kullanarak kurallar oluşturulur. Algoritmanın sonucu karar listeleri olarak adlandırılan bir dizi kuraldır. Böylece her yeni veri bu listedeki kurallarla karşılaştırılıp ilk eşleşilen kurala göre sınıflandırılmaktadır. Basit şekilde anlatmak gerekirse PART algoritması her tekrarda kısmi bir C4.5 (bir karar ağacı algoritması) karar ağacı oluşturarak ağacın en "iyi" yaprak düğümünü kurala dönüştürmektedir.[10]

Tek kuralın elde edilmesi için bütün bir karar ağacının kullanılması gereksiz olduğu ve daha fazla işlem gerektirdiği için kısmi ağaçlar oluşturularak işlemin hızlanması sağlanabilmektedir. PART algoritması da bu avantajı kullanmaktadır. Kısmi karar ağacı, tanımlanmamış alt ağaçlara

(subtree) dalları bulunan sıradan bir karar ağacıdır. Bu şekilde bir ağaç oluşturabilmek için ağaç oluşum ve budama (pruning) işlemleri birleştirilerek daha fazla sadeleştirilemeyen sabit bir alt ağaç bulunmaya çalışılır. Bu özelliklerde alt ağaç bulunduğu yeni bir kural ortaya çıkar.[11]

Doğruluk oranının iyileştirilmesi ve bu sayede başarılı tanı yüzdesinin artması amacıyla 7 nitelikten oluşan kombinasyona nitelikler eklenerek denemeler yapılmıştır. Bu denemelerin sonucunda önceki kombinasyona kilo ve cinsiyet nitelikleri de eklendiğinde doğruluk oranının 81,25%'e kadar yükseldiği gözlemlenmiştir. Toplam nitelik rakamının 38 olduğu düşünüldüğünde, sadece 9 nitelik (AKBM verileri olmadan toplam nitelik sayısının sadece 23%'ne tekabül etmektedir) ile bu sonuca varılması önemlidir. Yeni kombinasyonla en iyi sonucu veren algoritma karar ağacı algoritması J48'dir. Tablo 2'de de görülebileceği gibi J48'in doğruluk oranı dışında, duyarlılık ve özgüllük oranları da tatmin edici düzeydedir.

Ayrıca niteliklerin öneminin eşit olmadığı vurgulanması gereken bir noktadır. 38 nitelikten oluşan veri setini Weka aracılığıyla analiz ettiğimizde en önemli niteliğin (en yüksek bilgi kazancı değeri) HRREP olduğu gözlemlenmiştir. Bunu karar ağacının yapısından da rahatlıkla görmek mümkündür.

J48 algoritması aslında C4.5 algoritmasının açık kaynak kodlu Weka yazılımına uyarlamasıdır. C4.5 karar ağaçlarının oluşturulması için kullanılan Ross Quinlan tarafından geliştirilmiş bir algoritmadır [12]. Karar ağaçları normal ağaçların aksine kökten dallara doğru giden hiyerarşik bir yapıdır. Bu yapıda veriyi bir sonraki düğüme yönlendiren karar düğümleri ve verinin sınıfını belirleyen yapraklar bulunmaktadır. Sınıflandırıcı olarak karar ağacı kullanıldığında, veri kök düğümünden başlanarak bir yaprağa rastlanana kadar dallarda ilerlenmektedir. Yaprğa rastlandığında ise yaprağın temsil ettiği sınıf verinin sınıfı olarak atanır.

Tablo 1: 7 nitelikli kombinasyon algoritma sonuçları

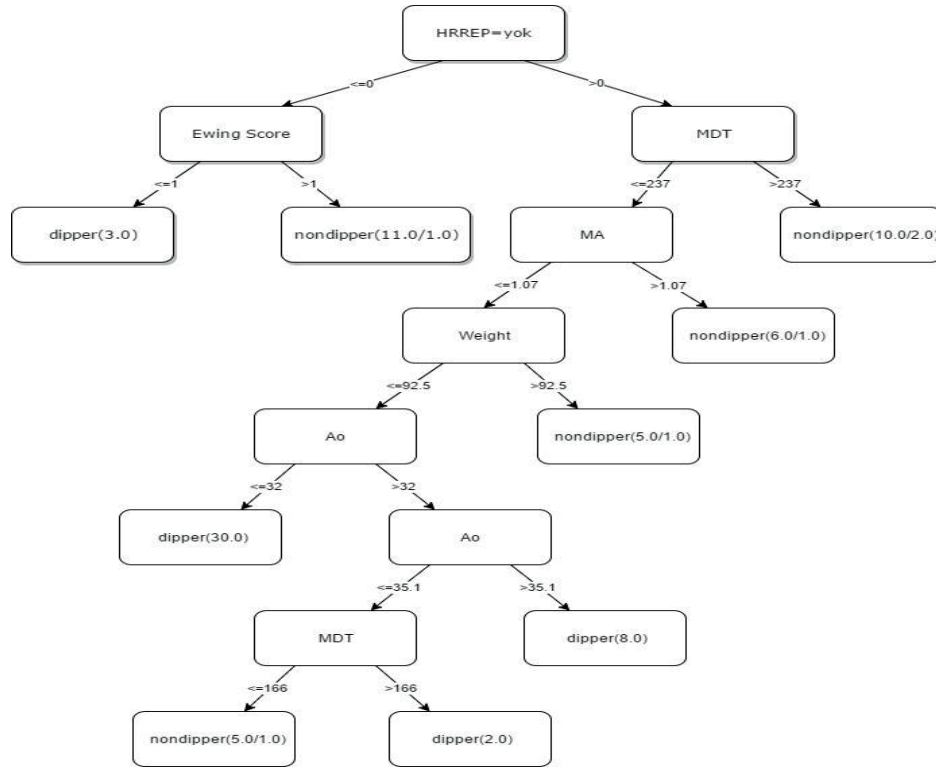
Algoritma	Doğruluk	TP	FP	TN	FN	Duyarlılık	Özgüllük	ROC alanı
SMO	68,75%	10	4	45	21	32,26%	91,84%	0,620
Ibk	70%	16	9	40	15	51,61%	81,63%	0,710
NaiveBayes	72,5%	20	11	38	11	64,52%	77,55%	0,721
J48	78,75%	23	9	40	8	74,19%	81,63%	0,797
PART	80%	21	6	43	10	67,74%	87,75%	0,784

* HRREP,Ewing,MA,MDT,Ao,BSA,EF

Tablo 2: 9 nitelikli kombinasyon algoritma sonuçları

Algoritma	Doğruluk	TP	FP	TN	FN	Duyarlılık	Özgüllük	ROC alanı
SMO	68,75%	13	7	42	18	41,93%	85,71%	0,638
Ibk	70%	15	8	41	16	48,39%	83,67%	0,742
NaiveBayes	71,25%	16	8	41	15	51,61%	83,67%	0,710
PART	78,75%	21	7	42	10	67,74%	85,71%	0,782
J48	81,25%	24	8	41	7	77,42%	83,67%	0,833

* HRREP,Ewing,MA,MDT,Ao,BSA,EF,Weight,Gender



Şekil 1: 9 nitelikli kombinasyon için oluşturulan karar ağacı

Modelin oluşturulması esnasında ise karar ağacının kök düğümünün seçimi için niteliklerin bilgi kazançları (information gain) hesaplanır ve en yüksek kazançta sahip nitelik kök düğümü olarak seçilir.

Öncelikle sistemin entropisi ardından da her nitelik için bilgi kazancı aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$Entropy(S) = -p \cdot \log_2 p - q \cdot \log_2 q \quad (1)$$

$$Gain(S, A) = Entropy(S) - \sum_{v \in Values(A)} \frac{|S_v|}{|S|} Entropy(S_v) \quad (2)$$

$$Non - dipper = 49$$

$$Toplam\ veri\ sayısı\ (Toplam) = 31 + 49 = 80 \quad (3)$$

$$p = Dipper / Toplam = 31 / 80 = 0,3875 \quad (4)$$

$$q = Non - dipper / Toplam = 49 / 80 = 0,6125 \quad (5)$$

$$Entropy(S) = -0,3875 \cdot \log_2(0,3875) - 0,6125 \cdot \log_2(0,6125) = 0,9632 \quad (6)$$

Weka programı ile uygulanan J48 algoritması ile oluşturulan karar ağacı Şekil 1'de görülmektedir. Ağaç boyunca kökün ve her düğümün hangi noktadan ayrılacağını bulabilmek için, düğümdeki niteliğin değerlerine bakılarak hangi noktadan

sonra kalıcı değişikliğin olduğu saptanır ve o düğümde belirlenen değere göre sınıflandırma yapılır.

Son olarak karar destek sisteminin doğruluğunu biraz daha artırabilmek amacıyla aynı nitelikler ile sınıflandırıcı toplulukları kullanılmıştır. Bu topluluklar bir makine öğrenmesi probleminin çözümü için birden çok sınıflandırıcının eğitilmesi ve her sınıflandırıcının sonucunun belirli bir kritere göre birleşmesi ile ortaya çıkmaktadır. Bu şekilde test verisinin sınıf etiketi birden fazla sınıflandırıcının ortak belirlediği sınıf olarak atanmaktadır.[13]

Her problem için en iyi sonucu veren belirli bir model olmadığından dolayı bu metodun hedefi tek modellerin bir kombinasyonu ile sınıflandırmanın yüksek doğruluk değerlerine ulaşmasıdır. Sınıflandırıcı toplulukları ile bir modelin oluşturulmasında iki kademe bulunmaktadır. İlk kademede temel sınıflandırıcılar eğitilmektedir. İkinci kademede ise sınıflandırıcıların çıktıları belirli tiplerdeki kombinasyon planlarına göre birleştirilmekte ve nihai model ortaya çıkmaktadır.

Voting metodu çeşitli sınıflandırıcıların tahminlerini birleştirmek için en basit yöntemlerden biridir. En basit hali olan oy çokluğunda (majority voting) her sınıflandırıcı model bir oya sahiptir. Yeni bir örnek geldiğinde nihai sınıfa oy çokluğuyla karar verilmektedir. Yeni örnek, sınıflandırıcılar tarafından daha çok tercih edilen sınıfa atanmaktadır.[14]

Tablo 3: 9 nitelikli kombinasyon için voting metodu sonuçları

Algoritma	Doğruluk	TP	FP	TN	FN	Duyarlılık	Özgüllük	ROC alanı
Voting (J48+NaiveBayes)	82,5%	24	7	42	7	77,42%	85,71%	0,829

Tablo 4: En iyi sonuçların veren modellerin sonuçları

Algoritma	Doğruluk	TP	FP	TN	FN	Duyarlılık	Özgüllük	ROC alanı
PART	80%	21	6	43	10	67,74%	87,75%	0,784
J48	81,25%	24	8	41	7	77,42%	83,67%	0,833
Voting(J48+NaiveBayes)	82,50%	24	7	42	7	77,42%	85,71%	0,829

Daha önce belirtilen 9 nitelik ile çeşitli sınıflandırıcı toplulukları kullanılmış ve en yüksek doğruluk oranına voting metodu ile ulaşılmıştır. Temel sınıflandırıcılar olarak NaiveBayes ve J48 algoritmaları kullanılarak voting metoduyla 82,5% doğruluk oranı elde edilmiştir.

Modellerin ve sonuç olarak karar destek sisteminin başarısını ölçebilmek için belirli göstergeler bulunmaktadır. Bunlardan önemli olanları yukarıdaki tablolarda gösterilmiştir. Kullanılan göstergeler aşağıdaki gibidir:

Modelin hasta ve değil olarak sınıflandırdığı toplam doğru tanı oranına doğruluk denir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \quad (7)$$

Duyarlılık, gerçekten hasta olan deneklerin model tarafından hangi oranda saptanabildiğini belirten bir olasılıktır.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (8)$$

Özgüllük ise bir modelin gerçekten hasta olmayanları ayırabilme yeteneğini belirten orandır.

$$\text{Özgüllük} = \frac{TN}{TN+FP} \quad (9)$$

Gerçek Pozitif (TP-True Positive): Doktorun tanısına uygun olarak modelin de hasta tanısı (burada non-dipper) koyduğu denek sayısı

Gerçek Negatif (TN-True Negative): Doktorun tanısına uygun olarak modelin de hasta değil tanısı (burada dipper) koyduğu denek sayısı

Yanlış Pozitif (FP-False Positive): Gerçekte hasta olmadıkları halde modelin hasta dediği deneklerin sayısı

Yanlış Negatif (FN-False Negative): Gerçekte hasta olmalarına rağmen modelin hasta değil dediği denek sayısı

ROC eğrisi ikili sınıflandırma sistemlerinin performansının değerlendirilmesinde standart bir metodolojidir. İki boyutlu olan bu eğri, ikili sınıflandırıcının gerçek pozitif oranı (duyarlılık) ile yanlış pozitif oranı (1-özgüllük) arasındaki ilişkiyi göstermektedir. ROC eğrisinin altında kalan alan ise

bir modelin tanınabilirliğini belirlemek için kullanılan bir değerdir. Alan 0 ile 1 arasında değerler alır ve alan ne kadar geniş ise performans da o kadar iyidir. Eğer eğrinin altında kalan alan 1 ise model kusursuz doğruluğa sahiptir. Tam tersine eğer 0 ise model kusursuz yanlışlığa sahiptir. Bundan dolayı alınan değer 1'e yakınsa modelin başarısı daha iyidir. [15]

4. Deneysel Sonuçlar ve Tartışmalar

Tıp alanında uygulanacak bir karar destek sisteminin ana performans ölçütlerinden ikisi duyarlılık ve özgüllüktür. Bu iki ölçüt de sadece teşhis hassasiyetinin tek bir yönüne bakar. Bu yüzden bir sistemin başarılı olması için hem yeteri kadar duyarlı hem de yeteri kadar özgün olmasının sağlanması önemlidir.

Ancak medikal alanda yanlış negatiflerin neden olduğu yanlış sınıflandırmanın zararı yanlış pozitiflerin neden olduğundan daha fazladır. Çünkü yanlış pozitif durumunda daha detaylı testler yapılarak yanlışın farkına varılabilir. Yanlış negatif durumunda ise hastanın hayatı söz konusu olmaktadır. Bu yüzden de karar destek sisteminin özgüllüğe kıyasla duyarlılık oranının daha yüksek olması istenmektedir.[16]

Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'den de görüleceği gibi çalışmada tasarlanan karar destek sisteminin duyarlılığı özgüllüğüne kıyasla daha düşük kalmıştır. Bunun ana nedenlerinden biri de veri setindeki hastalardan sadece 31'nin non-dipper olmasıdır, yani veri seti tamamiyle dengeli değildir.

İlk başta seçilen 7 nitelik ile elde edilen doğruluk oranı 80%'dir. Bunun üzerine çıkabilmek için nitelik sayısının artırılması gerekmektedir. Eklenen iki nitelikte beraber toplam nitelik sayısı 9'a ulaşmıştır. Ancak bu iki nitelik demografik verilerin arasından seçildiği için hastaya herhangi bir klinik test yükü getirmemektedir.

9 nitelik ve karar ağacı algoritması uygulanarak doğruluk oranı 81,25%'e çıkarılmıştır. Ayrıca duyarlılık ve özgüllük oranları ve ROC eğrisi altında kalan alan da tatmin edici sonuçlar vermiştir.

Aynı nitelikler ile sınıflandırıcı toplulukları metodu olan oylama (voting) metodu kullanıldığında ise doğruluk oranı 82,5%'e çıkmıştır. Bunun dışında duyarlılık oranı aynı kalırken özgüllük oranı biraz daha artmış ve ROC eğrisi altında kalan alan hafif düşüş göstermiştir.

Modellerin performans ölçütlerini toplamda karşılaştırdığımızda oylama (voting) metodu kullanılan modelin seçilmesine karar verilmiştir. Doğruluk oranı, yapılan çeşitli kombinasyonlar ve denenen algoritmalar sonucunda alınabilen en yüksek orandır. Aynı durum duyarlılık oranı için de geçerlidir. Özgüllük oranı ise başka sonuçlara göre biraz daha düşük olsa da yeterince yüksektir. Son olarak ROC eğrisi altında kalan alan denemelerde elde edilen en yüksek ikinci değerdir ve 1 sayısına çok yakın olması nedeniyle de modelin başarısını göstermektedir.

5. Sonuç

Bu çalışma AKBM dataları olmadan hipertansiyon hastalarında dipper/non-dipper sınıflandırmasını 80% ve üzerinde doğruluk oranıyla yapabilen bir modelin geliştirilebileceğini göstermiştir. Daha önce de belirtildiği gibi dipper/non-dipper tanısı için AKBM standart prosedür olarak kabul görmektedir. Ayrıca AKBM verilerinin ne kadar belirleyici olduğunu AKBM verileri kullanılan modellerin başarıları da göstermektedir.

Ancak çalışmanın hedefi AKBM gibi maliyetli ve hasta açısından zaman kaybına neden olan bu metodu kullanmadan bir karar destek sisteminin tasarlanmasıdır. Bu sistem prosedürü basitleştirip hızlandırarak tanıyı yapan doktora kolaylık sağlamak ve hastanın maruz kaldığı testleri azaltmaktadır. Bu şekilde hastadan sadece noninvasif olan ekokardiyografi ve otonomik testler istenmektedir.

Sınıflandırma için çeşitli algoritmalar denenmesine rağmen karar ağaçları ve karar kuralı algoritmalarının daha başarılı olduğu gözlemlenmektedir. Ancak bu sonucu genelleştirmek doğru olmaz. Veri madenciliğinde en iyi methodan söz etmemiz mümkün değildir. Her problem için başka bir algoritmanın en iyi sonucu verme ihtimali vardır. Bundan dolayı da belirli bir problem için, alınan sonuçlara göre en iyi algoritmanın belirlenmesi gerekmektedir.

Alınan sonuçların tatmin edici olması nedeniyle tasarlanan modelin daha geniş bir hasta grubunda uygulanması önerilmektedir. Ayrıca daha fazla hastadan oluşan veri seti ve niteliklerin tekrar gözden geçirilmesi ile modelin daha yüksek başarı oranına ulaşması mümkündür.

6. Kaynaklar

[1] World Health Organization. World Health Statistics 2015. Availableat:

http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/170250/1/9789240694439_eng.pdf?ua=1 . Accessed June 28,2017.

[2] Andreadis, E. (2016). Hypertension and Cardiovascular Disease. Cham: Springer International Publishing, p.2.

[3] Mahabala C, Kamath P, Bhaskaran U, Pai N,Pai A, 2013, 'Antihypertensive therapy: nocturnal dippers and nondippers. Do we treat them differently?', Vascular Health and Risk Management, Vol 2013, Iss default, Pp 125-133 (2013), no. default, p. 125.

[4] 'A study to classify Non-Dipper/Dipper blood pressure pattern of type 2 diabetes mellitus patients without Holter device', 2014, 2014 World Congress on Computer Applications and Information Systems (WCCAIS), Computer Applications and Information Systems (WCCAIS), 2014 World Congress on, p. 1.

[5] 'Performance evaluation of classification algorithms by excluding the most relevant attributes for dipper/non-dipper pattern estimation in Type-2 DM patients', 2015, 2015 15th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), 2015 15th International Conference on, p. 665.

[6] Fanciulli A, Strano S, Ndayisaba J, Goebel G, Gioffre L, Rizzo M, Colosimo C, Caltagirone C, Poewe W, Wenning G, Pontieri F, 'Detecting nocturnal hypertension in Parkinson's disease and multiple system atrophy: proposal of a decision-support algorithm', JOURNAL OF NEUROLOGY, vol. 261, no. 7, pp. 1291-1299.

[7] Koç E, Şengül YA, Özkaya AU, Gökçe B, Klinik Karar Destek Sistemleri Kullanımına Yönelik Bir Araştırma: Acıbadem Hastanesi Örneği. İstanbul/Turkey: Academic Press 2012.

[8] Witten I, Frank E, Hall M, Pal C, (2016). Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques.4th Edition. San Diego: Elsevier Science & Technology Books.

[9] López V, Fernández A, Herrera F, 2014, 'On the importance of the validation technique for classification with imbalanced datasets: Addressing covariate shift when data is skewed', Information Sciences, vol. 257, pp. 1-13.

[10] 'A comparative study of Reduced Error Pruning method in decision tree algorithms', 2012, 2012 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering, Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), 2012 IEEE International Conference on, p. 392.

[11] Frank E, Witten IH (1998). Generating accurate rule sets without global optimization. (Working paper 98/2). Hamilton,

New Zealand: University of Waikato, Department of Computer Science.

[12] 'Performance based pruning and weighted voting with classification ensembles', 2011, 2011 IEEE 19th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Signal Processing and Communications Applications (SIU), 2011 IEEE 19th Conference on, p. 194.

[13] Quinlan JR (1993). *C4.5: programs for machine learning*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc.. ISBN: 1-55860-238-0

[14] Bulut F, 2017, 'A new clinical decision support system with instance based ensemble classifiers', Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, vol. 32, no. 1, p. 65-76.

[15] Wang S, Li D, Petrick N, Sahiner B, Linguraru MG, Summers RM, 2015, 'Optimizing area under the ROC curve using semi-supervised learning', Pattern Recognition, vol. 48, pp. 276-287

[16] Mena L, Gonzalez JA, Maestre G, 2009, 'Extracting new patterns for cardiovascular disease prognosis', Expert Systems, vol. 26, no. 5, pp. 364-377.

EKG'den Wavelet Dönüşümü Yardımı ile Transmural Miyokard İskemisinin Belirlenmesi

Emre ÇANAYAZ¹, Ömer AKGÜN²,

¹Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu,
Marmara Üniversitesi,

² Teknoloji Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği
Bölümü Marmara Üniversitesi,
{emre.canayaz, oakgun }@marmara.edu.tr

Özet

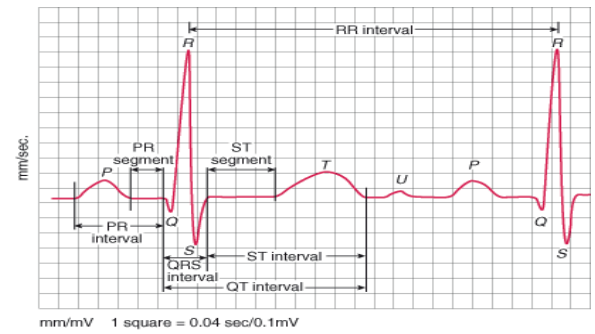
Dünya genelinde en fazla ölüme neden olan kalp hastalıklarının başında miyokard iskemisi ve enfarktüs gelmektedir. Bu çalışmanın amacı EKG sinyallerini dalgacık dönüşüm yöntemi ile incelenmesi ve ilgili sinyalde olası ST yapısının değişimlerinin algılanarak miyokard iskemisinin tespit edilmesini sağlayan bir karar destek sistemi geliştirilmesidir. MATLAB üzerinden geliştirilen uygun algoritma ile ayırık dalgacık dönüşümü EKG sinyaline uygulanarak, sinyal üzerindeki gürültüler giderilmiş ve parçaları belirlenmiş, ST yapısında meydana gelebilecek olası yükselişler tespit edilerek, hastada miyokard iskemisi olup olmadığı sonuç olarak yansıtılmıştır. Sistem Physionet üzerinden alınan sağlıklı veri seti (10 adet normal) ve miyokard iskemisi olan hastalardan alınan sinyallerden oluşmuş veri seti (10 adet hasta verisi) üzerinde denenmiş ve tüm veri setlerinin sınıflandırılmasında tam başarı ile çalışmıştır.

Abstract

Myocardial infarction and myocardial ischemia are deadliest heart diseases. This study aims to create a clinical decision support system which examine ECG signals wavelet transformation method and detect ST structure abnormalities and detect myocardial ischemia. First of all, with suitable algorithm in MATLAB programming language, using wavelet transformation ECG signal was filtered and ECG main structures were determined. After filtering and re-construction part, ST elevation abnormalities which is crucial for diagnosing myocardial ischemia, were observed and presented. System were tested on 10 ECG signals collected from healthy subjects and 10 ECG signals from patients had myocardial ischemia. All data sets were downloaded from Physionet database. System worked with full successes.

1. Giriş

Elektrokardiyogram (EKG) sinyali, kalbin çalışması hakkında bilgi taşıyan bir biyosinyaldir. Bu sinyalin özelliği zamana bağlı olarak fizyolojik ve istatistik özellikleri değişkenlik göstermesi ve durağan olmamasıdır. Frekans aralığı 0.05-100Hz arasında ve genliği ise 1-3 mV arasında değişiklik göstermektedir [2]. Ayrıca şekil özelliğini veren tepciler ve vadiler P, Q, R, S ve T adında harfler ile sembolize edilmektedir (Şekil 1). EKG sinyalinin otomatik olarak analiz edilmesindeki ana amaç, sinyali yorumlayacak ve analiz edecek olan medikal personelin harcayacağı zamanı daha azaltmaktır. Böylelikle teşhis için gerekli olan zamanı daha da kısaltmaya çalışan algoritmalar ile ilgili çalışmalar oldukça popüler konular haline gelmiştir [3].



Şekil 1: Tipik bir EKG sinyali ve üzerinde bulunan farklı segmentler ve noktalar [1]

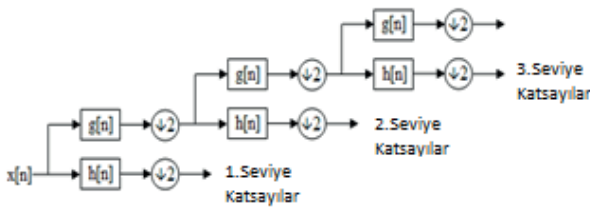
Miyokard hücrelerinin çalışabilmesi buraya yeterli oksijen ve besin iletilmesine bağlıdır. Hücrelerin bu ihtiyacı kronik arterler sayesinde sağlanmaktadır. Bu damarda oluşan kan akımı yetersizlikleri dolayısı ile miyokard iskemisi gerçekleşmektedir. İskemi, dokulara kan sağlayan damarların, bir pıhtı veya mekanik etkenle tıkanması sonucu doku beslenmesinin bozulmasıdır. Geçici ya da kalıcı bir şekilde oluşabilir. Geçici Miyokard iskemisinin uzun süre tekrar etmesi ya da uzun süre kalıcı iskemiyeye maruz kalmak, miyokardın bir kısmında nekroza (doku ölümüne) neden olabilir. Uzun süreli iskemiden kaynaklanan miyokard nekrozuna miyokard enfarktüsü ya da daha bilinen adı ile kalp krizi denilmektedir. Gelişen bu nekroz EKG sinyalinde değişikliklere neden olmaktadır. Bunun ana nedeni nekroza uğramış dokuların canlılığını kaybettikleri için elektrik akımı olmamasıdır. EKG de algılanan elektriksel aktivite ise sağlam miyokardın elektriksel aktivitesidir.

Bu çalışmada akut miyokard enfarktüsünde oluşan transmural iskemisi sonucunda meydana gelen ST kısmındaki yükseliş algılanmıştır. Bu şekilde oluşan enfarktüs, ST segment yükselişi ile oluşan miyokard enfarktüsü (STEMI) olarak adlandırılmaktadır. ST segment yükselişi, iskemisinin görülme süresinin uzunluğuna göre farklı şekillerde olabilmektedir.

MATLAB ortamında, Wavelet Dönüşümü kullanılarak incelenen EKG sinyalleri üzerinde, bu değişim tespit edilmiş, hastada transmural miyokard iskemisi olup olmadığı sonuç olarak yansıtılmıştır. Sistem Physionet üzerinden alınan sağlıklı veri seti (10 adet normal) ve ST segment değişimi olan hastalardan alınan sinyallerden oluşmuş veri seti [4] (10 adet hasta verisi) üzerinde denenmiş ve tüm veri setlerinin sınıflandırılmasında tam başarı ile çalışmıştır.

2. Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık dönüşümü, Fourier dönüşümünün durağan olmayan sinyallerdeki, sinyal işleme özelliklerindeki eksiklikleri gidermek amacı ile geliştirilmiş özel bir sinyal işleme yöntemidir. Gürültüye karşı gösterdiği az hassasiyet sebebi ve durağan sinyallerde kolayca uygulanabilmesi yüzünden popüler bir sinyal işleme yöntemi haline gelmiştir. Böylelikle çalışmalarda frekans tabanlı Fourier dönüşümünün yerine, ölçek tabanlı Dalgacık dönüşümü kullanılmaya başlanmıştır. Ayrık dalgacık dönüşümünün mükemmel frekans lokalizasyon özelliği sayesinde birçok mühendislik ve bilimsel uygulamada kullanılmaya başlanmış, özellikle EKG ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır [5-10].



Şekil 2: Dalgacık ayrıştırma ağacı [5]

Dalgacık dönüşümünde, sürekli bir sinyal, dalgacık adı verilen matematiksel fonksiyonlar sayesinde farklı ölçeklendirme katsayılarına ayrıştırılmaktadır [1]. Ana dalgacık sabit bir dalga şekline sahipken, yavru dalgacıklar ana dalgacığın farklı ölçeklendirilmesi ile elde edilmektedirler. Uygulamamızda her veri penceresinin dalgacık ayrıştırması farklı seviyelerdeki Daubechies (db) dalgacıkları ile ayrık dalgacık dönüşümü gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Ayrık dalgacık dönüşümü ile ilgili fonksiyon aşağıdaki bağlantıda verilmiştir.

$$\Psi_{m,n} \left(\frac{t-\tau}{s} \right) = s_0^{-\frac{m}{2}} \Psi \left(\frac{t-n\tau_0 s_0^m}{s_0^m} \right) \quad (1)$$

Yukarıdaki formülde ifade edilen m ve n tamsayıları, dalgacığın sırası ile ölçek ve zaman eksenindeki ötelenme parametrelerini oluşturmaktadır. s_0 sabit bir öteleme adımı ifade eder ve değeri 1'den büyüktür, τ_0 zaman eksenindeki ötelenme aralık değeridir. Zaman eksenindeki öteleme adımının s_0^m değerine bağlı olarak $n\tau_0 s_0^m$ şeklinde ifade edilebilir. En sık kullanılan s_0 ve τ_0 değerleri sırası ile 2 ve 1'dir [11]. Ayrık dalgacık dönüşümünde ayrık işaretlere ardışık olarak alçak geçiren ile yüksek geçiren filtreler uygulanmakta ve ortaya çıkan işaretler, 2 ile veri azaltmaya tabi tutulmaktadır (Şekil 2)[8].

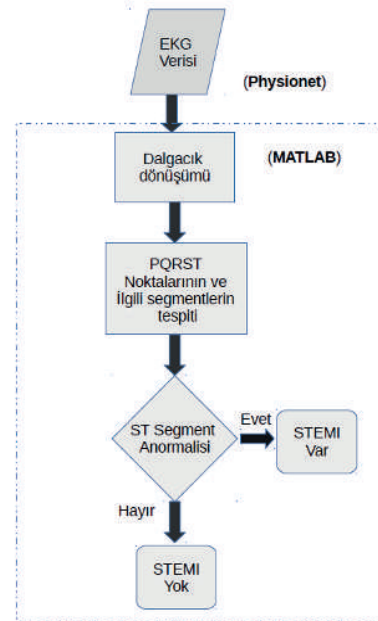
Mallat'ın [11] çalışmasında gösterdiği üzere asıl sinyal x(t) yaklaşık ve detay olacak şekilde iki ayrı seviyeye ayrılır.

Bunun üzerine öncelikle yaklaşık ve onunla aynı seviyeden başka bir detay serisine ayrılır. Bu şekilde başlayan işlem, yaklaşıklık serisinin diğer filtrelerinden geçirilmesi ile devam eder. Böylelikle elimizdeki sinyal çözünürlüklü analiz yapılabilmek için, birçok kat çözünürlük seviyesindeki bileşenlerine ayrılmış olur. Burada yaklaşıklık serisi işaretin yüksek ölçekli ya da düşük frekanslı bileşenini, detay serisi ise düşük ölçek ve yüksek frekanslı bileşenini temsil eder. Bileşen ayrıştırma işleminin ardışık şekilde uygulanması ile istenilen çözünürlükteki bileşenlerini elde etmek mümkün olabilmektedir (Şekil 2) [12].

Orijinal $x(q)$ işareti öncelikle yüksek geçiren $g(q)$ filtresinden ve alçak geçiren $h(q)$ filtresinden geçirilir. Bu işlem sırasında zaman (t) tam sayı değeri olarak alınmaktadır ve q ile sembolize edilir. Buradaki seviyeli ayrıştırma işlemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir [13]. Burada k filtre seviyesini gösterirken, $y_{yüksek}(k)$ ve $y_{alçak}(k)$ sırası ile yüksek ve alçak geçiren filtrelerin çıkışlarıdır.

$$y_{yüksek}(k) = \sum_n x(q)g(2k - q)$$

$$y_{alçak}(k) = \sum_n x(q)h(2k - q)$$

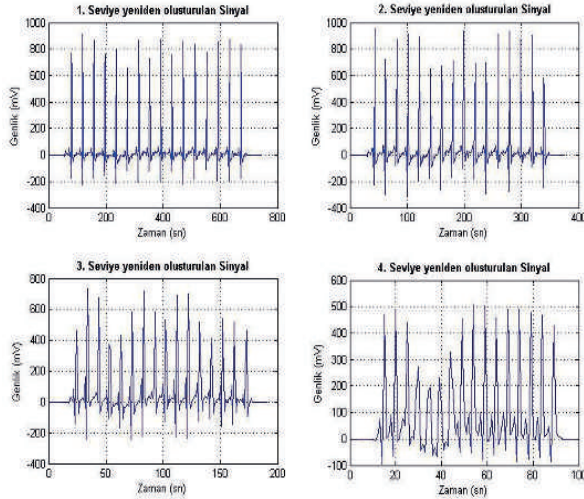


Şekil 3: Sistemin çalışmasını özetleyen blok diyagramı

3. Önerilen Sistem

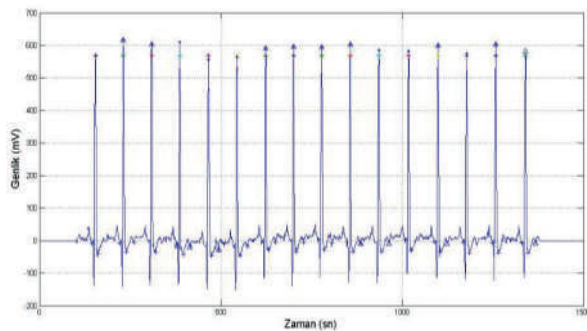
Sistemimiz MATLAB ortamı üzerinden, kullanıcının ilgili EKG örnek sinyalini, programa yüklemesi ile çalışmaktadır (Şekil 3). PhysioNet [4] üzerinden alınan EKG sinyal örneklerinde öncelikle elektrotların bağlanması ve sökülmesi sırasında oluşabilecek olan ani değişimlerden arındırılmalıdır. Bunun için yüklenen örneğin en baş ve en son kısımlarında, elektrotun bağlanması sırasında oluşabilecek hatalar gözlemlendi.

Eğer böyle bir hata varsa ilgili alan silindi, ölçümün düzenli ve sürekli alınabildiği kısımlar ile çalışıldı. Sonrasında dalgacık dönüşümü ile EKG sinyali işleme tabi tutuldu. Şekil 4’de, farklı seviyedeki ayrık dalgacık dönüşümleri kullanılarak tekrar oluşturulmuş EKG sinyalleri sunulmuştur.



Şekil 4: Daubechies dalgacığı kullanılarak farklı seviyelerden elde edilen katsayılardan oluşturulan EKG sinyal örnekleri

Elde edilen katsayı değerleri ile sinyal gürültülerden ayıklanarak daha pürüzsüz hale getirilmiştir. Çalışmamızda db4 dalgacığı ana dalgacık olarak kullanılmış, en çok kullanılan ölçek adımı olan seviye 2 katsayıları kullanılarak EKG sinyali üzerinde ayrık dalgacık dönüşümü ve geri oluşturma işlemleri yapılmıştır (Şekil 5). Bunun sonrasında ise, EKG sinyaline özgü olan yapıların yerlerin geliştirilen bir algoritma tarafından belirlenmiştir. Bu algoritmada, öncelikle EKG’ye ait yapıların oluştuğu aralıklar belirlenmiş, daha sonrasında ise bu yapılar içerisindeki maksimum ve minimum noktaların belirlenmesi ile orijinal sinyal üzerinde, bulunan kritik noktaların işaretlemeleri yapılmıştır (Şekil 5). Daha sonrasında ise EKG sinyalinin ST bölümüne odaklanarak normalde göreceli olarak düz olması gerek ST bölümünde (Şekil 1) normal dışı yükselme olup olmadığı, ilgili bölgenin genlik değerine bakılarak tespit edilmiş ve böyle bir yükselme eğilimi var ise program kullanıcıya “STEMI Var” uyarısı vermesi sağlanmıştır.



Şekil 5: Daubechies dalgacığı kullanılarak yapılan 2. seviye dönüşüm sonucunda elde edilen katsayılardan oluşturulan EKG sinyal örneği ve EKG sinyali ile ilgili işaretlenen önemli parametreler

4. Sonuçlar

STEMI’nin tipik belirtisi olan ST segment yükselişi hastalara ve hasta olmayanlara ait olan toplam 20 EKG verisi [4] üzerinde test edilmiştir. Tablo 1’de veri girişi yapılan 20 adet örnek için sistemin ürettiği tahminlerin hata matrisleri verilmiştir.

Tablo1.Sistemin yaptığı öngörülerin hata matrisi

		Tahmin edilmiş durum	
		STEMI Var	STEMI Yok
Gerçek Durum	STEMI Var	10	0
	STEMI Yok	0	10

Bu değerlere göre incelendiğinde sistem, verilen tüm veriler için yaptığı tahminlerde 100% doğrulukla çalışmaktadır. EKG sinyali üzerinde yapılan işlemlerin ardından ilgili sonuç, ST segmentindeki artışa göre MATLAB ekranına “STEMI Var” ya da “STEMI Yok” olarak yansıtılmıştır.

5. Tartışma

Önerilen sistem için en büyük kısıtlayıcı faktör sadece STEMI tipi miyokard iskemiyi algılayabilmesidir. Yani ST segmentindeki yükselişler 100% doğruluk ile algına bilmektedir. Ancak ST segmentinin çökmesi ile gerçekleşen ST yükselmesi olmayan miyokard enfarktüsü (NSTEMI) algılanması ilk aşamada gerçekleştirilmemiştir. Ancak ilerleyen aşamalarda, ilgili yazılımın sadece ST bölümündeki artışa bağlı anomalileri değil aynı zamanda, düşmesinden kaynaklanan anomalileri de algılayacağı düşünülmektedir.

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde Wu ve arkadaşlarının [14] miyokard enfarktüs sınıflandırma algoritmasında, çok ölçekli derin öğrenme yapay zeka sistemi kullanmıştır. Buna ek olarak Erdoğan ve arkadaşları [15] yapay sinir ağı tekniği ile QRS segmenti araştırması yapmadan, Hızlı Fourier dönüşümüne göre 90% doğruluk ile çalışan bir EKG karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Bu çalışmaların ışığında daha detaylı bir karar destek sistemi geliştirmek ve sınıflandırma işlemlerinin diğer tüm kalp tabanlı hastalıklara uygulanabilirliği için, yapay zeka kullanımının kaçınılmaz olduğu gözlemlenmiştir. Gelecekte, algoritmamızın EKG sinyalinde önemli bölümleri bulduktan sonra bulanık mantık yardımı ile sınıflandırma yapıldığında performansının, EKG kullanılarak tanı konulan diğer kalp hastalıklarını kapsayacak şekilde artacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Xhaja, B., E. Kalluci, and L. Nikolla, *WAVELET TRANSFORM APPLIED IN ECG SIGNAL PROCESSING*. European Scientific Journal, 2015. **11**(12).
2. Ciupe, A.M. and N.M. Roman. *Study of ECG signal processing using wavelet transforms*. in *2015 9th*

- International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*. 2015.
3. Cuiwei, L., Z. Chongxun, and T. Changfeng, *Detection of ECG characteristic points using wavelet transforms*. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 1995. **42**(1): p. 21-28.
 4. Goldberger AL, A.L., Glass L, Hausdorff JM, Ivanov PCh, Mark RG, Mietus JE, Moody GB, Peng C-K, Stanley HE. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals. *Circulation* 101(23):e215-e220 [Circulation Electronic Pages; <http://circ.ahajournals.org/content/101/23/e215.full>]; 2000 (June 13).
 5. Noorian, A., N.J. Dabanloo, and S. Parvaneh. *Wavelet based method for localization of myocardial infarction using the electrocardiogram*. in *Computing in Cardiology 2014*. 2014.
 6. Muhammad Sheikh, S., et al. *A new approach to extract features from ECG signals*. in *2015 2nd International Conference on Electrical Information and Communication Technologies (EICT)*. 2015.
 7. Christopher, R.K.a.T., *A Study on ECG Signal Classification Techniques*. International Journal of Computer Applications, 2014. **86**(14): p. 9-14.
 8. VATANSEVER, F., F. UYSAL, and A. UZUN, *AYRIK DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ İLE GÜRÜLTÜ SÜZME*.
 9. Bsoul, A.A.R., et al. *Detection of P, QRS, and T components of ECG using Wavelet Transformation*. in *Complex Medical Engineering, 2009. CME. ICME International Conference on*. 2009. IEEE.
 10. Milosavljevic, N. and A. Petrovic. *ST segment change detection by means of wavelets*. in *Neural Network Applications in Electrical Engineering, 2006. NEUREL 2006. 8th Seminar on*. 2006. IEEE.
 11. Mallat, S.G., *A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation*. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 1989. **11**(7): p. 674-693.
 12. Misiti, M., et al., *Wavelet toolbox*. The MathWorks Inc., Natick, MA, 1996. **15**: p. 21.
 13. KÜÇÜK, M. and N. AĞIRALIOĞLU, *Dalgacık dönüşüm tekniği kullanılarak hidrolojik akım serilerinin modellenmesi*. İTÜDERGİSİ/d, 2011. **5**(2).
 14. Wu, J., et al. *Myocardial infarction detection and classification—A new multi-scale deep feature learning approach*. in *Digital Signal Processing (DSP), 2016 IEEE International Conference on*. 2016. IEEE.
 15. Erdoğan, P. and A. Pekçakar, *Dalgacık dönüşümü ile ekg sinyallerinin özellik çıkarımı ve yapay sinir ağları ile sınıflandırılması*. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 2009: p. 13-15.

Mikrodenetleyici Kullanarak Kalp Atış Hızının Ölçülmesi

MEHMET MERKEPÇİ¹, M.SADETTİN ÖZYAZICI², NURAN DOĞRU¹

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gaziantep Üniversitesi, 27310 Gaziantep, Türkiye

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bahçeşehir Üniversitesi, 34353 İstanbul, Türkiye

merkepci@gantep.edu.tr, sadettin.ozyazici@eng.bau.edu.tr, dogru@gantep.edu.tr

Özet : Kalp atışı direk olarak insan kardiyovasküler sistemi ile alakalı çok hayati öneme sahip bir sağlık göstergesi parametresidir. Bu projede parmak ucuna takılabilen bir sensor tasarlanıp mikrodenetleyici yardımı ile kalp atış hızını ölçebilen bir teknik verilmiştir. Kalp atarken aslında tüm vücut boyunca kanı pompalar ve aynı zamanda parmak atardamarlarının içine de kanı pompalar. Bu kan akışındaki dalgalanma parmak ucuna yerleştirilmiş optik alıcı sayesinde bir sinyale dönüşür. Bu sinyalin genliği yükseltilir ve mikrodenetleyicide bu işaret işlenir. Nihayetinde elde edilen veri ise aslında kalp atış hızıdır.

Anahtar sözcükler: Mikrodenetleyici, kalp atış hızı.

Abstract : Heart rate is a vital health parameter that is directly related to the soundness of the human cardiovascular system. This project describes a technique of measuring the heart rate through a fingertip using a PIC microcontroller. While the heart is beating, it is actually pumping blood throughout the body, and that makes the blood volume inside the finger artery to change too. This fluctuation of blood can be detected through an optical sensing mechanism placed around the fingertip. The signal can be amplified further for the microcontroller to count the rate of fluctuation, which is actually the heart rate.

Keywords : Microcontroller, heart rate.

1. Giriş

Photoplethysmography [1] (PPG) dokuların mikrovasküler yataklarındaki kan hacminin değişimini gözlemleyen ve bu değişim sayesinde insan hayatı için hayati öneme sahip parametreleri ölçebildiğimiz ve oldukça güvenilir bir ölçüm tekniğidir. Bu teknik ekonomik olması ve teknolojiyi kullanması sebebi ile bir çok klinik ve medikal uygulamaya sahiptir. Puls oksimetre, vasküler diagnosis, beat-to-beat kalp atışı ölçülmesi bu tekniğin bazı uygulamalarındandır. PPG tekniği basitçe dokuyu aydınlatabilmek ışık kaynağı ve bu aydınlanan yüzeydeki ışık yoğunluğundaki küçük değişimlerin ölçülebilmesi için bir fotodedektörden oluşmaktadır.

PPG genellikle invaziv değildir ve en iyi bilinen dalga şekli periferik atımdır ve PPG sinyali kalp her attığında senkronize bir şekilde dalga şekli olarak ortaya çıkar. bu teknik oldukça basit ve kompleks olmamasında karşın PPG sinyallerinin farklı komponentlerinin kökleri hala tam olarak anlaşılamamıştır. buna karşın yinede PPG tekniği kardiyovasküler sistem hakkında oldukça önemli ve değerli bilgiler içermektedir [2].

Bu bildiri 2 kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda PPG'nin basit işlemleri ve fonksiyonlarının tanımı ve ışığın doku ile etkileşimi ve PPG nin tarihçesi hakkında temel bilgiler verildi. İkinci kısımda ise dizayn edilen devre ve ölçüm tekniği hakkında bilgiler verildi.

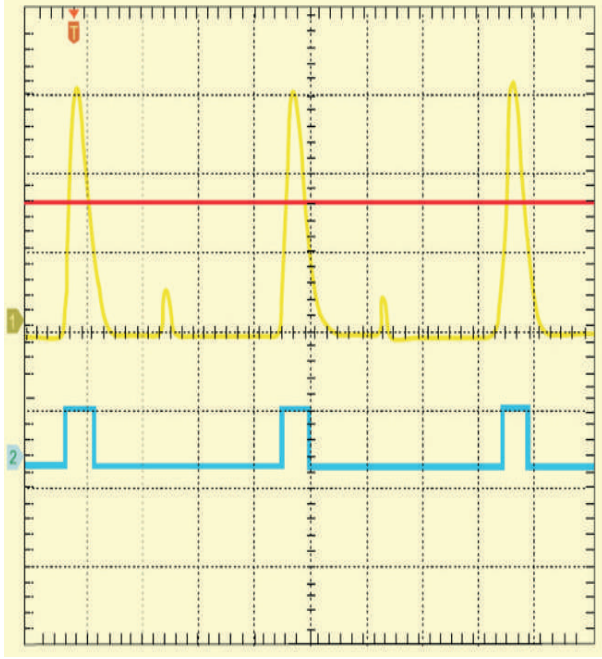
Ayrıca PPG tekniği non-invaziv olduğu ve hastanın fiziksel olarak rahatını bozmadığı için çoğunlukla tercih edilen geçerli bir metot olarak literatürde yer almaktadır.

2. PPG'nin Tarihçesi ve Hayati Sinyallerin Ölçümü

Son yıllarda PPG sinyallerin işlenmesi klinik hasta parametrelerinin görüntülenmesinde çok önemli teknolojik ilerlemeler kaydedilmesine yol açmıştır. Dakikadaki kalp atımının ve kandaki oksijen saturasyonunun [3] ölçülmesi (hayati sinyaller) bu duruma örnek olarak verilebilir. 1990'ların başından itibaren anestezi altındaki hastaların verilerinin görüntülenmesinde PPG tekniği uluslararası zorunluluk haline getirildi. Basit kullanımı ve ucuz maliyeti nedeni ile günümüzde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.1 Kalp Atış Hızının Ölçülmesi

Kalp atışı bir insanın sağlık verilerini gösteren en önemli parametrelerinden biridir. PPG sinyalinin AC ve DC bileşenleri içermektedir [4]. AC bileşen direkt olarak kalp atışı ile alakalıdır ve kalp atış bilgisinin kaynağıdır. Şekil 1' de bu bilgiler görülebilir.



Şekil 1: İnsan kalp atış gerçek grafişi (1), kalp atışının atım olarak gösterimi (2).

Sağlıklı bir insanda 1 dakika içerisinde kalp yetişkinler için 60-100 arası, çocuklar için 100-120 arası ve bebekler için 100-140 [5] arasında atım yapmalıdır. Fakat bu oran gün içerisindeki aktivitelere göre artıp azalabilir. Stres, hastalık veya egzersiz yapma gibi durumlarda kalp atış hızı değişir. Kalp atım gerçekleştirdikten sonra kan basınçla diğer organlara gider. Nabız dediğimiz şeyde kalp atımından sonra gerçekleşir. Kısaca nabız 1 dakika içerisinde kalp atımlarının toplamıdır. Yani kalp atım toplamı ile nabız aynı şeydir ancak süreleri farklıdır. Nabız kalbin atımından sonra gerçekleşir. Burada değinilmesi gereken diğer bir konu ise kan basıncıdır. Kan basıncı (arteriyel kan basıncı) kan damarlarının üzerinde meydana gelen basınç olarak adlandırılır. Kan basıncı 2 kategoride sınıflandırılır. Birincisi sistolik kan basıncı ikincisi ise diastolik kan basıncıdır ve milimetre civa (mm Hg) olarak birimlendirilir.

Düşük kan basıncı hipotansiyon (hypotension), yüksek kan basıncı hipertansiyon (hypertension) olarak adlandırılır.

kişiden kişiye değişkenlik göstermekle beraber, normal kan basıncı sırasıyla sistolik kan basıncı için 130 mm Hg, diastolik kan basıncı en çok 85 mm Hg olmalıdır. Bu değerler normal kan basıncı olarak kabul edilmektedir. Hipertansiyonda ise bu değerler sistolik kan basıncı için 140 mm Hg ve üzeri, diastolik kan basıncı için ise 90 mm Hg ve üzeri olarak gözlenmektedir [6].

Aynı şekilde hipotansiyon için sınır değerler ise sistolik kan basıncı için 90 mm Hg ve diastolik kan basıncı için 60 mm Hg olarak verilmektedir.

3. Ölçüm Cihazı

Sistemin ölçüm kısmı tasarlanan bir sensör tarafından yapılmaktadır. Bu sensör yüksek yoğunluklu kırmızı led (660 nm), infrared IR (940 nm) ve fotodirençten (LDR) oluşmaktadır.

Kırmızı led ve infrared parmağa giydirilebilen sensörün bir kısmında (tırnağa gelecek şekilde) foto direnç ise parmağın diğer kısmına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Burada kırmızı led daha sonra kan oksijen saturasyonun ölçülebilmesi için devreye eklenmiştir. Kalp attığında oluşan sinyal uygun bir şekilde filtrelenip yükseltildikten sonra bir analog dijital çevirici (ADC) sayesinde dijital pulse haline getirilip uygun bir şekilde değerlendirilip, analiz edilip ekranda gösterilmesi için bir mikro işlemciye gönderilir. Değerlendirilen bu veri dijital olarak mini LCD ekranda gösterilir. Ekrandaki değer kişinin kalp atışını gösterir.

3.1 Donanım Dizaynı

Devre temel olarak 2 ana bölümden oluşmaktadır. Bunları darbe üretici kısım ve sayıcı kısım olarak adlandırmak mümkündür.

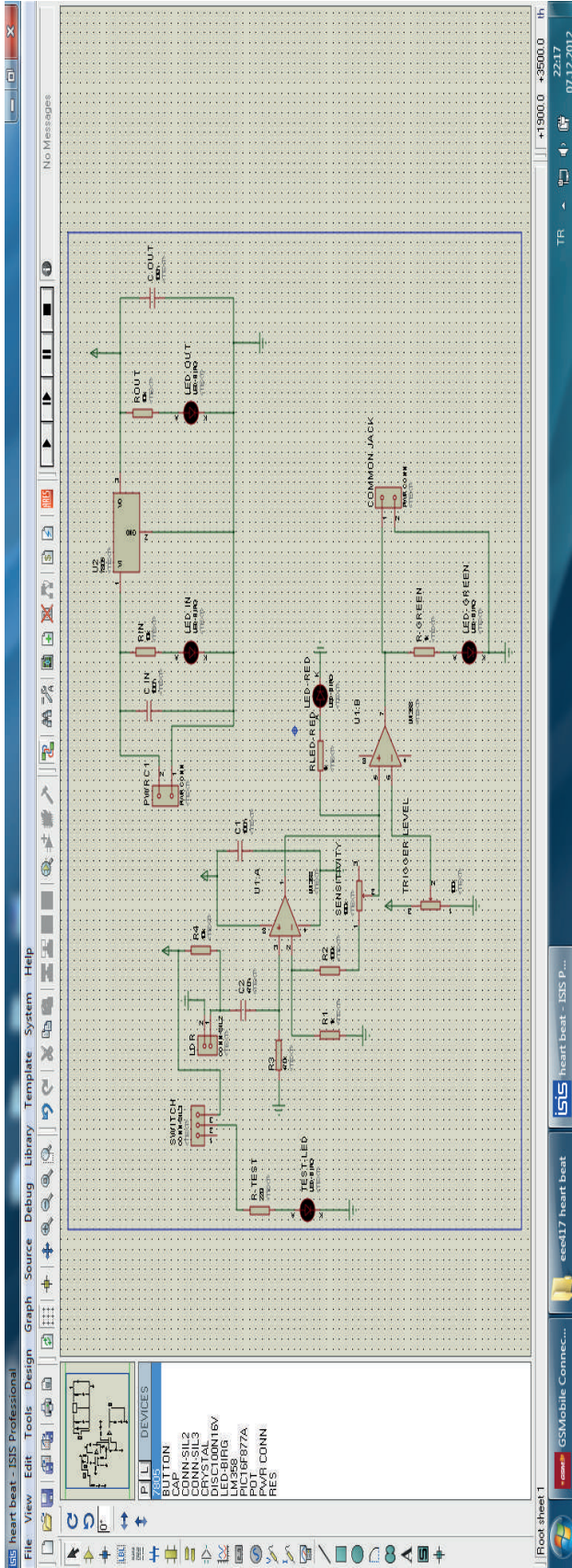
Darbe üretim kısmında, parmak altı ve verici kısımlar (Infrared, Kırmızı led- Fotodirenç arası) arasında yerleştirildiği zaman oluşan analog sinyal (PPG sinyali) öncelikle uyumlu hale getirilir daha sonra filtrelenir ve sinyal bir yükselteç (amplifier) yardımı ile yükseltilir. Daha sonra belirli eşik değerinin altında kalan sinyaller elemine edilir. Elde edilen bu yükseltilmiş ve filtrelenmiş mikrodenetleyicinin uygun bacaklarına iletilir ve burada dijital (darbe-pulse) hale getirilir.

Pulse haline gelen bu dijital sinyal yine tasarlanan bir sayıcı devre sayesinde sayılır. Bir insanın kalp atış sayısı 1 dakikadaki kalp atışlarının toplamı olduğu için parmak sensör kısmında 1 dakika boyunca takılı halde bekletilir. Nihayetinde sayıcı kısımda bir dakika boyunca sayılan pulse ların sayısı toplamı o kişinin kalp atış hızını göstermektedir. Elde edilen bu bilgi daha sonra ekranda gösterilmek üzere mikrodenetleyicinin uygun bacakları kullanılarak mini LCD ekrana gönderilir ve kişi tarafından kolaylıkla ekranda okunabilir.

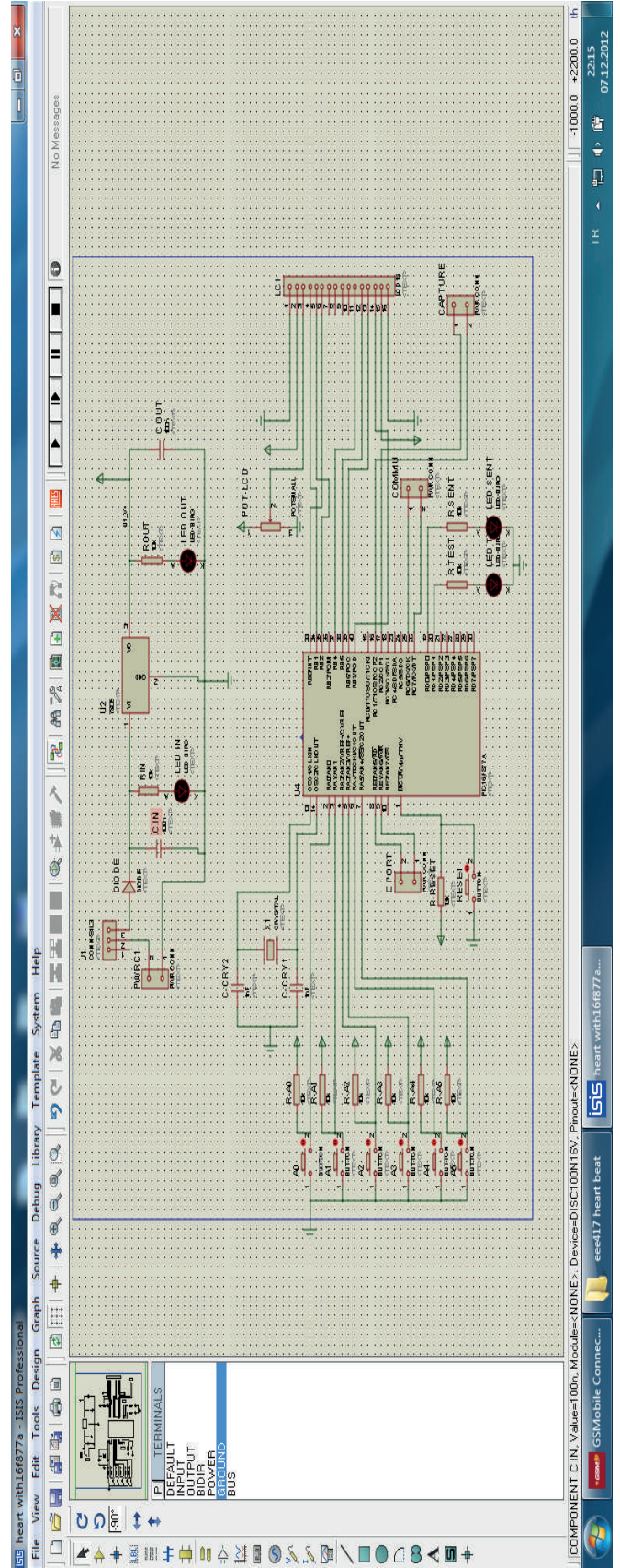
Sırası ile darbe üretici devre ve sayıcı devrenin devre şeması Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmiştir.

Sistemin genel yapısı ve blok diyagramı ise Şekil 4'de gösterilmiştir.

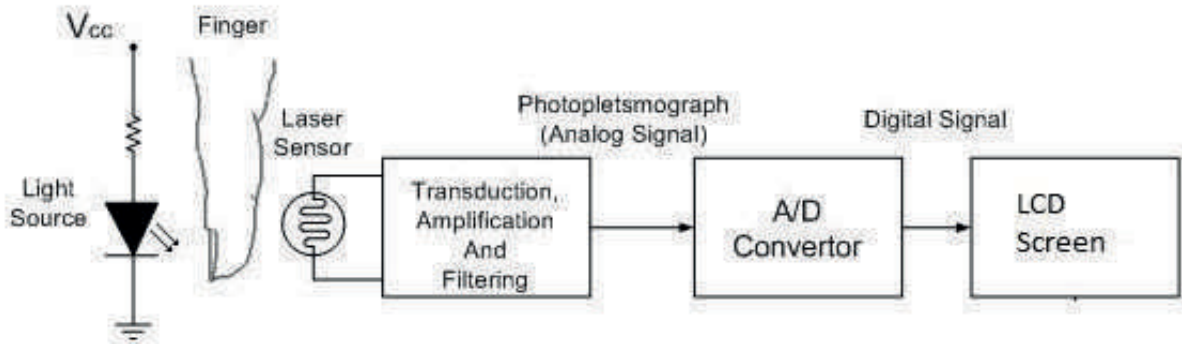
Şekil 5'de ise devrenin fiziksel olarak gösterimi verilmiştir. Siyah kutu şeklinde olan kısım ölçüm devresi (sensor) olup dışarıdan içeriye ışık girmemesi için izole edilmiştir. Aksi takdirde ölçümlerin doğruluğunda hata olabilir.



Şekil 2. Darbe üretici(Pulse generator) devre şeması



Şekil 3. Sayıcı (Counter) kısmının devre şeması



Şekil 4. Dizayn edilen devrenin blok diyagramı olarak gösterimi



Şekil 5. Dizayn edilen devrenin fiziksel gösterimi

4. Sonuç

Bu çalışmada düşük maliyetli ve taşınabilir mikroişlemci tabanlı kalp atışı hızı ölçücü devre dizayn edilmiştir. Profesyonel olmayan insanların rahatlıkla kullanabileceği basit ve kullanışlı bir cihaz olması bakımından cihaz iyi bir avantaja sahiptir. Elde edilen bilgiler kolaylıkla doktor veya yetkili bir personele rahatlıkla iletilebilir ve kişi kendi tedbirlerini de alabilir.

Referanslar

- [1] Allen J 2007 Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement *Physiol. Meas.* 28 R1–39
- [2] Webster JG. Design of pulse oximeters. Philadelphia: Institute of Physics Pub; 1997.
- [3] John G. Webster (editor), Medical instrumentation, application and design, second edition, Houghton Mifflin Company, 1992
- [4] U.S. Department Of Health And Human Services National Institutes of Health National Heart, Lung, and Blood Institute National High Blood Pressure Education Program NIH Publication No. 03-5232 May 2003
- [5] Lindberg L G and Oberg P A 1991 Photoplethysmography: part 2. Influence of light source wavelength *Med . Biol. Eng. Comput.* 29 48–54
- [6] Gazi Maruf Azmal, Adel Al-Jumaily, Mohamed AlJaafreh, “Continuous Measurement of Oxygen Saturation Level using Photoplethysmograph Signal”, Intl. Conf. on Biomedical and Pharmaceutical Engineering, ICBPE 2006

*SorumluYazar : merkepçi@gantep.edu.tr

Pediyatrik Hastaların Rutin Beyin Manyetik Rezonans Görüntülemelerinde Özgül Soğurma Oranı (SAR) Değerlerinin İncelenmesi

İbrahim ASLIYÜCE¹, Meltem CEYHAN BİLGİCİ²

¹Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Radyolojik Bilimler Anabilim Dalı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi,
Samsun
teknofiz@hotmail.com

²Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun
mceyhan@omu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada; 1,5 T manyetik alan şiddetine sahip iki farklı MRG cihazına yerleştirilen pediyatrik hastaların, rutin beyin MRG çekimleri esnasında kullanılan sekanslara göre SAR değerlerinin karşılaştırılarak, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC)'nin belirlediği SAR limit değerlerinden düşük olduğu amaçlanmıştır. Bu amaçla, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji Anabilim Dalı MRG Ünitesinde bulunan 1,5 T manyetik alan şiddetine sahip Siemens Symphony Magnetom ve Philips Achieva/Intera MRG cihazlarına 0-17 yaş aralığındaki toplam 100 pediyatrik hasta yerleştirilerek, 10 dakikalık sürede Tüm Vücut SAR, Vücut Maruziyet SAR ve Baş SAR değerleri alınmıştır. Alınan SAR değerleri ve 100 pediyatrik hastanın yaş ve kilolarının dağılımı istatistiksel olarak hesaplanmıştır. İki farklı MRG cihazından alınan Tüm Vücut SAR ve Baş SAR değerlerinin IEC'nin belirlediği Tüm Vücut SAR ve Baş SAR limit değerlerinden düşük olduğu görülmüştür.

Abstract

In this study; It was aimed that the pediatric patients placed on two different MRI devices with a magnetic field strength of 1.5T were lower than the SAR limit values determined by the International Electrotechnical Commission-IEC) by comparing the SAR values with the sequences used during routine brain MRI scans. For this purpose, a total of 100 pediatric patients between 0-17 years of age were placed in Siemens Symphony Magnetom and Philips Achieva/Intera MRI devices with a magnetic field strength of 1.5T in the MRI unit of Ondokuz Mayıs University Medical Faculty Radiology Department. Body Exposure SAR and Primary SAR values were taken. The SAR values and the distribution of age and weight of 100 pediatric patients were statistically calculated. All Body SAR and Head SAR values from two different MRI devices were found to be lower than the IEC's Total Body SAR and Head SAR limit values.

1. Giriş

MRG, güçlü manyetik bir alanda iyonlaştırıcı olmayan radyofrekans (RF) elektromanyetik radyasyonun vücut dokuları üzerine gönderildiğinde soğurulması sonucu, bu vücut dokularından geri dönen radyofrekans sinyalleri ile görüntü elde edilmesini sağlayan tıbbi görüntüleme yöntemidir [1,2]. MRG'nin iyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyonu kullanmaması, mükemmel yumuşak doku kontrastı sunması veya yumuşak dokuların daha iyi görüntülenmesinde kullanılması avantajları olarak bilinmektedir [1,2,3,4]. MRG cihaz sisteminin maliyetinin pahalı olması ise dezavantajı olarak bilinmektedir [1,2].

Özgül Soğurma Oranı (Specific Absorption Rate – SAR), bir nesnenin birim dokuda kütle başına soğurulan radyofrekans enerjisini tanımlamakta ve W/kg ile gösterilmektedir [5,6,7]. RF elektromanyetik enerji soğurulmasının biyolojik etkisi dokuda oluşturduğu ısınmadır. Bu nedenle RF maruziyeti için, Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (American Food and Drug Administration-FDA), Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission - IEC) tarafından vücut sıcaklık artışı SAR cinsinden ölçülmekte ve SAR limit değerleri belirlenmiştir [7].

MRG inceleme sırasında RF elektromanyetik enerji, MRG cihazında görüntü elde etmek amacıyla vücutta genellikle 1°C'den az ısı artışı oluşturmaktadır [6,8].

MRG'de manyetik alan şiddeti arttıkça SAR değeri de artmakta ve yüksek SAR değerleri; baş dönmesi, baş ağrısı, mide bulantısı, kusma gibi hastalık belirtilerine neden olmaktadır [9].

2. Özgül Soğurma Oranı (Specific Absorption Rate-SAR)

SAR, bir nesnenin birim dokuda kütle başına absorblanmış radyofrekans enerjisini tanımlamakta ve birimi, Watt/kilogram (W/kg) olarak bilinmektedir [5,6,7,10,11].

SAR, IEC standartlarında elektromanyetik alanların termojenik (ısısal) yönlerini karakterize etmek için kullanılan dozimetrik terimi ifade etmektedir [5].

SAR; indüklenmiş elektrik alanı (V/m), puls görev döngüsü, RF elektromanyetik alan gücü (watt) gibi RF karakteristiklerine, doku yoğunluğu (kg/m^3) elektriksel iletkenlik (S/m) ve hasta boyu (m), hasta kilosu (kg) gibi hasta karakteristiklerine bağlıdır. Bu sebeple, MRG cihazından SAR'ı gözlemlerken en önemli faktörler hasta kilosu ve puls sekans parametreleridir [7].

MRG sırasında birkaç SAR çeşitlerine ihtiyaç vardır. Bunlar: Tüm vücut SAR, Baş SAR ve bölgesel SAR olarak sınıflandırılmaktadır [6].

1. Tüm vücut (Whole body) SAR, radyofrekans elektromanyetik alana maruz kalan biyolojik nesnenin tamamındaki belirli bir zaman içinde ortalama SAR değerini,
2. Baş (Head) SAR, hastanın başının kütlesi üzerinde ve belirli bir zamandaki ortalama SAR değerini,
3. Bölgesel (Local) SAR ise biyolojik dokunun herhangi bir 10 gram ve belirli bir zaman üzerinden ortalama SAR değerini ifade etmektedir [6].

RF elektromanyetik alan ile biyolojik dokuların etkileşiminde kullanılan SAR hesaplamaları aşağıdaki bağıntılar ile verilmektedir [6,12,13].

$$\text{SAR} = \frac{\sigma |\vec{E}|^2}{2\rho} \quad (1) \quad \text{SAR} = c \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (2)$$

Burada, \vec{E} : Elektrik alan (V/m)

σ : Doku iletkenliği (Siemens/m)

ρ : Doku yoğunluğu (kg/m^3)

c : Doku ısı kapasitesi (J/kg °C)

ΔT : Dokudaki sıcaklık artışı (°C)

Δt : Maruziyet süresi (s).

Burada (1) bağıntısı, tüm vücut, lokal ve baş ortalama SAR hesaplamalarında kullanılırken; (2) bağıntısı ise, biyolojik dokulara RF dalgaları uygulandığında bir miktar enerji transferi gerçekleşirken sıcaklık artışı oluşmakta, SAR ve sıcaklık değişimi hesaplamalarında kullanılmaktadır [6].

SAR'ı etkileyen faktörler, elektromanyetik alanın büyüklüğü, RF pulslarının süresi, sapma açısı (Flip Angle-FA) olarak bilinmektedir. Burada elektromanyetik alanın büyüklüğü, karesi ile doğru orantılı olarak; RF puls süresi doğru orantılı olarak, sapma açıları ise kareleri ile doğru orantılı olarak etki etmektedir [9].

3. MRG'de SAR ve Sıcaklık Ölçüm Yöntemleri

MRG'de SAR ölçümleri için, genellikle insan vücudu eşdeğeri fantomlar ve diğer durumlarda ise gönüllü hastalar veya kadavra, laboratuvar ortamında dokuların iletken özelliklerine sahip, doku eşdeğeri sıvı ile dolu fantomlar ve bilgisayar simülasyonları kullanılmaktadır [8].

Bir insan vücudundaki veya laboratuvar hayvanı içerisindeki SAR değerlerinin dağılımı da deneysel olarak değerlendirilmekte ve insan vücudu maruziyetinin belirlenebilmesi için deneysel dozimetresi olarak fantomlar,

laboratuvar ortamlarındaki çalışmalarda hayvan kadvraları dozimetre olarak kullanılmaktadır [8].

Fantom çalışmaları için; 1,5 Tesla MRG cihazı ile uyumlu insan vücudu eşdeğeri çocuk, hamile kadın, yetişkin voksel model fantomlar kullanılmıştır [3,5,14,15,16].

3T tüm vücut MRG sistemlerinde, agar jel içerikli ilk seri fantom (Brukel Corporation Billerica MA) kullanılmıştır [13]. Deneysel ve sıcaklık ölçümleri için: Fiber optik probalar (Luxtron 3000 system, Luxtron Mountain View, Santa Clara, CA) [13,14] ile termo optik probalar (Accusens; Opsens, Quebec, Canada) [13,15], MR Termografi (UTİ 9000, Sunnyvale, CA) [13,15], elektronik termometre (Mark X, Elektromedics, Englewood, Colo) kullanılmıştır [17].

Nümerik (sayısal) stimülasyon ve elektromanyetik model için: Dokudaki SAR dağılımı tahmininde kullanılan standart yaklaşım elektromanyetik benzetim için, tam dalga Maxwell denklemlerini çözerek, kararlı hal radyofrekans elektrik alan ve manyetik alanı bulmak için kullanılan zaman ekseninde sonlu farklar yöntemi (The Finite Difference Time Domain, FDTD) hesaplamaları yapılarak günümüzde mevcut XFDTD (Remcom; State College, PA) bilgisayar yazılımı kullanılmıştır [18,19].

Klinikte kullanılan bütün MRG cihazlarında, SAR değerlerini kontrol etmek için cihaza ait mekanizmalar bulunmaktadır [9].

4. MRG'de SAR ve Sıcaklık Limit Değerleri

MRG çekimleri sırasında insan vücudunda oluşabilecek yüksek yoğunluklu RF elektromanyetik alana maruz kalma ile ilgili potansiyel termik veya termoregülatör tehlikeleri ile hipertermik doku hasarını önlemek amacıyla, Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (The United States Food and Drug Administration-FDA) ve Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission-IEC) tarafından insan vücudunda SAR ve sıcaklık artışları için limit değerler belirlenmiştir (Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3) [7,12,19,20].

Tablo 1. Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA, 2003) SAR limit değerleri

American Food and Drug Administration (FDA) Magnetic Resonance Imaging (MRI) SAR	SAR Değeri
15 dakikalık maruziyet <u>ortalama</u> (Tüm vücut)	4 W / kg
10 dakikalık maruziyet <u>ortalama</u> (Baş)	3 W / kg
5 dakikalık bir maruziyet <u>gram doku başına</u> (Baş ve Gövde)	8 W / kg
5 dakikalık bir maruziyet <u>gram doku başına</u> (Kol ve Bacaklarda)	12 W / kg

Tablo 2. Uluslararası Elektroteknik Komitesi (IEC, 2002) sıcaklık limit değerleri

Çalışma Modu	Tüm vücut Maksimum Sıcaklık	Vücudun Belirli Bölgeleri için Maksimum Sıcaklık			
		Baş	Fetüs	Gövde	El ve Ayaklar
Normal	0.5 °C	38 °C	38°C	39 °C	40 °C
Kontrollü	1 °C	38 °C	38°C	39 °C	40 °C
Deneysel	>1 °C	>38 °C	-	>39 °C	>40 °C

Sadece ICNIRP fetüs için belirli bir sınırı vardır.

Tablo 3. Uluslararası Elektroteknik Komitesi (IEC, 2002) SAR limit değerleri

Ortalama Zaman	6 Dakika					
	Tüm Vücut için SAR	Vücudun bir kısmı için SAR	Baş için SAR	Bölgesel SAR (a)		
Vücut (Beden) kısmı	Tüm Vücut	Maruz kalan beden bölümü	Kafa	Kafa	Gövde	Ei ve Ayaklar
Çalışma modu	W/kg	W/kg	W/kg	W/kg	W/kg	W/kg
Normal	2	2-10 (b)	3.2	10 (c)	10	20
1.Düzye kontrollü	4	4-10 (b)	3.2	10 (c)	10	20
2.Düzye kontrollü	>4	>(4-10) (b)	>3.2	10 (c)	>10	>20
Kısa dönem SAR	10 saniyelik periyodu aşan herhangi bir SAR sınırı belirtilen değerlerin üç katını aşmamalıdır.					

- (a) Bölgesel (Yerel) SAR, 10 g kütle üzerinde belirlenir.
 (b) Kısmi vücut SAR oranına sahip dinamik ölçek
 r: Maruz hasta kütlesi ve toplam hasta kütlesi arasındaki oran.
 - Normal Çalışma Modu:
 Kısmi vücut SAR = (10 - 8.r) W/kg
 - İlk Düzye Kontrollü Çalışma Modu:
 Kısmi Vücut SAR = (10 - 6.r) W/kg
 (c) Yörünge küçük yerel bir RF verici bobin alanında olduğu durumlarda bakım sıcaklık artışı 1°C ile sınırlı olduğundan dikkate alınmalıdır.

5. MRG'de SAR'ın Biyolojik Etkileri

MRG cihazında önemli güvenlik endişelerinden biri, biyolojik dokularda RF elektromanyetik enerji absorblanması sonucu oluşan doku sıcaklığı ve termal etkilerdir [3,4,5,6,7,8,10,12,13,15,17,19,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31].

Termal etkiler, cismin elektromanyetik dalga ile etkileşmesinde artan moleküler titreşim hareketi ve sürtünmeden dolayı oluşan etkiler olarak tanımlanmakta ve yüksek seviyedeki elektromanyetik alan neden olmaktadır. Biyolojik dokulara uygulanan RF alanlar ısı etkisi yaratmayacak seviyede olduğu halde, dokularda fizyolojik, kimyasal ve biyolojik değişikliklere neden oluyorsa bu tür etkiler termal olmayan etkiler olarak adlandırılmaktadır [8].

MRG çekimi esnasında RF enerji, manyetik rezonans görüntüsü elde etmek amacıyla vücuda aralıklı olarak uygulanmakta ve bu enerjinin bir kısmı vücut tarafından soğurulmakta, genellikle 1°C'den az ısı artışı ortaya çıkmaktadır [6,8].

İnsanlarda, 1-2°C sıcaklık değişimi; nöral, nöromusküler, bağırsıklık, endokrin, kardiyovasküler, üreme ve gelişim fonksiyonlarında fizyolojik değişikliklere neden olduğu bilinmektedir. 1,5 Tesla MRG cihazlarında çalışan radyoloji personelinin, bu cihazın tasarımı nedeniyle yüksek radyofrekans elektromanyetik alanlara elleri, kafaları ve gövdeleri maruz kalmaktadır [8].

Manyetik alan şiddeti (Tesla) arttıkça SAR değeri de artmakta ve 3Tesla MRG sistemlerinde SAR'ın dört kat daha fazla olduğu bildirilmektedir. Yüksek SAR değerleri; bulantı, kusma, baş dönmesi, baş ağrısı gibi hastalık belirtilerinin ortaya çıktığı belirtilmektedir [9].

RF radyasyona maruz kalan ilkökul çağlarındaki çocukların baş ve kiloya göre sayısal dozimetri olarak kullanılan SAR etkisi araştırılmasında, çocukların belirli dokularında ve periferel

beyin dokularında önemli derecede SAR artışı gözlenmiştir [16].

1,5Tesla MRG vücut bobin içindeki konumunun bir fonksiyonu olarak anatomik çocuk ve yetişkin modellerinde farklı pozisyonlarda 10 gram doku üzerinden yapılan yerel ortalama SAR geliştirilmeleri çalışmasında, tüm modellerde özellikle bacak bölümlerinde SAR değerinde artış, diğer vücut bölümlerinde ve fetüste SAR değerinde azalma, çocuklarda tüm vücut bölümlerinde SAR değerinde azalış, yetişkinlerde ve hamile kadın da özellikle bacaklarda SAR artışı gözlenmiştir [3].

Elektromanyetik ve termal model ile RF ayırma bobinine dokudaki ısı alanları ve SAR çalışmasında, insan bacağında belirli zaman aralıklarında SAR artışı gözlenmiştir [12].

Derin beyin stimülasyonu için kullanılan ikili nörostimülasyon sistemi, 1,5 Tesla MRG beyin çalışmalarında; belirli zaman aralıklarında sıcaklık ve tüm vücut ortalama SAR değeri ile bölgesel baş SAR değerinde artış gözlenmiştir [14].

Domuzlarda 9,4 Tesla in vivo sıcaklık ölçüm sonuçlarına RF ısıtma etkisi çalışmalarında; beyin, rektum ve baş-cilt için normalize parametrik eğriler şeklinde sıcaklık ve SAR değerlerinde artış gözlenmiştir. Hayvanın beyin ve baş-cilt anestezi yapılarak derideki sıcaklığında azalma gözlenmiştir [31].

1,5 T ve 3 T MRG tarayıcı sistemleri ile erkek ve kadın anatomik vücut modelleri kullanılarak, kısmi vücut SAR hesaplamaları çalışmalarında; erkek ve kadın modellerin göğüs, göbek ve diz yerlerinde SAR artışı gözlenmiştir [20]. MRG indüklediği deneysel ve sayısal değerlendirmede fantomların in vivo olarak sıcaklık değişimleri ve SAR dağılımları çalışmalarında; fantom yüzeylerinde SAR artışı ve sıcaklık değişimlerinde artış gözlenmiştir [13].

6. Materyal ve Metot

Çalışmaya Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Radyoloji Kliniğinde bulunan MRG Ünitesine 2017 yılı Mart ve Nisan aylarında, rutin beyin MRG çekimi için gelen 0 – 17 yaş aralığındaki 100 çocuk hasta dahil edildi.

6.1. MRG Cihazı

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Radyoloji Polikliniği Manyetik Rezonans Görüntüleme Ünitesinde bulunan iki farklı modelde 1,5 Tesla/64 MHz manyetik alan şiddetine sahip MRG cihazları (MRG Cihazı 1: Symphony Tim Magnetom; Software Version Syngo MR B17; Siemens Medical Solutions, Erlangen, Germany ve MRG Cihazı 2: Philips Medikal Sistem Achieva/İntera, Best, the Netherlands) kullanıldı.

6.2. RF Koillerin Seçimi

İyonlaştırıcı olmayan RF elektromanyetik radyasyonun incelenecek beyin bölgesine gönderilmesi ve beyin bölgesinden gelen sinyalin alınması için, MRG Cihazı 1'e uyumlu Transmit-Receive Body Head Coil ve MRG Cihazı 2'ye uyumlu 8 kanallı Beyin Koil olan Transmit-Receive SENSE-Head-8 Coil kullanıldı.

6.3. Pediatrik Hastaların Rutin Beyin MRG Çekim Protokolü İçin Kullanılan Sekanslar ve Sekans Parametreleri

Kontrol amaçlı, baş ağrısı, epilepsi, vb. gibi hastalık teşhisi ile radyoloji kliniğine başvuran çocuk hastaların rutin beyin MRG çekim protokolü için; MRG Cihazı 1’de, Transvers (Aksiyel) ve Sagittal planlarda T2 Ağırlıklı Turbo Spin Eko (T2W_TSE_TRA ve T2W_TSE_SAG), Koronal planda T2 Ağırlıklı Fluid Attenuated Inversion Recovery (T2W_FLAIR_COR), Transvers planda T1 Ağırlıklı Spin Eko (T1W_SE_TRA), Transvers planda Difüzyon Ağırlıklı Görüntüleme (DWI_TRA); MRG Cihazı 2’de ise, Transvers, Sagittal ve Koronal planlarda T2 Ağırlıklı Turbo Spin Eko (T2W_TSE_TRA, T2W_TSE_SAG, T2W_TSE_COR), Koronal planda T2 Ağırlıklı Fluid Attenuated Inversion Recovery (T2W_FLAIR_COR), Transvers planda T1 Ağırlıklı Turbo Spin Eko (T1W_SE_TRA) ve Transvers planda Difüzyon Ağırlıklı Görüntüleme (DWI_TRA) gibi MRG sekansları ve MRG’de en önemli sekans parametreleri olan Eko Zamanı (Time Eko-TE), Tekrarlama Zamanı (Time Repetition-TR) gibi parametreler kullanıldı.

6.4. SAR Ölçümleri

1,5 Tesla manyetik alan gücünde 50 çocuk hasta MRG Cihazı 1’e ve 50 çocuk hasta da MRG Cihazı 2’ye yerleştirilerek 0-17 yaş aralığındaki toplam 100 çocuk hasta, 10 dakikalık sürede Rutin Beyin MRG çekimi esnasında kullanılan sekanslara göre MRG cihazı 1’de bulunan SAR Monitör ekranından Tüm Vücut (Whole Body) SAR, Vücut maruziyet (Expore Body) SAR ve Baş (Head) SAR değerleri ve MRG Cihazı 2’de ekranda gözüken Tüm Vücut SAR değerleri alındı.

6.5. İstatistiksel Analiz

Bu tez çalışmasının istatistiksel analizi, SPSS (IBM, ABD) programı ile yapıldı. Verilerin değerlendirilmesi ve MRG Cihazı 1 ve MRG Cihazı 2’den alınan SAR değerlerinin karşılaştırılması için Mann-Whitney U Testi kullanıldı. Veriler ortalca, maksimum ve minimum olarak hesaplandı. Verilerin normal dağılıma uyup uymadığı Shapiro-Wilk Testi ile kontrol edildi. P değeri 0,05 ($p < 0,05$)’ten küçük olduğu için alınan SAR değerleri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

7. Bulgular

MRG Cihazı 1’e yerleştirilen 20 (% 40) kız ve 30 (% 60) erkek çocuk hastanın yaşlarının ortalca değeri 23 (0,25-192) ay olarak, vücut ağırlıklarının ortalca değeri 11,5 (3-77) kilogram (kg) olarak bulundu. MRG Cihazı 2’ye yerleştirilen 24 (% 48) kız ve 26 (% 52) erkek çocuk hastanın yaşlarının ortalca değeri 56,5 (0,25-204) ay olarak, vücut ağırlıklarının ortalca değeri 19 (4-80) kg olarak bulundu. Her iki MRG cihazına yerleştirilen çocuk hastaların yaş değerleri ($p = 0,062$), vücut ağırlıkları ($p = 0,054$) ve cinsiyet dağılımları ($p = 0,546$) arasında önemli fark görülmedi.

MRG Cihazı 1’e yerleştirilen çocuk hastaların Rutin Beyin MRG çekimi esnasında cihaz üzerinde ekranda görülen SAR Information bölümünden alınan Vücut Maruziyet ve Baş SAR değerlerinin W/kg birimi cinsinden ortalca, minimum ve maksimum değerleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. MRG Cihazı 1’de, Pediatrik rutin beyin MRG çekiminde kullanılan sekanslara göre W/kg birimi cinsinden vücut maruziyet ve baş SAR değerlerinin karşılaştırılması

Pediatrik Rutin Beyin MRG Çekiminde Kullanılan Sekanslar	MRG Cihazı 1					
	Vücut Maruziyet SAR (W/kg)			Baş SAR (W/kg)		
	Ortanca	Minimum	Maksimum	Ortanca	Minimum	Maksimum
T2W_TSE_TRA	2,00	0,30	3,50	2,45	1,20	3,20
T2W_TSE_SAG	2,20	0,10	3,50	2,80	0,10	3,20
T2W_FLAIR_COR	0,60	0,30	3,10	0,70	0,50	3,30
T1W_SE_TRA	2,20	0,40	3,50	2,40	0,70	3,40
DWI_TRA	0,60	0,20	0,50	0,30	0,30	0,50

Tablo 4’deki veriler değerlendirildiğinde, MRG Cihazı 1’de Pediatrik Rutin Beyin MRG çekiminde kullanılan T2W_TSE_TRA, T2W_TSE_SAG, T2W_FLAIR_COR, T1W_SE_TRA sekanslarına göre Vücut Maruziyet ve Baş SAR değerlerinin ortalca değeri W/kg birimi cinsinden anlamlı olarak farklı ve Baş SAR değerlerinin, Vücut Maruziyet SAR değerlerinden yüksek olduğu bulunmuştur.

Sadece DWI_TRA sekansında Baş SAR değerlerinin ortalca değeri W/kg cinsinden anlamlı olarak, Vücut Maruziyet SAR değerlerinin ortalca değerinden düşük olduğu bulunmuştur. MRG Cihazı 1 ve MRG Cihazı 2’ye yerleştirilen çocuk hastaların Pediatrik Rutin Beyin MRG çekimi esnasında cihaz üzerinde ekranda gözüken W/kg birimi cinsinden Tüm Vücut SAR değerlerinin ortalca, minimum ve maksimum değerleri Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. MRG Cihazı 1 ve MRG Cihazı 2’de, Pediatrik rutin beyin MRG çekiminde kullanılan sekanslara göre W/kg birimi cinsinden tüm vücut SAR değerlerinin karşılaştırılması

Pediatrik Rutin Beyin MRG Çekiminde Kullanılan Sekanslar	MRG Cihazı 1			MRG Cihazı 2			p
	Tüm Vücut SAR (W/kg)						
	Ortanca	Minimum	Maksimum	Ortanca	Minimum	Maksimum	
T2W_TSE_TRA	1,15	0,50	2,00	1,40	1,40	1,40	<0,001
T2W_TSE_SAG	1,20	0,00	2,00	1,40	1,40	1,40	<0,140
T2W_FLAIR_COR	0,30	0,10	2,00	1,00	0,70	1,10	<0,001
T1W_SE_TRA/ T1W_TSE_TRA	1,30	0,40	2,00	3,30	3,30	3,30	<0,001
DWI_TRA	0,20	0,10	0,20	0,30	0,30	0,30	<0,057
T2W_TSE_COR	-	-	-	1,40	1,40	1,40	-

Tablo 5’deki veriler değerlendirildiğinde, MRG Cihazı 1 ve MRG Cihazı 2’de Pediatrik Rutin Beyin MRG çekiminde kullanılan T2W_TSE_TRA, T2W_TSE_SAG, T2W_FLAIR_COR, T1W_SE_TRA ve DWI_TRA

sekanslarına göre MRG Cihazı 1'deki W/kg birimi cinsinden Tüm Vücut SAR değerlerine ait ortanca değerler, MRG Cihazı 2'deki W/kg birimi cinsinden Tüm Vücut SAR değerlerine ait ortanca değerlerinden düşük olduğu bulunmuştur. MRG Cihazı 2'deki T1W_SE_TRA sekansının Tüm Vücut SAR değerlerine ait ortanca değeri 3,30 W/kg ve diğer sekanslardan daha yüksek bir Tüm Vücut SAR değerlerine ait ortanca değerini vermiştir. MRG Cihazı 2'de kullanılan T2W_TSE_TRA, T2W_TSE_SAG ve T2W_TSE_COR sekanslarına göre Tüm Vücut SAR değerlerine ait ortanca değerleri 1,4 W/kg olarak bulunmuştur. Her iki MRG cihazında pediatrik rutin beyin MRG çekiminde kullanılan T2W_TSE_TRA, T2W_TSE_SAG, T2W_FLAIR_COR ve T1W_SE_TRA sekanslarına göre W/kg birimi cinsinden Tüm Vücut SAR değerlerine ait ortanca değerleri arasında $p < 0,001$ değerinde, DWI_TRA sekansında ise $p < 0,057$ değerinde anlamlı bir fark bulunmuştur.

MRG Cihazı 1 ve MRG Cihazı 2'de pediatrik rutin beyin MRG çekimlerinde kullanılan sekanslara göre TR sekans parametrelerine ait ortanca, minimum ve maksimum değerlerinin karşılaştırılması Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. MRG Cihazı 1 ve MRG Cihazı 2'de, Pediatrik rutin beyin MRG çekiminde kullanılan sekanslara göre TR sekans parametre değerlerinin karşılaştırılması

Pediatrik Rutin Beyin MRG Çekiminde Kullanılan Sekanslar	MRG Cihazı 1			MRG Cihazı 2			p
	TR (ms)			TR (ms)			
	Ortanca	Minimum	Maksimum	Ortanca	Minimum	Maksimum	
T2W_TSE_TRA	5830	5830	9000	5652	5047	6460	<0,001
T2W_TSE_SAG	4562	4560	5980	5034	4631	6242	<0,001
T2W_FLAIR_COR	8000	8000	9000	7000	7000	7000	<0,001
T1W_SE_TRA/ T1W_TSE_TRA	523	441	702	541	502	618	<0,001
DWI_TRA	4200	3500	4400	3435	2976	3904	<0,001
T2W_TSE_COR	-	-	-	6063	5049	6871	-

Tablo 6'daki veriler değerlendirildiğinde, MRG Cihazı 1 ve MRG Cihazı 2'de pediatrik rutin beyin MRG çekimlerinde kullanılan sekansların herbirinin TR ortanca değerleri anlamlı olarak farklı bulunmuştur ($p < 0,001$). T2W_TSE_COR sekansının, TR değerlerine ait ortanca değeri 6063 ms ve karşılaştırılacak herhangi bir sekans olmadığı için p değeri hesaplanamamıştır.

MRG Cihazı 1 ve MRG Cihazı 2'de pediatrik rutin beyin MRG çekimlerinde kullanılan sekanslara göre TE sekans parametrelerine ait ortanca, minimum ve maksimum değerlerinin karşılaştırılması Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. MRG Cihazı 1 ve MRG Cihazı 2'de, Pediatrik rutin beyin MRG çekiminde kullanılan sekanslara göre TE sekans parametre değerlerinin karşılaştırılması

Pediatrik Rutin Beyin MRG Çekiminde Kullanılan Sekanslar	MRG Cihazı 1			MRG Cihazı 2			p
	TE (ms)			TE (ms)			
	Ortanca	Minimum	Maksimum	Ortanca	Minimum	Maksimum	
T2W_TSE_TRA	100,00	96,00	100,00	100,00	100,00	100,00	<0,317
T2W_TSE_SAG	96,00	87,00	100,00	100,00	100,00	100,00	<0,001
T2W_FLAIR_COR	87,00	17,00	87,00	140,00	100,00	140,00	<0,001
T1W_SE_TRA/ T1W_TSE_TRA	17,00	7,30	100,00	10,00	10,00	10,00	<0,001
DWI_TRA	100,00	99,80	108,00	72,00	72,00	100,00	<0,001
T2W_TSE_COR	-	-	-	100,00	100,00	100,00	-

Tablo 7'deki veriler değerlendirildiğinde, her iki MRG cihazındaki pediatrik rutin beyin MRG çekimlerinde kullanılan T2W_TSE_TRA sekansında TE değerlerinde $p < 0,317$ değerinde, diğer sekanslarda ise $p < 0,001$ değerinde anlamlı bir fark bulunmuştur. T2W_TSE_COR sekansının, TE değerlerine ait ortanca değeri 100,00 ms ve karşılaştırılacak herhangi bir sekans olmadığı için p değeri hesaplanamamıştır.

MRG Cihazı 1 ve MRG Cihazı 2'de pediatrik rutin beyin MRG çekimlerinde kullanılan sekanslara göre, TE puls sekans parametrelerine ait ortanca, minimum ve maksimum değerlerinin karşılaştırılması Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. MRG Cihazı 1 ve MRG Cihazı 2'de, Pediatrik rutin beyin MRG çekiminde kullanılan sekanslara göre zaman değerlerinin karşılaştırılması

Pediatrik Rutin Beyin MRG Çekiminde Kullanılan Sekanslar	MRG Cihazı 1			MRG Cihazı 2			p
	Zaman (Saniye)			Zaman (Saniye)			
	Ortanca	Minimum	Maksimum	Ortanca	Minimum	Maksimum	
T2W_TSE_TRA	145	145	145	92,0	76,0	103,0	<0,001
T2W_TSE_SAG	102	102	102	76,5	69,0	114,0	<0,001
T2W_FLAIR_COR	146	146	146	112,0	74,0	112,0	<0,001
T1W_SE_TRA/ T1W_TSE_TRA	170	170	170	62,0	58,0	72,0	<0,001
DWI_TRA	78	78	78	19,0	17,0	81,0	<0,001
T2W_TSE_COR	-	-	-	89,5	75,0	116,0	-

Tablo 8'deki veriler değerlendirildiğinde, her iki MRG cihazında pediatrik rutin beyin MRG çekimlerinde kullanılan sekanslar arasında $p < 0,001$ değerinde anlamlı bir fark bulunmuştur.

8. Sonuçlar

Bu çalışmada MRG Cihazı 1'e yerleştirilen 50 adet çocuk hastaların pediatrik rutin beyin MRG çekimlerinde kullanılan sekanslara göre Tüm Vücut SAR, Vücut Maruziyet SAR ve Baş SAR değerleri incelenmiştir. Baş SAR değerleri, T2W_TSE_SAG sekansında 170. saniyede 2,80 W/kg değerle en yüksek; DWI_TRA sekansında 78. saniyede 0,30 W/kg

değeri ile en düşük değere sahiptir. MRG Cihazı 1'de; kullanılan her bir sekansın Baş SAR değerlerinin, IEC tarafından belirlenen 3,2 W/kg'lık Baş SAR limit değeri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Tüm Vücut SAR değerleri T1W_SE_TRA sekansında 170. saniyede 1,30 W/kg ile yüksek, DWI_TRA sekansında ise 78. saniyede 0,20 W/kg ile düşük değere sahiptir ve IEC tarafından belirlenen 2 W/kg'lık Tüm Vücut SAR limit değeri ile uyumlu olduğu görülmüştür. MRG Cihazı 2'ye yerleştirilen 50 adet çocuk hastaların pediatrik rutin beyin MRG çekimlerinde kullanılan sekanslara göre Tüm Vücut SAR değerleri incelenmiştir. Tüm Vücut SAR değerleri T1W_TSE_TRA sekansında 62. saniyede 3,30 W/kg ile en yüksek, DWI_TRA sekansında ise 19. saniyede 0,30 W/kg ile en düşük değere sahiptir. T1W_TSE_TRA sekansı kontrollü ilk düzey çalıştırma modunu belirtmekte ve IEC tarafından belirlenen 4 W/kg'lık kontrollü ilk düzey çalıştırma modundaki Tüm Vücut SAR limit değeri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Diğer sekansların Tüm vücut SAR değerleri ise, IEC tarafından belirlenen 2 W/kg'lık Tüm vücut SAR limit değeri ile uyumlu olduğu görülmüştür. MRG cihazlarında SAR değerlerinin araştırılmasında;

1. MRG cihazında çekimi yapılacak hastaların özellikle çocuk ve bebek hastaların kilolarının doğru girilmesi,
2. MRG cihazında çekimi yapılacak çocuk hastaların vücut bölgesine uygun sekansların seçiminin ve sekans parametre değerlerinin doğru girilmesi,
3. MRG cihazının hangi manyetik alan şiddetinde, çocuk hastaların MRG çekiminin yapılacağına doğru karar verilmesi önerilmektedir.

9. Kaynaklar

- [1] Yeşildağ A. Manyetik Rezonans Görüntüleme Fiziği. Oyar O, Gülsoy U (Editörler). Tıbbi Görüntüleme Fiziği Kitabı. 1.Baskı, Ankara, Nobel Tıp Kitabevi, 2003;281-339.
- [2] Kumaş A. Radyasyon Fiziği ve Tıbbi Uygulamaları Kitabı 2. Baskı, Ankara, Palme Yayıncılık, 2009;259-263.
- [3] Murbach M, Cabot E, Neufeld E, Gosselin M-C, Christ A, Pruessmann KP, Kuster N. Local SAR enhancement in anatomically correct children and adult models as a function of position within 1,5 T MR body coil. Prog Biophys Mol Biol (Review) 2011;107:428-433.
- [4] Pediaditis M, Leitgeb and Cech R. RF-EMF exposure of fetus and mother during magnetic Resonance imaging. Phys Med Biol 2008;53:7187-7195.
- [5] Baker KB, PhD, Tkach JA, PhD, Nyenhuis JA, PhD, Phillips M, MD, Shellock FG, Gonzalez J, MD, Martinez J, PhD, Rezai AR, MD. Evaluation of specific absorption rate as a dosimeter of MRI-Related implant heating. J Magn Reson Imaging 2004;20:315-320.
- [6] Liu W. RF Magnetic field, specific energy absorption rate and signal to noise ration in MRI: Experiments and numerical calculations with finite difference time domain method. The Pennsylvania State University, The Graduate School Department of Bioengineering, Pennsylvania, Doctoral Thesis, 2005;3-62.
- [7] Westbrook C, Roth CK, Talbot J. MRI in Practice. 4th Edition, Wiley-Blackwell Publication, 2011;2-347.
- [8] Vecchia P, Matthes R, Ziegelberger G, Lin J, Saunders R, Swerdlow A. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNRP 16/2009. Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz). (Review). 2009;1-365. https://www.emf.ethz.ch/archive/var/ICNIRP_effecte_RFReview.pdf.
- [9] Karaali K. MRG Cihazı Bileşenleri. Ağıldere M (Editör). MR Teknikerlerine Yönelik MR Fizik Kursu-2. 26. Ulusal Radyoloji Kongresi, İstanbul, Kurs Kitabı, Türk Manyetik Rezonans Derneği, 2008;61-66.
- [10] International Electrotechnical Commission (IEC). Medical Electrical Equipment Part 2-33: Particular Requirements for the Basic Safety and Essential Performance of Magnetic Resonance Equipment for Medical Diagnosis Geneva: IEC 60601-2-33; 1995, 2002, 2010.
- [11] U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration (FDA), Center for Devices and Radiological Health. Guidance for industry and FDA staff. Criteria for significant risk investigations of magnetic resonance diagnostic devices. July 14, 2003.
- [12] Hand JW, Lau RW, Lagendijk JJW, Ling J, Burl M, Young IR. Electromagnetic and thermal modeling of SAR and temperature fields in tissue due to an RF decoupling coil. Magn Reson Med 1999;42:183-192.
- [13] Oh S, Webb AG, Neuberger T, Park B, Collins MC. Experimental and numerical assessment of MRI-Induced temperature change and SAR distributions in phantoms and in vivo. Magn Reson Med 2010;63: 218-223.
- [14] Bhidayasiri R, Bronstein JM, Sinha S, Krahl SE, Ahn S, Behnke EJ, Cohen MS, Frysinger R, Shellock FG. Bilateral neurostimulation systems used for deep brain stimulation: in vitro study of MRI-related heating at 1,5 T and implications for clinical imaging of the brain. Magn Reson Imaging 2005;23:549-555.
- [15] Chou CK, McDougall JA, Chan KW. Absence of radiofrequency heating from auditory implants during magnetic resonance imaging. Department of Radiation Research, City of Hope National Medical Center, Duarte, California. Bioelectromagnetics 1995;16:307-316.
- [16] Wiat J, Hadjem A, Varsier N, Conil E. Numerical dosimetry dedicated to Children RF exposure. Prog Biophys Mol Biol (Review) 2011;107:421.
- [17] Shellock FG, PhD, Crues JV, MD. Temperature, heart rate and blood pressure changes associated with clinical MRI at 1,5 T. Radiol 1987;163:259-262.
- [18] Yee KS. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's Equations in isotropic media. IEEE Trans Antennas Propagat 1966;14:302-307.
- [19] Collins CM, PhD, Liu W, MS, Wang J, PhD, Gruetter R, PhD, Vaughan JT, PhD, Ugurbil K, PhD, Smith MB, PhD. Temperature and SAR calculations for a human head within volume and surface coils at 64 and 300 MHz. J Magn Reson Imaging 2004;19:650-656.
- [20] Wang Z and Lin JC. SAR calculations in MRI scanning systems (Health Effects). Microwave magazine, IEEE 2012;22-29.
- [21] Gordon C. Thermal physiology. In: Biological effects of radiofrequency radiation. EPA-600/8-83-026A. Washington, D.C.:Environmental Protection Agency 1984;4-1-4-28.
- [22] Shuman WP, Haynor DR, Guy AW, Wesbery GE, Schaefer DJ, Moss AA. Superficial-And Deep-Tissue Temperature Increases in Anesthetized Dogs during

- Exposure to High Specific Absorption Rates in a 1.5-T MR Imager. *Radiol* 1988;167:551-554.
- [23] Shellock FG, PhD, Schaefer, PhD, Kanal E, MD. Physiologic responses to an MRI procedure performed at a specific absorption rate of 6,0 W/kg. *Radiol* 1994;192:865-868.
- [24] Radiological Health Bureau of U.S.A. Guidelines for evaluating electromagnetic exposure for trials of clinical NMR systems. Washington, D.C: Food and Drug Administration (FDA), 1982.
- [25] Center for Devices and Radiology Healt. Guidance for the Submission of Premarket Notifications for Magnetic Resonance Equipment for Medical Diagnostic Devices. Rockville: Food and Drug Administration (FDA), 1998. P21.
- [26] Shellock FG. Radiofrequency-induced heating during MR procedures: a review. *J Magn Reson Imaging* 2000;12:30-36.
- [27] Collins CM, Wang Z. Calculation of Radiofrequency Electromagnetic Fields and Their Effects in MRI of Human Subjects. National Institutes of Health (NIH) Public Access. *Magn Reson Med* 2011 May; 65(5): 1470-1482.
- [28] Brown MA, Semelka RC. MRI Basic Principles And Applications. Third Edition. Canada, Wiley-Liss Publication, 2003;2-99.
- [29] Lin JC. International guidelines for radio-frequency Exposure, especially for the most successful application of electromagnetics in medicine:Magnetic Resonance imaging. *IEEE Antennas Propagat Mag* 2011;vol 53, no. 1, pp.169-174.
- [30] Dery TB, Amoako JK, Darko EO, Kyere AK, Boadu M. Temperature Changes in the Brain of Patients Undergoing MRI Examination. *Int J Sci Basic Appl Res (IJSBAR)* 2013 Volume 9, No 1, pp 106-112.
- [31] Shrivastava D, Hanson T, Schlentz R, Gallagher W, Vaughan T. Radiofrequency Heating at 9.4 T: In Vivo Temperature Measurement Results in Swine. *Magn Reson Med* 2008;59:73-78.

Biyosensör Teknolojisindeki En Son İlerlemeler ve Gelecekteki Potansiyel Uygulamaları

Gökhan Şahin¹

¹ Tobb Etü Üniversitesi Sağlık Eğitimi Uygulama ve Araştırma Merkezi Acil Hekimi

Özet: İlaç, tıp, gıda, savunma, güvenlik ve çevresel monitörizasyon gibi alanlarda biyosensör kullanımı artarak devam etmekte ve hayati önem kazanmaktadır. Biyosensör olarak biyolojik algılayıcı elementler kullanan mükemmel tasarlanmış ve kuvvetli analitik cihazların keşfi biyosensör teknolojilerinin önemini arttırmıştır. İmmobilize edilmiş glukoz oksidaz elektrotunu kullanarak elektrokimyasal olarak oksijen yada hidrojen peroksidin tespit edilmesi mekanizması ile çalışan glukoz sensörleri biyosensörlerin keşfinde başlangıç olmuştur. Nanomateryalleri floresan etiketlemede kullanılan biyolojik tekniklerdeki ve enstrümantasyonlardaki en son gelişmeler biyosensörlerin hassasiyet limitlerini arttırmıştır. Aptamerlerin, nükleotidlerin, “affibody”lerin, peptid dizilerinin ve molekül etiketli polimerlerin kullanımı klasik metodların üzerine inovatif biyosensörlerin geliştirilmesi için yeni araçlar ve yöntemler sağlamıştır. Entegre yaklaşımlar, yüksek düzeyde iyileştirilme potansiyeline sahip spesifik ve sensitif biyosensörlerin geliştirilmesi için daha geniş bakış açıları sağlamıştır. Nanomateryallerden polimerlere, polimerlerden mikroorganizmalara kadar geniş bir yelpazede yer alan biyosensörler farklı alanlarda potansiyel uygulamalara sahiptir. Çok yönlü kullanım potansiyeline sahip biyosensör tasarımlarını çok yönlü yaklaşımlar ile entegre etmek oldukça önemlidir. Bu bilgiler ışığında bu çalışmada, biyomedikal ve çevresel uygulamalar için kullanılan elektrokimyasal, flouresan etiketli, nanomalzeme temelli, silika temelli, quartz temelli veya mikroorganizmaların kullanıldığı değişik tiplerde geniş çeşitlilik gösteren biyosensör teknolojisi ve biyosensör türlerine ve bunların geleceğine dair genel bir bakış sunulmuştur.

Giriş:

"Biyosensör" terimi, ilaç keşfi, hastalıkların teşhisi, tıp alanı, gıda güvenliği ve işlenmesi, çevre kontrolleri, savunma ve güvenlik uygulamaları gibi geniş uygulama yelpazesine sahip biyolojik algılama unsurlarını içeren güçlü ve yenilikçi analitik cihazı tanımlar. Clark ve Lyons (1962) tarafından biyolojik örneklerde glikozun ölçülmesi için icat edilen ilk biyolojik biyosensör, hareketsizleştirilmiş glukoz oksidaz elektrodunu kullanarak kimyasal reaksiyonlar sonrasında açığa çıkan oksijen veya hidrojen peroksidin (Fracchiolla ve diğerleri, 2013; Turner, 2013) elektrokimyasal olarak tespit edilmesine dayalı yöntemleri kullanmıştır. O günden bu yana, biyolojik sensörler teknolojisi ve uygulamaları; yenilikçi elektrokimyasal, biyoelektronik ve nanoteknolojik yaklaşımlarla inanılmaz ilerlemeler kaydetmiştir (Turner, 2013). Biyosensör alanındaki ileri düzeydeki gelişmeleri gözden geçiren bu inceleme biyosensör teknolojisinin bilimsel senaryosunu sunmayı ve temel bilgi sağlamak için biyosensörlerin geliştirilmesi için kabul görmüş çeşitli teknik stratejileri tanıtmayı amaçlamaktadır. Biyosensörlerin algılama limitini, sensitivite ve selektivitesini iyileştirmek için elektrokimyasal yöntemden; optik/görsel, polimer, silika, cam ve nanomalzeme temelli biyosensörlere nasıl gelişme sağlandığını araştırma araçları göstermiştir. İlginç bir şekilde, etiketsiz biyosensörler transistör ve kapasitör tabanlı cihazlar ve nanomalzemelerin kullanımını içerirken, mikroorganizmalar ve biyoluminesansda (Du ve ark., 2007) büyük ölçüde etiketli biyosensörlerin kullanımını içermektedir. Biyosensörler, kantitatif biyologlar için sofistike yüksek verimli makinelerin enstrümantasyonundaki teknolojik gelişmeleri anlamak, uzman olmayan kişiler için de taşınabilir kalitatif veya yarı kantitatif cihazlar içeren enstrümantasyonda teknolojik gelişmeyi anlamak için bir temel oluşturmaktadır. Sonuç olarak bu çalışmada güncel araştırma eğilimleri, gelecekteki zorluklar ve sahadaki kısıtlamalar vurgulanmaktadır. Mevcut inceleme, elektrokimyasal, optik/görsel, polimerler,

silika, cam ve nanomalzemeler gibi bir çok değişik çeşit gösteren iki temel teknik stratejiyi tanımlayan alt bölümlere ayrılmıştır. Bu cihazlar belirli amaçlar için geliştirilmiş olup bu cihazlara genel bakış, biyosensör cihazları ve uygulamaları hakkında kapsamlı bilgiler sağlayacaktır.

Teknik Stratejiler

Biyosensörlerde kullanılan teknik stratejiler (Turner, 2013) etiketli ve etiketsiz algılamaya dayanmaktadır. Etiket bazlı algılama, esas olarak, hedef tespiti için kullanılan etiket kısmının spesifik özelliklerine bağlıdır. Bu tür biyosensörler güvenilir biyosensörlerdir fakat çoğu zaman spesifik algılayıcı element ile kombine edilerek hareketsizleştirilmiş hedef protein ile birlikte üretim yapmak gerektirir. Diğer taraftan, etiketsiz yöntem (Citartan ve diğerleri, 2013; Sang ve diğ., 2015); etiketlenmemiş moleküllerin veya etiketlenmesi zor hedef moleküllerin saptanmasına izin verir. Son zamanlarda tıp alanında ve çevresel bilimlerde; biyomühendislik, elektrik ve elektronik mühendisliği ile biyoteknolojinin disiplinlerarası yaklaşımları geniş bir uygulama yelpazesi içinde çeşitli algılama metodları için etiketsiz biosensör geliştirmenin yolunu açmıştır.

Elektrokimyasal Biyosensörler

Glikoz oksidaz tabanlı biyosensör (Clark ve Lyons, 1962) kullanarak glukoz ölçen glikometrenin keşfi ilk elektrokimyasal biyosensör keşfidir. Diyabetik hastalarda kan şekerinin periyodik olarak izlenmesi için gerekli olan glikoz biyosensörleri hastanelerde veya teşhis kliniklerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, genellikle glikoz biyosensörlerinde devamlı kalibrasyonun gerekli olduğu kararsız ve homojen olmayan enzim aktivitesi nedeniyle bir çok kullanım dezavantajları vardır (Harris ve ark., 2013). Aslında, var olan bu dezavantajlar, daha sağlıklı çalışan glikoz biyosensörlerinin tasarlanmasını sağlamak için gerekli olan değişik elektrokimyasal özelliklere sahip biyomoleküllerinde (Turner, 2013; Wang ve diğ., 2013) keşfedilmesine yol açmaktadır. Son zamanlarda, elektrokimyasal biyosensörler (Wang ve diğ., 2014) tipik olarak, enzim, antikor veya DNA gibi biyomalzemeleri kullanarak metal ve karbon elektrot yüzeyinin modifikasyonu ile hazırlanmaktadır. Biyosensörün çıkış sinyali genellikle, elektrot yüzeyindeki biyomalzemenin (Wang ve diğerleri, 2014) katalitik reaksiyonu yada spesifik bağlanması sonucu oluşur. Hastalıkların erken klinik tanısında ve takibinde kullanılacak elektrokimyasal sensörlerin keşfi gerekli ve vazgeçilemez bir durumdur (Gruhl ve diğerleri, 2013). Bu nedenle proteinler yerine sentetik materyallerin kullanılarak non-enzimatik biyosensörlerin geliştirilmesi ön plan çıkmıştır. İğnç bir şekilde değişik biyomoleküllerin farklı elektrot stabilitesi ve seletivitesi vardır, bu farklılıklar çeşitli amaçlar için farklı elektrokimyasal biyosensörlerin geliştirilmesine katkıda bulunur. Kullanım amaçlarına göre çeşitli elektrokimyasal biyosensörler geliştirilmiştir. Yukarıda açıklandığı gibi, glikoz biyosensörleri (Harris ve diğerleri, 2013) zamanla hızlı bir evrim geçirmiştir. Bu çerçevede Wang ve arkadaşları. (2014) elektrokimyasal olarak aktif parça (Fc kalıntısı) ve bağlanma noktası (boronik asit parçası) varlığına bağlı biyosensör geliştirmek için ferrosen (Fc) ile modifiye boronik asit ve ferrosenboronik asit (FcBA) ile ilgili gelişmeleri incelemiştir. FcBA ve türevleri, siklik boronat ester bağlarının oluşumuna yol açan şekerlerin 1,2- veya 1,3-diol kalıntılarına benzersiz bağlanma özelliğine sahiptir. FcBA-şeker ürününün redoks özellikleri temelde elektrokimyasal tespit sağlamak için serbest FcBA'dan farklıdır. Buna ek olarak, boronik asitin F- iyon elektrotlarını kullanan non-konvansiyonel iyon seçici elektrotların geliştirilmesinde ilave bir avantaj sağlayan Fe- iyonlarına bağlanma affinitesi vardır. HbA1c'nin polipeptid zincirinde bulunan hidrokarbon zincirleri, FcBA temelli elektrokimyasal yöntem ile ölçülebilir. Bu yöntemdeki başlıca kısıtlama, elektrotların yüzeyinde FcBA türevlerinin (Wang ve ark., 2014) immobilizasyon gerekliliğidir. Ölçüm için gerekli

bu türevler reaktifler olarak ölçümü yapılacak örneklere ilave edilirler. Polimerlerin ve/veya gümüş elektrotları ile FcBA türevlerinin uygun modifikasyon ile kullanımı, diyabet tanısını da içeren biyomedikal alanlarında FcBA elektrokimyasal sensörünün iyileştirilmesini sağlayacaktır.

Fizyolojik sistemlerde antioksidanların ve reaktif oksijen türlerinin seviyelerinin ölçümü için kullanılan elektrokimyasal biyosensör (Mello ve diğerleri, 2013) diğer modern bir buluştur. Bu konudaki başlıca uygulama, çeşitli klinik anormallikler veya hastalıklar için teşhis aracı sağlayan vücut sıvısı pürin metabolizmasının (Erden ve Kılıç, 2013) birincil son ürünü olan ürik asitin saptanmasıdır. Bunun yanında uygun maliyetli ve hassas bir yöntem geliştirmek çok önemlidir. Glukoz miktar ölçümündeki yöntemin benzeri ürik asit oksidasyonunun elektrokimyasal temelli ölçümü ideal yöntem görünmektedir. Ancak oksidasyon sırasında ürik asidin askorbik asitle benzerliği yüksek sensitivitede elektrokimyasal biyosensör geliştirilmesindeki ana deneysel sorundur. Bu sorunun üstesinden gelmek için bilim adamları hem redüksiyon ve oksidasyon potansiyellerini ölçme kabiliyetine sahip amperometrik tespit temelli biyosensörler geliştirmişlerdir. (Erden ve Kilic, 2013). Bu prosedürün maliyeti ve tekrarlanabilirliği göz önünde bulundurulduğunda enzimi, rutin analizlerde kullanmak için tek kullanımlık, seçici, düşük maliyetli ve hassas ürik asit biyosensörlerinin geliştirilmesi maksatlı elektrotlara veya nanomateryal esaslı elektrotlara enzimi hareketsiz hale getirmek veya ekran baskısı yapmak önemlidir. 3D biyoprinting teknolojisindeki en son gelişmeler 3D mikro çevre içerisinde bulunan yaşayan hücrelerden oluşan biosensor tasarımını hedeflemiştir (Turner, 2013). Aynı çalışmalar kapsamında tükürükteki ürik asiti aynı zamanlı ve sürekli bir biçimde tespit edecek kablosuz ağız koruyucu biyosensör geliştirildi (Kim ve ark., 2015) ve bu teknoloji çeşitli sağlık, fitness uygulamalarında da kullanılabilir bir biçimde geniş uygulama alanlarına yayılabilir. Bunlarla beraber elektrokimyasal biyosensörler hormon ölçümleri için de başarıyla kullanılmıştır (Bahadır ve Sezginturk, 2015). Biyosensörlerle ilgili diğer potansiyel teknoloji gelişimi nükleik asitleri hedef alır. Hücrel miRNA ekspresyonunun, hastalığın başlangıcının teşhisi için ideal bir biyolojik belirteç olduğu ve tespitinin genetik bozukluklar için gen terapisinin etkililiğini arttırdığı bilinmektedir. Genellikle, miRNA'lar; northern blotting, microarray ve polimerase zincir reaksiyonu ile tespit edilir. Modern teknoloji, miRNA içeren hibrid formasyon sonrası guanin oksidasyonunu izleyen miRNA'nın etiketsiz tespitini ve onun inozin yerine yakalayıcı probunu içeren miRNA biyosensörü temelli ideal elektrokimyasal biyosensör geliştirilmesini sağlamıştır. (Hamidi-Asl ve diğ., 2013). Tüm bu buluşlar, biyotıpta elektrokimyasal tabanlı biyosensör teknolojisinin geliştirilmesi için modern biyofabrikasyon yaklaşımlarının sonucu olarak ortaya çıkmıştır.

Biyosensör teknolojisinin gerekli olduğu diğer önemli bir alan ise çevresel izleme (Long ve ark., 2013; Verma and Bhardwaj, 2015) ve sağlığa zararlı tehlikeleri önlemek için pestisit kalıntılarının hızlı tespitidir. Yüksek performanslı sıvı kromatografisi, kapiller elektroforez ve kütle spektrometresi gibi geleneksel yöntemler çevredeki pestisitlerinin tespiti ve analizi için etkilidir (Verma ve Bhardwaj, 2015). Bununla birlikte; örnek çeşitliliği, karmaşıklığı, zaman alıcı prosedürler, üst düzey araçlara gereksinim duyulması ve operasyonel kabiliyet yetersizlikleri gibi kısıtlamalar bulunmaktadır. Bu nedenle, basit biyosensörlerin büyük avantajları var gibi görünmesine karşın, değişik pestisit sınıflarını analiz etmek için bir biyolojik sensörün geliştirilmesi kullanışsız ve hantaldır. Bu nedenle pestisitlerin çevre, gıda güvenliği ve kalite kontrolü üzerindeki fizyolojik etkilerini anlamak için bazı enzim tabanlı biyosensörler (Pundir ve Chauhan, 2012; Verma and Bhardwaj, 2015) geliştirilmiştir. Bu amaçla, asetilkolinesteraz (AChE) inhibisyonuna dayalı biyosensörler geliştirilmiştir (Pundir ve Chauhan, 2012). Son 20 yılda, hızlı analiz yapabilmek için AChE inhibisyonu tabanlı biyosensörler, immobilizasyon yöntemleri ve imalat için diğer farklı stratejilerdeki son ilerlemelerle birlikte daha da geliştirilmiş, benzer şekilde, ortamdaki organofosfat ve karbamat pestisit etkisini tespit etmek için piezoelektrik biyosensörler geliştirilmiştir (Marrazza, 2014). Organoklorin pestisitlerin, endosulfan

gibi pestisitler ekosisteme ciddi zarar verirken ekosistemi olumsuz etkiledikleri bilinmektedir (Senthilkumaran, 2015). Gerçekten de pestisitlerin erkek ve dişi balıkların üreme sistemlerini olumsuz etkileyerek değiştirdikleri bilinmektedir (Senthilkumaran, 2015). Bu gerçeği göz önünde bulundurarak, biyolojik sensörlerin suda yaşayan ekosistemi test etmek için icadı ve geliştirilmesi biyomagnifikasyon açısından daha büyük önem kazanacağını söylemek mümkündür. İhtiyacın üstesinden gelmek için, elektrokimyasal biyosensörler; nanomalzemeler, kuvarz veya silika kullanımı ve fabrikasyonundaki hızlı gelişmeler ile devrim geçirmiştir.(Turner, 2013, Verma and Bhardwaj, 2015). Biyosensör teknolojilerini geliştirmek için; gıdada, çevresel güvenlik ve izleme konularında farklı transdüksiyon tekniklerini ve hızlı tarama stratejilerini kullanarak reseptör seçimine özellikle önem vermek önemlidir. Bunu sağlamak için, biyosensör imalatı önemli gibi görünmektedir ve bu alandaki gelişmeler kategorik olarak aşağıda açıklanmıştır.

Optik / Görsel Biyosensörler

Yukarıda açıklandığı gibi, çevresel veya biyomedikal uygulamalar basit, hızlı ve ultra duyarlı biyosensörlerin geliştirilmesini gerektirmektedir. Bu; altın, karbon esaslı malzemeler, silis, kuvarz yada cam gibi immobilizatörlerin kullanımı (Guo, 2013; Ogi, 2013; Turner, 2013; Peng ve diğerleri, 2014; Shen ve ark., 2014) ile mümkün olabilir. Mikro fabrikasyon ile altın nanopartikülleri ile kuantum noktalarının bir araya getirilmesi, belli amaçlar için son derece hassas ve taşınabilir sitokrom P450 enzim biyosensörlerinin geliştirilmesi için yeni teknoloji (Schneider ve Clark, 2013) ortaya koyar. Ayrıca, fiber optik kimyasal sensörler; ilaç çalışmaları, biyosensör ve biyotıp gibi çeşitli alanlarda çok önemli bir yere sahiptir. Son zamanlarda, DNA tabanlı sensör olarak kullanılan hidrojeller, fiber optik kimyası ile immobilizasyon kullanımı için ortaya çıkan materyallerdir (Dias ve ark., 2014). Diğer malzemelerle karşılaştırıldığında, hidrojeller içindeki immobilizasyon 3D olarak yapılır ve bu algılayan moleküllerinin yüksek oranda yüklem kapasitesine izin verir. Hidrojeller (poliakrilamid) hidrofilik çapraz bağlı polimerlerdir (Khimji ve diğerleri, 2013) ve ince filmlerden nanoparçacıklara kadar değişik formlarda immobilize edilebilirler. Hidrojeller, DNA immobilizasyonu için bir çok başka avantaja sahip DNA substratı olarak düşünülmüştür. Örnek olarak; tuzaklama, kontrollü salım, analit zenginleştirme ve DNA koruması gibi avantajları vardır. Bu özellikler, biyomoleküler immobilizasyon sağlayan diğer malzemelerle karşılaştırıldığında hidrojellere özgüdür (Khimji ve diğerleri, 2013). Ayrıca, hidrojellerin iyi olan optik şeffaflığı, görsel tespit için uygun strateji sağlar. Monolitik poliakrilamid jeller ve jel mikropartiküller içerisinde DNA biyosensörlerinin (Khimji ve diğerleri, 2013) immobilize edilmesi için ayrıntılı metodlar genellikle biyosensör teknolojisi alanında teknik ilerleme olarak düşünülmüştür. Tek molekül tespiti, DNA tespiti için hidrazinin elektrokimyasal oksidasyonu kullanılarak geliştirilmiştir. (Kwon and Bard, 2012)

Silika, Kuvars / Kristal ve Cam Biyosensörler

Biyosensörlerin geliştirilmesindeki en son metotlar, benzersiz özelliklerinden dolayı silika, kuvarz, kristal ve cam malzemelerin kullanılması ile sonuçlanmıştır. Bunların arasında silikon nanomalzemeler; biyo-uyumlulukları, bol bulunmaları, elektronik, optik ve mekanik özelliklerine bağlı olarak biyosensör uygulamalarında teknolojik ilerlemeler için büyük potansiyele sahiptir. Ayrıca, silikon nanomalzemeler, biyomedikal ve biyolojik uygulamaların en önemli şartlarından birisi olan toksik olmama özelliğini taşırlar. Silikon nanomalzemeler (Peng ve diğerleri, 2014; Shen ve diğerleri, 2014), biyolojik görüntüleme, biyolojik algılama ve kanser tedavisine kadar geniş bir kullanım yelpazesi sunmaktadır. Ayrıca, flüoresan silikon nanomalzemeler, biyolojik görüntülemelerde uzun süreli uygulamaları desteklemektedir. İlginçtir ki altın nanopartiküllerle kombine edilmiş silikon nanoteller kanser tedavisinde etkili silikon temelli nano reaktifler olarak kullanılan hibridlerin

oluşumunu sağlar (Shen ve ark., 2014). Silika veya cam üzerine kovalent bağ ile bağlanmış tiyol ile modifiye edilmiş DNA oligomerleri UV spektroskopisi ve hibridizasyon yöntemleri için daha iyi kullanımı olan DNA filmleri sağlar (Khimji ve diğerleri, 2013). Silikon nanopartiküllerin kullanmanın birçok avantajına rağmen, büyük ölçekli düşük maliyetli üretim yöntemlerinin geliştirilmesi ve biyomoleküler temas sonrası biyoyumluluk gibi durumlar değerlendirilmelidir. Bu sorunlara çözüm geliştirmek silikon nanomalzemelerin modern biyosensör bileşenleri olabilmesi için yol açacaktır. Telsiz ve elektrotsuz kuvarz-kristal-mikrodenge biyosensörleri, biyomoleküller arasındaki etkileşimleri yüksek hassasiyetle analiz etmek için başka bir imkan sağlar. Kuvars osilatörlerinin titreşimleri elektromanyetik dalgalar aracılığıyla antenler tarafından herhangi bir kablo bağlantısı olmaksızın tespit edilmiştir. Bu kontaklı hassas ölçüm, kuvarz-kristal biyosensör tabanlı enstrümantasyonu (Ogi, 2013) kullanarak sıvılardaki proteinlerin ultra yüksek hassasiyetle algılanması için önemli bir anahtar özelliktir. Silika, kuvarz veya cam malzemelerin benzersiz özellikleri düşünüldüğünde, biyotıp teknolojisinde biyolojik enstrümantasyonun iyileştirilmesi için yüksek teknoloji ile birkaç yeni biyosensör geliştirilmiştir, ancak halen maliyet etkinliği ve biyogüvenlik dikkat gerektirmektedir. (Ogi, 2013; Turner, 2013; Peng ve ark. 2014; Shen ve diğerleri, 2014).

Nanomalzemelere Dayalı Biyosensörler

Altın, gümüş, silikon ve bakır nanopartiküller, grafit, grapheme ve karbon nanotüpleri gibi karbon bazlı materyallerden oluşan geniş kapsamlı nanomalzemeler, biyosensör immobilizasyonunun geliştirilmesi için kullanılmaktadır (Li ve ark., 2011; Zhou ve ark., 2012 ve Guo, 2013; Ko ve diğerleri, 2013; Senveli ve Tigli, 2013; Valentini ve diğerleri, 2013; Lamprecht ve diğerleri, 2014; Shen ve diğerleri, 2014; Sang ve diğ., 2015). Buna ek olarak, nanopartikül bazlı malzemeler, elektrokimyasal ve diğer biyosensör türlerinin geliştirilmesinde büyük hassasiyet ve özgüllük sağlar. Metal nanopartikülleri arasında altın nanopartiküller; oksidasyona karşı kararlılıkları, hiç toksisitelelerinin olmaması nedeniyle tercih edilir sensörlerdir. (Hutter ve Maysinger, 2013) Gümüş gibi nanaopartiküller okside olup toksik etki gösterirken ve hemen hemen hiç toksisitesi yoktur. Bu nedenle ilaç taşınımında tercih edilir. Nanomalzemelerin biyosensör olarak biyotıp alanında kullanımı potansiyel zorluklara sahiptir (Su ve ark., 2011). Nanopartikül bazlı sinyal amplifikasyon stratejileri potansiyel avantaj ve dezavantajlara sahiptir (Ding ve ark., 2013). Nanomalzemeler biyo-analitik cihazlarda tek molekül algılama için hassasiyet ve algılama limitlerini arttırmak için önemli bileşenler olarak düşünülür (Turner, 2013). DNA'nın düşük konsantrasyonunun saptanması için kullanılan platin temelli tekli etiket tepkisi ile elektrokimyasal amplifikasyon yönteminin keşfinden söz etmek faydalı olacaktır (Kwon and Bard, 2012). Benzer şekilde, yarı iletken kuantum noktaları, spesifik optik ve manyetik özelliklere sahip olan demir oksit nanokristalleri; yüksek afinite ve özgüllük ile tümör antijenlerini, monoklonal antikoları, peptidler veya küçük moleküller gibi tümör hedefleme ligandları ile etkin bir şekilde bağlayabilmektedir (Nie ve diğerleri, 2007). Kuantum noktaları teknolojisi, tedavi uygulamalarında tümör çevresinin anlaşılmasında ve nano-tedavilerin uygulanmasında kullanılabilir (Jain, 2013). Cantilever boyutta (mili, mikro ve nano cantilever) biyosensörlerin kullanımı bile çeşitli alanlarda uygulama potansiyeli nedeniyle ciddi bir şekilde analiz edilmektedir.

Genetik Kodlanmış veya Sentetik Floresan Biyosensörler

Genetik olarak kodlanmış veya sentetik floresan etiketlenmiş biyosensör geliştirilmesi hücrenin içindeki çeşitli moleküler yolları içeren biyolojik süreci anlamının yolunu açmıştır (Kunzelmann ve ark., 2014; Oldach ve Zhang, 2014; Randriamampita ve Lellouch, 2014). Aslında, flüoresan etiketli antikoların keşfi ilk önce sabit hücreleri görüntülemek için geliştirildi (Oldach ve Zhang, 2014). Bu strateji; biyolojik proteinleri, analitlere bağlanan küçük molekülleri ve ikincil habercileri kullanan

sensörleri geliştirmek için yeni yollar sağlamıştır. Daha yakın zamanda, floresan biyosensörler, spesifik analit konsantrasyonuyla tek molekül tespitini kullanan motor proteinleri analiz etmek için geliştirilmiştir (Kunzelmann ve ark., 2014). Bu avantajlara rağmen, prop algılama ve analiz metodolojisi güç görünmektedir. Yeşil flüoresan proteininin ve diğer floresan proteinlerinin keşfi, optik propların tasarımı ve etkinliği açısından birçok avantaj sağlamıştır (Oldach ve Zhang, 2014). Son on yıl öncesine kadar, enerji üretimi ile ilgili moleküllerini, reaktif oksijen radikallerini ve cAMP'yi hedef alan genetik olarak kodlanmış biyosensörler hücredeki enerji döngüsünün ve mitokondriyal fizyolojinin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır (De ve diğerleri, 2014). Aynı şekilde, cGMP kardiyovasküler sistem için önemli bir sinyal molekülü ve ilaç hedefidir. Bu nedenle, hücre içi cGMP, cAMP ve Ca²⁺ görüntülemesi için Förster rezonans enerji transferi (FRET) tabanlı biyosensörler geliştirilmiştir (Thunemann ve ark., 2014). Bu sensörlerin birçoğu birincil hücre kültürlerinde ve canlı hücrelerde in vivo görüntülemeye verimli bir şekilde çalışmaktadır (Oldach and Zhang, 2014; Randriamampita ve Lellouch, 2014). Canlı-hayvanlarda görüntüleme yapmak için sensörler geliştirmek adına bir çok anahtar hususun üzerinde durulmaktadır. Kullanılan yöntemleri optimize etmek için; kalsiyum sensörleri geliştirmek için küçük açılı X-ışını saçılımı ve kinaz algılayıcı flüoresan rezonans enerji transfer-probları modern fizyolojide en iyi biyosensör metotları olarak kabul görmektedir (Oldach ve Zhang, 2014). Bu yolla, spesifik hedeflere odaklı mikrobiyal ve hücre organel temelli biosensörler geliştirildi (Su ve ark., 2012). Daha önce vurgulandığı gibi, miRNA tespit etmek için diğer moleküler tekniklerden daha verimli elektrokimyasal, elektromekanik ve optik biyosensörler geliştirilmiştir (Johnson and Mutharasan, 2014). Küçük moleküler biyosensörlerle in vivo görüntülemenin ortaya çıkışı, hücresel aktivitenin ve DNA, RNA ve miRNA'ların daha iyi anlaşılmasını ve tanımlanmasını sağlamıştır (Khimji ve diğerleri, 2013; Turner, 2013; Johnson and Mutharasan, 2014). Şimdi bu alanda yapılması gereken yenilik daha iyi optik tabanlı genetik biyosensörler kullanarak bütün genomun çalışılmasıdır. Floresan ve küçük moleküller/nanomalzemeler ile optik tabanlı biyosensörlerin kominasyonunun uygulamalarda ve sensitivitede daha etkili ve başarılı olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir.

Sentetik Biyoloji ve Genetik/Protein Mühendisliği Üretimi Mikrobiyal Biyosensörler

Çevresel izleme ve biyolojik iyileştirme ile ilgili en yeni inovatif harika teknolojilerde yeni eğilim, mikroorganizmaları spesifik sinyal outputları ile spesifik ve sensitif olarak programlayı sağlayan bilimler olan genetik/protein mühendisliği ve sentetik biyoloji temellidir. Örneğin, ksenobiyotik bileşiklerin parçalanması için enzim aktivitesine sahip canlı hücre, biyoremediyasyonda daha geniş uygulamalara sahip olacaktır (Park ve ark., 2013). Benzer şekilde, biyokimyasal oksijen talebini ve çevredeki toksisiteyi izlemek amacıyla mikrobiyal yakıt bazlı biyosensörler geliştirilmiştir. Bakteri, fermantasyon için organik substratı degrades ederek elektrik üretme potansiyeline sahiptir. Temel olarak, teknoloji, organik substratları direkt olarak elektrik enerjisine dönüştü. Sahip olunan imkanlara rağmen, düşük güç yoğunluğu nedeniyle üretim ve işletme maliyetleri açısından mikrobiyal biyosensörlerde kısıtlamalar bulunmaktadır. Biyosensörler konularındaki çabalar yeni sistemik yaklaşımlarla belirgin bir biçimde performansı arttırmaya ve maliyetleri azaltmaya yöneliktir. Buda kendi kendine çalışacak şekilde tasarlanmış biyosensörlerin geliştirildiği teknoloji platformlarında gerçekleşmiştir (Du ve diğerleri, 2007; Sun ve ark., 2015). Mikrobiyal biyosensörlerin diğer bir potansiyel kullanım alanı, ökaryotik mikroorganizmaların prokaryotik hücrelere kıyasla daha avantajlı ve üstün olduğu konular olan pestisidal ve ağır metal tespitidir (Gutierrez ve diğerleri, 2015). Bu avantaj öncelikle, ağır metal tespiti ve pestisidal toksisite tespiti ile ilgili selektif ve sensitif gelişmekte olan bütün hücre biyosensörlerinin (Gutierrez ve diğerleri, 2015) avantajından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, yüksek ökaryotik mikroorganizmalar, farklı toksik moleküllere karşı daha

geniş hassasiyet gösterebilir ve bu sensörlerin daha gelişmiş hayvanlarla ilgisi vardır. İlginç bir şekilde, mikrobiyal biyosensör uygulamaları çevresel monitarizasyondan enerji üretimine kadar çeşitlilik göstermektedir. Yenilikçi stratejiler ökaryotlardan, mühendislik tasarımı prokaryotlara kadar olan mikrobiyal ajanlardan yüksek sensitivitede sonra selektivitede yeni biyosensörler sağlayacaktır. Gelecekte, bu mikrobiyal biyosensörler (Du ve ark., 2007; Sun ve ark., 2015) çevresel metal kirliliğinin ve sürdürülebilir enerji üretiminin izlenmesinde daha geniş uygulamalara sahip olacaklar.

Biyosensörlerin Teknolojik Olarak Karşılaştırması

Daha önceki bölümlerde farklı biyosensör tiplerini ve uygulamaları açıklanmıştır. Bu bölümde biyosensörlerin teknolojik özelliklerini, spesifiklerini ve saptama limitlerini, doğrusal aralıklarını, analiz zamanları, maliyet ve taşınabilirlikleri karşılaştırılmıştır. Elektrokimyasal sensörlerdeki yüksek teknolojik metotlardaki yenilikler; tespit limitine, analiz zamanına ve taşınabilirliğe odaklanmıştır. Bu yenilikler yan-akım teknolojisi temelli anti-human koryonik gonadotropin immobilizasyon stripi ile gebelik testleri ve ucuz glukoz biyosensörleridir. Buda tüketici pazarına büyük bir ölçek sağlamaktadır (Turner, 2013). Polimerleri ve nanomalzemeleri kullanarak analitlerin immobilizasyonu duyarlılık ve algılama limitini arttırmanın anahtarıdır. Bu bilimsel bakış açısıyla, yanal akış teknolojisi, numunelerin rastgele değil spesifik etkileşimler yaratmak için istenen noktaya doğrudan gönderilmesini sağlar. Altın, gümüş ve silikon bazlı biyofabrikasyon kullanımı yeni yöntemlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Buna ek olarak, bu nanomalzemelerin polimerlerle ile kaplanması kontakt temelli elektrokimyasal algılamada devrim yaratmıştır. Bu tip elektrokimyasal sensörlerin en önemli avantajlarından biri, gerçek zamanlı spesifik ve sensitif analiz yapabilmesidir. Bununla birlikte, bu sensörlerde de belli sınırlamalar mevcuttur. Polimerler ve kullanılan diğer malzemelerin rejeneratif kabiliyeti veya uzun süreli kullanımı hala problemlidir. Ancak bu sensörlerin maliyetindeki düşüklük elektrokimyasal sensörleri daha satın alınabilir hale getirir. Kontakt temelli algılama ile tek analit tespiti muazzam avantajlara sahiptir. Yüksek spesifikliğe sahip moleküllerin gerçek zamanlı ölçümü buna örnek verilebilir. Bunu sağlamak, tek molekül algılamanın spesifikite ve sensitifitesini arttırmak için; FRET, biyoluminesans rezonans enerji transferi, flüoresan temelli ve yüzey plazmon rezonansına dayalı transdüserler (Dias ve diğerleri, 2014) ortaya konulmuştur. Bu tekniklerin çoklu analit tespitinde sinyal emisyonu çakışması nedeni kısıtlamaları bulunmaktadır. Yine de rezonans enerji transfer metodu multipl analit tespitinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu sensörler, hastalar ve ilgili hastalıklardaki biyomarker farklılıklarına bağlı klinik tanıyı koymada yüksek derecede öneme sahip olmuşlardır. Elektrokimyasal sensör biofabrikasyonunda transdüser olarak mikro veya nano-konsolların kullanılması, birden fazla analit algılamasında daha fazla oranda kullanıma sahiptir. Buna ek olarak, mürekkep püskürtmeli veya doğrudan lazer yazıcı 3D bioprinting kullanan temassız sensörler daha iyi sonuçlar sağlamıştır. Yine de, var olan maliyet ve özelleştirilebilme yeteneği nedeni bu yöntemlerde yüksek oranda sınırlamalar mevcuttur. İlginçtirki, bu yüksek verimli biyosensörlerin çoğu spesifik uygulamalar için elektrokimyasal algılama ile kombine edilmiştir. En önemli dikkat çeken bazı sensitif, gerçek zamanlı ve taşınabilir amperometrik elektrokimyasal biyosensörler vücut sıvılarını kullanarak hastalık tanısı koymak için geliştirilmiştir (Kim ve ark., 2015). Genellikle, biofabrikasyonla kombine edilen elektrokimyasal biyosensörlerin gerçek zamanlı analiz ile tek analit tespit spesifikitesi için algılama limiti düşüktür ve ayrıca cihaz taşınabilirliği ve fiyatları göz önüne alındığında cihaz makul, satın alınabilir maliyettedir.

Optik tabanlı biyosensörler fiber optik kimyayı içeren diğer majör biosensing teknolojisidir. Örnek olarak DNA yada peptidler gibi tek molekül tespitleri yüksek yükleme kapasitesi ve hidrofilik yapı gibi avantajlarına bağlı olarak en iyi hidrojel temelli çapraz bağlanma kullanılarak yapılır. Daha sonra biyotıpta ve adli bilimlerde geniş alanda kullanılan DNA ölçümü için optik biyosensörler

geliştirilmiştir. (Kwon ve Bard, 2012). Enzim, substrat, antikor, antijen ve nükleik asit gibi biyolojik materyallerin kombinasyonu optik biyosensör teknolojisinde devrim yaratmıştır. Bu biyolojik materyaller yanında biyoalgılayıcı sistemler ile hayvan hücrelerinin, bitki hücrelerinin, mikroorganizmaların, doku kısımlarının kombinasyonunda mümkündür. Moleküler optoelektronik bilimindeki en son gelişmeler optik biyometrik tanıma sistemlerini ortaya koymuştur. Entegre optik teknolojileri aktif ve pasif optik komponentleri aynı substrat için bir araya getirmiş ve bu sayede tek bir çip üzerinde multipl sensör fabrikasyonu kullanarak minimize edilmiş kompakt algılayıcı cihazın geliştirilmesini sağlamıştır. Yüksek kalitedeki polimerler optik biyosensörler için hibrid sistemler sağlamıştır. Aslında optik temelli biyosensör teknolojisi high-end elektron ve atomik güç mikroskobisi ile yüzey morfolojisinin incelenmesindeki modern yeniliklere bağlı olarak gelişmiştir. Bunların hepsine rağmen optik biyosensörlerin tespit limiti cihaz maliyeti ve taşınabilirlik göz önüne alındığında bile hiçbir zaman femto-level düzeyine yaklaşamamıştır. Bu amaçla, yüzey rezonans teknolojisini ve mikro konsol temelli nanomekanik biyosensörleri içeren modern optik teknoloji en azından gerçek zamanlı spesifik ve sensitif analizler için yenilikçi DNA çiplerinin tasarlanmasını sağlamıştır. Genellikle optik biyosensörlerin avantajları elektriksel ve manyetik interferanslara dirençli hızlı swift analizi yapabilmesidir. Bu yöntemin dezavantajı ise kesin enstrümantasyon gereklilikleridir. Diğer teknik zorlukları sayacak olursak biofabrikasyon için immobilizasyondaki karmaşıklık, üretimde optik sensörden tüm avantajı sağlamak için steril çevre ihtiyacının bulunmasıdır.

Mekanik cihazların biyo-fabrikasyonu, kütle tabanlı biyosensörler için daha iyi sonuç sağlar. Gerçekten de, hem elektrokimyasal hem de optik biyosensörler, üstün biyosensörlerin keşfinde en çok yeri almaktadır. Mikro ve nanofabrikasyon teknolojilerindeki büyük ilerlemeler (Arlett ve ark., 2011), nano boyutta hareketli parçalar ile mekanik cihazların geliştirilmesini sağlar. Yarı iletken işleme prosedürlerini kullanarak yapı üretim yeteneği pratikte mikro ve nano elektromekanik biyosensörlerin üretimi sürecinde biyofiziği ve biyomühendislik prensiplerini (Arlett ve ark., 2011) bir araya getirir. Cam, silikon ve kuvars malzemeler floresan veya altın nanopartikülleriyel başarıyla etiketleme yapıldıkta sonrada kullanılmıştır. Bu biyosensörler tek molekül algılama açısından daha yüksek oranda doğruluğa sahip olmakla birlikte, düşük maliyetli seri üretimin uygulanabilirliği azdır (Peng ve diğerleri, 2014; Shen ve ark., 2014). Yüksek verimli analizler yapmak için mikroelektronik imalat kullanarak nano ölçekte üretilebilecek daha iyi yakalama maddelerinin tasarlanmasında kütle dayalı sensörler için hala birçok zorluklar bulunmaktadır. Bu bağlamda, yarı iletken materyallerin ve kuantum nokta teknolojisinin muazzam uygulama potansiyellerinden bahsetmek gerekir. Bununla birlikte, biyosensörlerde mevcut olan hiç bir teknoloji , büyük diziler için eşzamanlı, gerçek zamanlı, niceliksel testleri gerçekleştirmez ancak mikro ve nano ölçekli konsol üretimleri bu teknolojiyi mümkün hale getirebilir (Dias ve diğerleri, 2014).

Biyosensörlerde bir diğer büyük teknik devrim, biyolojik süreçlerin moleküler mekanizmalarını analiz etmek için genetik olarak kodlanmış biyosensörlerin veya sentetik fluoresan biyosensörlerin keşfedilmesidir (Kunzelmann ve diğerleri, 2014; Oldach ve Zhang, 2014; Randriamampita ve Lellouch, 2014). Bu sensörlerin spesifik analit ölçümü ile tek molekül saptama ihtimali çok yüksek olmasına rağmen, metodoloji, probe hazırlanması ve algılanması zordur. Aynı zamanda diğer bir zorluk ise bu yöntemin ileri teknolojik düzeyde enstrümantasyon gerektirmesidir. Biyomalzemeler açısından bakıldığında, mikrobiyal yakıt bazlı biyosensörlerin yüksek duyarlılık ve seçicilikleri nedeniyle üstünlükleri vardır, ancak mikrobiyal bir suş geliştirmek ve seri üretim için genetik mühendislik yöntemleri, karmaşık prosedürler ve yüksek maliyetler gerektirmektedir. Bununla birlikte, mikrobik biyosensörlerin bir diğer avantajı, çevresel izleme açısından daha fazla önem taşıyan biyoremediasyon için bir araç olarak kullanıma uygunluklarıdır. Bununla birlikte, genetiği

değiştirilmiş bu suşun geliştirilmesi ve kullanım için salınımı, üretim maliyet yönetimine ek olarak uygun yasa ve etik onayın alınması gibi durumlara kesinlikle dikkat edilmelidir.

Scheller ve arkadaşları (2014)'nin ortaya çıkardığı vizyon üzerine elektrokimyasal yada optik, biyoelektronik ilkeleri biyomoleküller, biyolojik materyaller, polimerler ve nanomalzemelerle kombine ederek çok hassas ve minyatür mikro ve nanobiyosensör platformları elde etmek için, biyomoleküllerin, biyolojik materyallerin, polimerlerin ve nanomalzemelerin kombinasyonu ile elektrokimyasal veya optik biyo-elektronik ilkeleri kullanan entegre teknolojileri içeren farklı mikro ve nano-biyosensör platformlarının geliştirmesi gerekmektedir.

Biyosensör Teknolojisinin Güncel Araştırma Trendleri, Gelecekteki Yeri ve Sınırlamaları

Elektrokimyasal, elektromekanik, floresan-cum-optik tabanlı biyosensörler ve genetik olarak tasarlanmış mikroorganizmaların bulunduğu teknolojileri kullanan entegre stratejiler, biyosensör teknolojileri için modern yöntemlerdir. Bu biyosensörlerin bazıları, hastalık tanısı ve tıbbın muhteşem uygulamalarına sahiptir. Maliyet etkinliği ile hızlı analiz yapılması için biyosensör kullanım ihtiyacı, tek molekül için yüksek hassasiyette tespit sınırı ile bir hücreden tüm aktiviteyi belirlemek için biyo-fabrikasyon gerektirir. Daha sonra, biyosensörler çoklu koşullarda çalışmayı hedef almalıdır. Bu durumda, ilgilenilen küçük analitlerin hedeflenmesi ve nicelendirilmesi için gelişmiş dönüştürücülerle hem 2D hem de 3D algılaması gereklidir (Dias ve ark., 2014). Bu aşamada, farklı düzeylerde temaslı veya temassız örneklendirmeler yapılarak bir kaç kilometre taşı buluş yapılmıştır. Bir sonraki geliştirme seviyesinde, uzun süreli kullanım için daha sağlam rejeneratif biyosensörlerin keşfedilmesinin amaçlanmalıdır. Bunun gerçekleşmesi durumunda, terapötikler için yeni teşhis biyolojik sensörleri geliştirilebilir. Bu, hem klinisyenlere hem de hastalara uzun vadede hastalıkların ve tedavilerinin daha bütünsel bir şekilde anlaşılması için yardımcı olacaktır. Bu çerçevede örnek verecek olursak floresan rezonans enerji transferine dayalı biyosensör, imatinib tedavisinin kronik miyeloid lösemide etkinliğini değerlendirmek için mükemmel teşhis prosedürü sağlamıştır (Fracchiolla ve ark., 2013). Günümüzde aptamerlerin, affibodilerin, peptid dizilerinin ve moleküler imprint polimerlerin kullanımı bu alandaki prospektif araştırma yaklaşımları için klasik örneklerdir (Citartan ve diğerleri, 2013; Abe ve diğerleri, 2014; Verma and Bhardwaj, 2015). Bir çok molekülle yapılan yeni terapötik, antimikrobiyal ve ilaç taşıma çalışmalarında çok az potansiyel molekül ile başarı sağlanmıştır. Kompleks matrislerde avian influenza virüs patojenin tespiti için güvenilir analitik cihazlar olarak elektrokimyasal biyosensörlerin keşfedilmesini sağlayan yöntemlerin ortaya konulmuştur (Grabowska et al., 2014). Yakın tarihli bir çalışmada, spor tıbbı ve doping kontrol analizinde afinite dayalı biyosensörlerin potansiyel uygulamaları ortaya çıkmaktadır (Mazzei ve diğerleri, 2014). Son zamanlarda, giyilebilir elektrokimyasal biyosensörlerin çeşitliliği, kullanıcının sağlık durumunun göstergeleri olarak vücut sıvısında elektrolitlerin ve metabolitlerin gerçek zamanlı non-invaziv taramaları için ayrıntılı olarak incelendiği çalışmalar yapılmıştır (Bandonkar ve Wang, 2014). Başka bir ilginç uygulama ise, hipoksantin biyosensörlerini imalat yoluyla kullanarak et ve balık kalitesini değerlendirmektir (Lawal ve Adeloju, 2012). Bakteriler, virüsler ve toksinler gibi biyolojik savaş ajanlarının saptanması için biyosensörlerde geliştirme, çoğunlukla elektrokimyasal, nükleik asit, optik ve piezoelektrik sensör temellidir. Bu sensörler savunma, güvenlik ve çeşitli askeri uygulamalarda kullanılmaya ve denenmeye çalışılmıştır (Kumar ve Rani, 2013). Birlikte ele alındığında, biyosensörlerle beraber nanomateryaller ve polimerlerin kombinasyonu, daha önce sözü edilen uygulamalarda daha iyi kullanım için hibrid cihazların tasarlanmasını sağlayacaktır (Citartan ve diğerleri, 2013; Turner, 2013). Buna ek olarak, sentetik biyolojik yaklaşım ile mikrobik biyosensör geliştirilmesinde bilimsel ilerleme, büyük ölçüde çevre kontrolü, denetimi ve hatta enerji talebine katkıda bulunacaktır (Sun ve

ark., 2015). Yukarıda sayılanların yanında su arıtımı yöntemi geliştirmek ve çevre sensörleri için güç kaynakları olarak mikrobiyal yakıt hücrelerinin kullanılmasını sağlamanın önemini belirtmelidir. Geniş bir çerçevede, biyosensörlerin türleri, potansiyel uygulamaları ve analit saptama kabiliyeti, analiz zamanı, taşınabilirlik, maliyet ve özelleştirme gibi özellikleri özetlenerek vurgulanmıştır.

Sonuç olarak; biyosensörlerin geliştirilmesi çoğunlukla duyarlılık, özgüllük, nontoksik olma, küçük molekül tespiti ve maliyet etkinliği üzerine kuruludur. Bu özelliklerin göz önüne bulundurulmasıyla, kritik parametrelerin ve biyosensör teknolojisinin önemli sınırlamaları ile ilgili endişelerin ve sorunların giderilmesi hedeflenmelidir. Bazı ilerlemeler elektrokimyasal sensörlerde nanomalzemelerin birlikte kullanılması ile yeni tür biyosensör tasarlanmasına neden olur (Kwon and Bard, 2012; Bandodkar and Wang, 2014). Vücudumuzdaki kimyasal bileşenlere yönelik fizyolojik tespit ve güvenlik tespiti için baskılı geçici transfer elektrokimyasal biyosensör dövme şeklinde kullanılan "elektronik cilt" in icadındanda bahsetmek gerekir (Windmiller ve ark., 2012a, b). Genel olarak, modern çağın güçlü biyosensörlerinin başarılı bir şekilde geliştirilebilmesi için, biyosensing ve biyo-fabrikasyonun ya elektrokimyasal ya optik ya da biyo-elektronik ilkelerin ya da bunların bir kombinasyonunun kullanıldığı sentetik biyolojik yaklaşımlar ile daha iyi kombinasyonunun sağlanması anahtar olacaktır.

Referanslar:

1. Abe K., Yoshida W., Ikebukuro K. (2014). Electrochemical biosensors using aptamers for theranostics. *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.* 140, 183–202.10.1007/10_2013_226
2. Arlett J. L., Myers E. B., Roukes M. L. (2011). Comparative advantages of mechanical biosensors. *Nat. Nanotechnol.* 6, 203–215.10.1038/nnano.2011.44
3. Bahadir E. B., Sezgenturk M. K. (2015). Electrochemical biosensors for hormone analyses. *Biosens. Bioelectron.* 68, 62–71.10.1016/j.bios.2014.12.054
4. Bandodkar A. J., Wang J. (2014). Non-invasive wearable electrochemical sensors: a review. *Trends Biotechnol.* 32, 363–371.10.1016/j.tibtech.2014.04.005
5. Citartan M., Gopinath S. C., Tominaga J., Tang T. H. (2013). Label-free methods of reporting biomolecular interactions by optical biosensors. *Analyst* 138, 3576–3592.10.1039/c3an36828a
6. Clark L. C., Jr., Lyons C. (1962). Electrode systems for continuous monitoring in cardiovascular surgery. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 102, 29–45.10.1111/j.1749-6632.1962.tb13623.x
7. De M. R., Carimi F., Frommer W. B. (2014). Mitochondrial biosensors. *Int. J. Biochem. Cell Biol.* 48, 39–44.10.1016/j.biocel.2013.12.014
8. Dias A. D., Kingsley D. M., Corr D. T. (2014). Recent advances in bioprinting and applications for biosensing. *Biosensors (Basel)* 4, 111–136.10.3390/bios4020111
9. Ding L., Bond A. M., Zhai J., Zhang J. (2013). Utilization of nanoparticle labels for signal amplification in ultrasensitive electrochemical affinity biosensors: a review. *Anal. Chim. Acta* 797, 1–12.10.1016/j.aca.2013.07.035
10. Du Z., Li H., Gu T. (2007). A state of the art review on microbial fuel cells: a promising technology for wastewater treatment and bioenergy. *Biotechnol. Adv.* 25, 464–482.10.1016/j.biotechadv.2007.05.004
11. Erden P. E., Kilic E. (2013). A review of enzymatic uric acid biosensors based on amperometric detection. *Talanta* 107, 312–323.10.1016/j.talanta.2013.01.043
12. N. S., Artuso S., Cortelezzi A. (2013). Biosensors in clinical practice: focus on oncohematology. *Sensors (Basel)* 13, 6423–6447.10.3390/s130506423

13. Grabowska I., Malecka K., Jarocka U., Radecki J., Radecka H. (2014). Electrochemical biosensors for detection of avian influenza virus – current status and future trends. *Acta Biochim. Pol.* 61, 471–478.
14. Gruhl F. J., Rapp B. E., Lange K. (2013). Biosensors for diagnostic applications. *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.* 133, 115–148.10.1007/10_2011_130
15. Guo X. (2013). Single-molecule electrical biosensors based on single-walled carbon nanotubes. *Adv. Mater.* 25, 3397–3408.10.1002/adma.201301219
16. Gutierrez J. C., Amaro F., Martin-Gonzalez A. (2015). Heavy metal whole-cell biosensors using eukaryotic microorganisms: an updated critical review. *Front. Microbiol.* 6:48.10.3389/fmicb.2015.00048
17. Hamidi-Asl E., Palchetti I., Hasheminejad E., Mascini M. (2013). A review on the electrochemical biosensors for determination of microRNAs. *Talanta* 115, 74–83.10.1016/j.talanta.2013.03.061
18. Harris J. M., Reyes C., Lopez G. P. (2013). Common causes of glucose oxidase instability in vivo biosensing: a brief review. *J. Diabetes Sci. Technol.* 7, 1030–1038.
19. Hutter E., Maysinger D. (2013). Gold-nanoparticle-based biosensors for detection of enzyme activity. *Trends Pharmacol. Sci.* 34, 497–507.10.1016/j.tips.2013.07.002
20. Jain R. K. (2013). Normalizing tumor microenvironment to treat cancer: bench to bedside to biomarkers. *J. Clin. Oncol.* 31, 2205–2218.10.1200/JCO.2012.46.3653
21. Johnson B. N., Mutharasan R. (2014). Biosensor-based microRNA detection: techniques, design, performance, and challenges. *Analyst* 139, 1576–1588.10.1039/c3an01677c
22. Khimji I., Kelly E. Y., Helwa Y., Hoang M., Liu J. (2013). Visual optical biosensors based on DNA-functionalized polyacrylamide hydrogels. *Methods* 64, 292–298.10.1016/j.jymeth.2013.08.021
23. Kim J., Imani S., de Araujo W. R., Warchall J., Valdes-Ramirez G., Paixao T. R., et al. (2015). Wearable salivary uric acid mouthguard biosensor with integrated wireless electronics. *Biosens. Bioelectron.* 74, 1061–1068.10.1016/j.bios.2015.07.039
24. Ko P. J., Ishikawa R., Sohn H., Sandhu A. (2013). Porous silicon platform for optical detection of functionalized magnetic particles biosensing. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 13, 2451–2460.10.1166/jnn.2013.7406
25. Kumar H., Rani R. (2013). Development of biosensors for the detection of biological warfare agents: its issues and challenges. *Sci. Prog.* 96, 294–308.10.3184/003685013X13777066241280
26. Kunzelmann S., Solscheid C., Webb M. R. (2014). Fluorescent biosensors: design and application to motor proteins. *EXS* 105, 25–47.10.1007/978-3-0348-0856-9_2
27. Kwon S. J., Bard A. J. (2012). DNA analysis by application of Pt nanoparticle electrochemical amplification with single label response. *J. Am. Chem. Soc.* 134, 10777–10779.10.1021/ja304074f
28. Lamprecht C., Hinterdorfer P., Ebner A. (2014). Applications of biosensing atomic force microscopy in monitoring drug and nanoparticle delivery. *Expert. Opin. Drug Deliv.* 11, 1237–1253.10.1517/17425247.2014.917078
29. Lawal A. T., Adeloju S. B. (2012). Progress and recent advances in fabrication and utilization of hypoxanthine biosensors for meat and fish quality assessment: a review. *Talanta* 100, 217–228.10.1016/j.talanta.2012.07.085
30. Li M., Li R., Li C. M., Wu N. (2011). Electrochemical and optical biosensors based on nanomaterials and nanostructures: a review. *Front. Biosci. (Schol Ed)*3:1308–1331.10.2741/228
31. Long F., Zhu A., Shi H. (2013). Recent advances in optical biosensors for environmental monitoring and early warning. *Sensors (Basel)* 13, 13928–13948.10.3390/s131013928
32. Marrazza G. (2014). Piezoelectric biosensors for organophosphate and carbamate pesticides: a review. *Biosensors (Basel)* 4, 301–317.10.3390/bios4030301
33. Mazzei F., Antiochia R., Botre F., Favero G., Tortolini C. (2014). Affinity-based biosensors in sport medicine and doping control analysis. *Bioanalysis* 6, 225–245.10.4155/bio.13.308

13. Grabowska I., Malecka K., Jarocka U., Radecki J., Radecka H. (2014). Electrochemical biosensors for detection of avian influenza virus – current status and future trends. *Acta Biochim. Pol.* 61, 471–478.
14. Gruhl F. J., Rapp B. E., Lange K. (2013). Biosensors for diagnostic applications. *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.* 133, 115–148.10.1007/10_2011_130
15. Guo X. (2013). Single-molecule electrical biosensors based on single-walled carbon nanotubes. *Adv. Mater.* 25, 3397–3408.10.1002/adma.201301219
16. Gutierrez J. C., Amaro F., Martin-Gonzalez A. (2015). Heavy metal whole-cell biosensors using eukaryotic microorganisms: an updated critical review. *Front. Microbiol.* 6:48.10.3389/fmicb.2015.00048
17. Hamidi-Asl E., Palchetti I., Hasheminejad E., Mascini M. (2013). A review on the electrochemical biosensors for determination of microRNAs. *Talanta* 115, 74–83.10.1016/j.talanta.2013.03.061
18. Harris J. M., Reyes C., Lopez G. P. (2013). Common causes of glucose oxidase instability in in vivo biosensing: a brief review. *J. Diabetes Sci. Technol.* 7, 1030–1038.
19. Hutter E., Maysinger D. (2013). Gold-nanoparticle-based biosensors for detection of enzyme activity. *Trends Pharmacol. Sci.* 34, 497–507.10.1016/j.tips.2013.07.002
20. Jain R. K. (2013). Normalizing tumor microenvironment to treat cancer: bench to bedside to biomarkers. *J. Clin. Oncol.* 31, 2205–2218.10.1200/JCO.2012.46.3653
21. Johnson B. N., Mutharasan R. (2014). Biosensor-based microRNA detection: techniques, design, performance, and challenges. *Analyst* 139, 1576–1588.10.1039/c3an01677c
22. Khimji I., Kelly E. Y., Helwa Y., Hoang M., Liu J. (2013). Visual optical biosensors based on DNA-functionalized polyacrylamide hydrogels. *Methods* 64, 292–298.10.1016/j.ymeth.2013.08.021
23. Kim J., Imani S., de Araujo W. R., Warchall J., Valdes-Ramirez G., Paixao T. R., et al. (2015). Wearable salivary uric acid mouthguard biosensor with integrated wireless electronics. *Biosens. Bioelectron.* 74, 1061–1068.10.1016/j.bios.2015.07.039
24. Ko P. J., Ishikawa R., Sohn H., Sandhu A. (2013). Porous silicon platform for optical detection of functionalized magnetic particles biosensing. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 13, 2451–2460.10.1166/jnn.2013.7406
25. Kumar H., Rani R. (2013). Development of biosensors for the detection of biological warfare agents: its issues and challenges. *Sci. Prog.* 96, 294–308.10.3184/003685013X13777066241280
26. Kunzelmann S., Solscheid C., Webb M. R. (2014). Fluorescent biosensors: design and application to motor proteins. *EXS* 105, 25–47.10.1007/978-3-0348-0856-9_2
27. Kwon S. J., Bard A. J. (2012). DNA analysis by application of Pt nanoparticle electrochemical amplification with single label response. *J. Am. Chem. Soc.* 134, 10777–10779.10.1021/ja304074f
28. Lamprecht C., Hinterdorfer P., Ebner A. (2014). Applications of biosensing atomic force microscopy in monitoring drug and nanoparticle delivery. *Expert. Opin. Drug Deliv.* 11, 1237–1253.10.1517/17425247.2014.917078
29. Lawal A. T., Adeloju S. B. (2012). Progress and recent advances in fabrication and utilization of hypoxanthine biosensors for meat and fish quality assessment: a review. *Talanta* 100, 217–228.10.1016/j.talanta.2012.07.085
30. Li M., Li R., Li C. M., Wu N. (2011). Electrochemical and optical biosensors based on nanomaterials and nanostructures: a review. *Front. Biosci. (Schol Ed)*3:1308–1331.10.2741/228
31. Long F., Zhu A., Shi H. (2013). Recent advances in optical biosensors for environmental monitoring and early warning. *Sensors (Basel)* 13, 13928–13948.10.3390/s131013928
32. Marrazza G. (2014). Piezoelectric biosensors for organophosphate and carbamate pesticides: a review. *Biosensors (Basel)* 4, 301–317.10.3390/bios4030301
33. Mazzei F., Antiochia R., Botre F., Favero G., Tortolini C. (2014). Affinity-based biosensors in sport medicine and doping control analysis. *Bioanalysis* 6, 225–245.10.4155/bio.13.308

34. Mello L. D., Kisner A., Goulart M. O., Kubota L. T. (2013). Biosensors for antioxidant evaluation in biological systems. *Comb. Chem. High Throughput Screen.* 16, 109–120.10.2174/138620713804806265
35. Nie S., Xing Y., Kim G. J., Simons J. W. (2007). Nanotechnology applications in cancer. *Annu. Rev. Biomed. Eng.* 9, 257–288.10.1146/annurev.bioeng.9.060906.152025
36. Ogi H. (2013). Wireless-electrodeless quartz-crystal-microbalance biosensors for studying interactions among biomolecules: a review. *Proc. Jpn. Acad. Ser. B Phys. Biol. Sci.* 89, 401–417.10.2183/pjab.89.401
37. Oldach L., Zhang J. (2014). Genetically encoded fluorescent biosensors for live-cell visualization of protein phosphorylation. *Chem. Biol.* 21, 186–197.10.1016/j.chembiol.2013.12.012
38. Park K., Jung J., Son J., Kim S. H., Chung B. H. (2013). Anchoring foreign substances on live cell surfaces using Sortase A specific binding peptide. *Chem. Commun. (Camb)* 49, 9585–9587.10.1039/c3cc44753g
39. Peng F., Su Y., Zhong Y., Fan C., Lee S. T., He Y. (2014). Silicon nanomaterials platform for bioimaging, biosensing, and cancer therapy. *Acc. Chem. Res.* 47, 612–623.10.1021/ar400221g
40. Pundir C. S., Chauhan N. (2012). Acetylcholinesterase inhibition-based biosensors for pesticide determination: a review. *Anal. Biochem.* 429, 19–31.10.1016/j.ab.2012.06.025
41. Randriamampita C., Lellouch A. C. (2014). Imaging early signaling events in T lymphocytes with fluorescent biosensors. *Biotechnol. J.* 9, 203–212.10.1002/biot.201300195
42. Sang S., Wang Y., Feng Q., Wei Y., Ji J., Zhang W. (2015). Progress of new label-free techniques for biosensors: a review. *Crit. Rev. Biotechnol.* 15, 1–17.10.3109/07388551.2014.991270
43. Scheller F. W., Yarman A., Bachmann T., Hirsch T., Kubick S., Renneberg R., et al. (2014). Future of biosensors: a personal view. *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.* 140, 1–28.10.1007/10_2013_251
44. Schneider E., Clark D. S. (2013). Cytochrome P450 (CYP) enzymes and the development of CYP biosensors. *Biosens. Bioelectron.* 39, 1–13.10.1016/j.bios.2012.05.043
45. Senthikumar B. (2015). Pesticide- and sex steroid analogue-induced endocrine disruption differentially targets hypothalamo-hypophyseal-gonadal system during gametogenesis in teleosts – a review. *Gen. Comp. Endocrinol.* 219, 136–142.10.1016/j.ygcen.2015.01.010
46. Senveli S. U., Tigli O. (2013). Biosensors in the small scale: methods and technology trends. *IET Nanobiotechnol.* 7, 7–21.10.1049/iet-nbt.2012.0005
47. Shen M. Y., Li B. R., Li Y. K. (2014). Silicon nanowire field-effect-transistor based biosensors: from sensitive to ultra-sensitive. *Biosens. Bioelectron.* 60, 101–111.10.1016/j.bios.2014.03.057
48. Su L., Jia W., Hou C., Lei Y. (2011). Microbial biosensors: a review. *Biosens. Bioelectron.* 26, 1788–1799.10.1016/j.bios.2010.09.005
49. Su T., Zhang Z., Luo Q. (2012). Ratiometric fluorescence imaging of dual bio-molecular events in single living cells using a new FRET pair mVenus/mKOkappa-based biosensor and a single fluorescent protein biosensor. *Biosens. Bioelectron.* 31, 292–298.10.1016/j.bios.2011.10.034
50. Sun J. Z., Peter K. G., Si R. W., Zhai D. D., Liao Z. H., Sun D. Z., et al. (2015). Microbial fuel cell-based biosensors for environmental monitoring: a review. *Water Sci. Technol.* 71, 801–809.10.2166/wst.2015.035
51. Thunemann M., Schmidt K., de W. C., Han X., Jain R. K., Fukumura D., et al. (2014). Correlative intravital imaging of cGMP signals and vasodilation in mice. *Front. Physiol.* 5:394.10.3389/fphys.2014.00394
52. Turner A. P. (2013). Biosensors: sense and sensibility. *Chem. Soc. Rev.* 42, 3184–3196.10.1039/c3cs35528d
53. Valentini F., Galache F. L., Tamburri E., Palleschi G. (2013). Single walled carbon nanotubes/polypyrrole-GOx composite films to modify gold microelectrodes for glucose

- biosensors: study of the extended linearity. *Biosens. Bioelectron.* 43, 75–78.10.1016/j.bios.2012.11.019
54. Verma N., Bhardwaj A. (2015). Biosensor technology for pesticides – a review. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 175, 3093–3119.10.1007/s12010-015-1489-2
55. Wang B., Takahashi S., Du X., Anzai J. (2014). Electrochemical biosensors based on ferroceneboronic acid and its derivatives: a review. *Biosensors (Basel)* 4, 243–256.10.3390/bios4030243
56. Wang J., Chen G., Jiang H., Li Z., Wang X. (2013). Advances in nano-scaled biosensors for biomedical applications. *Analyst* 138, 4427–4435.10.1039/c3an00438d
57. Wang S., Poon G. M., Wilson W. D. (2015). Quantitative investigation of protein-nucleic acid interactions by biosensor surface plasmon resonance. *Methods Mol. Biol.* 1334, 313–332.10.1007/978-1-4939-2877-4_20
58. Windmiller J. R., Bandodkar A. J., Parkhomovsky S., Wang J. (2012a). Stamp transfer electrodes for electrochemical sensing on non-planar and oversized surfaces. *Analyst* 137, 1570–1575.10.1039/c2an35041f
59. Windmiller J. R., Bandodkar A. J., Valdes-Ramirez G., Parkhomovsky S., Martinez A. G., Wang J. (2012b). Electrochemical sensing based on printable temporary transfer tattoos. *Chem. Commun. (Camb)* 48, 6794–6796.10.1039/c2cc32839a
60. Zhang Z., Liu J., Qi Z. M., Lu D. F. (2015). In situ study of self-assembled nanocomposite films by spectral SPR sensor. *Mater. Sci. Eng. C Mater. Biol. Appl.* 51, 242–247.10.1016/j.msec.2015.02.026
61. Zhou Y., Chiu C. W., Liang H. (2012). Interfacial structures and properties of organic materials for biosensors: an overview. *Sensors (Basel)* 12, 15036–15062.10.3390/s121115036
62. Recent Advances in Biosensor Technology for Potential Applications – An Overview; [S. Vigneshvar](#),¹ [C. C. Sudhakumari](#),^{2,3} [Balasubramanian Senthilkumar](#),^{2,3,*} and [Hridayesh Prakash](#)^{3,*}

Tıbbi Cihaz Satışı Yapan Personelin Eğitimi ve Kuruluşların Yetkilendirilmesi

Mana Sezdi¹, Nazif İlker Sezdi², Ahmet Kandemir Pehlivanlı³

¹Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Programı, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
mana@istanbul.edu.tr

²Medibim Medikal Bilişim Kalibrasyon Tek. Ltd. Şti., İstanbul, Türkiye
nazif@medibim.com.tr

³Biyomedikal Mühendisliği, Fen Bilimleri Enst., İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
ahmet.pehlivanli@yahoo.com

Özetçe— Tıbbi cihaz satışının eğitimli personellerce yapılması, ülke sağlık hizmetlerinin verimliliği açısından çok önemlidir. Etik bir şekilde tanıtımı ve satışı yapılan cihazların, sağlık personeline de iyi bir eğitim ile kazandırılması, doğru teşhis ve tedavi açısından önem kazanmıştır. Bu sebeple, bu konuda doğru disiplinlerden mezun ve ilgili eğitimleri almış yetkin ve uzman kişilerin sürece dahil edilmesi, Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu (TİTCK) tarafından yürürlüğe konmuş ve süreç ÜTS (Ürün Takip Sistemi) projesinin de bir parçası olmuştur. Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu (TİTCK), satış işlemlerini kontrol altına almak ve denetleme mekanizması kurmak için "Tıbbi Cihaz Satış, Reklam ve Tanıtım Yönetmeliği" adı altında bir yönetmeliği 15.05.2014 tarihinde uygulamaya geçirmiştir. Bu yönetmeliğe göre, tıbbi cihazların satış ve tanıtımını yapan personel standart bir eğitim ile sertifikalandırılacak, bu hizmeti veren satış merkezleri de denetlenerek yetkilendirilecektir. Bu bildiri, sözkonusu yönetmeliğin gerektirdiği sertifikalı eğitim programı ve kuruluş yetkilendirme süreci ayrıntıları ile bilginize sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler — sorumlu müdür; satış-tanıtım elemanı; klinik destek elemanı; yetkilendirme.

Abstract— The sale of medical equipment by trained personnel is very important for the efficiency of the country's health services. It has gained importance in terms of the right diagnosis and treatment that the devices introduced and sold in an ethical manner are also presented to health personnel by good presentation. For this reason, the inclusion of qualified and expert persons who graduated from the right disciplines to the process has been put into effect by the Turkish Medicines and Medical Devices Agency (TITCK) and the process has been become a part of the UTS (Product Tracking System) project. TITCK passed a regulation under the name of "Medical Device Sales, Advertisement and Promotion Regulation" on 15.05.2014 in order to control the sales transactions and to establish an inspection mechanism. According to this regulation, the personnel who sell and advertise the medical devices shall be certified by a standard training and the sales centers providing this service shall be audited and authorized. In this declaration, you are informed with the details of the certified training program and establishment authorization process required by the regulation.

Keywords — responsible manager; sales-promotion staff; clinical support staff; authorization.

1.Giriş

Tıbbi teknoloji, sağlık kuruluşlarında sağlık personelinin sunduğu hizmeti desteklemek için kullanılan ve bu süreç boyunca hem hasta hem de çalışan güvenliğinin ön planda tutulduğu alet, makine ve sistemler olarak tanımlanabilir. Tıbbi teknolojinin yönetimi, nasıl ki hastanelerde eğitimli klinik mühendislerinin kontrolünde gerçekleştiriliyorsa, bu teknolojinin satışı ve satış sonrası desteği de bir o kadar eğitimli personel tarafından gerçekleştirilmelidir. Bu gereksinimden yola çıkılarak, 15 Mayıs 2014 tarihi itibarıyla Resmi Gazete'de yayınlanan "Tıbbi Cihaz Satış, Reklam ve Tanıtım Yönetmeliği" gereğince, tıbbi cihaz satışı yapılan firmalarda çalışan personelin iş, ünvan ve tanımlarına göre eğitim almaları ve firmaların bu eğitimli personeller doğrultusunda belgelenmesi zorunlu hale getirilmiştir. Eğitimler, Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu tarafından yetkilendirilen eğitim kuruluşlarınca verilmekte, eğitim sürecini tamamlayan personelin çalıştığı satış merkezleri o eğitim içeriğinin gerektirdiği iş tanımında Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu tarafından belgelendirilmektedir.

Tıbbi cihaz satış merkezlerinde, sadece tıbbi cihazın tanıtımı ve satışı değil, satış sonrası klinik desteğin de sunulması, satılan cihazın kullanımına dair kullanıcı eğitiminin efektif bir şekilde sağlık personeline verilmesi gerekmektedir.

Bu nedenle, satış merkezinde görev alacak personel, sorumlu müdür, klinik destek elemanı ve satış-tanıtım elemanı olarak görevlerine göre sınıflandırılmıştır. Sorumlu müdür, satış-tanıtım elemanı ve klinik destek elemanının görev tanımları aşağıdaki gibidir:

-Sorumlu müdür, yönetmelik kapsamındaki faaliyetlerden sorumlu kişidir ve satışı yapılan cihazlarla ilgili rapor edilen olumsuz vakaları Tıbbi Cihaz Kurumuna ve ilgili cihazın imalat veya ithalatçısına bildirir.

-Satış ve tanıtım elemanı olacak kişi veya kişiler sadece bağlı oldukları satış merkezine ait cihazların satış ve tanıtımını yaparlar. Kendilerine rapor edilen olumsuz durumları ise ivedilikle sorumlu müdüre iletirler ve yönetmelik kapsamında ki faaliyetlerden satış ve tanıtım elemanı ve sorumlu müdür ile birlikte sorumludurlar.

-Klinik destek elemanı olacak kişilerin görevi ise kendilerine rapor edilen olumsuz olayları sorumlu müdüre iletmek ve klinik destek faaliyetlerini yürütmektir. Yapmış olduğu faaliyetlerden sorumlu müdür ile birlikte sorumludur.

Bu bildiri, yönetmelik kapsamında gerçekleştirilmekte olan tıbbi cihaz satışında çalışan personelin sertifikalı eğitim programı ve eğitim sonrası çalıştıkları satış merkezinin yetkilendirilmesi koşulları sunulmuştur.

2. Sertifikalı Eğitim Programı

Sertifikalı eğitim programının yükümlülüğü, TİTCK tarafından yetkilendirilen eğitim merkezlerine verilmiştir. Sorumlu müdür, satış-tanıtım elemanı ve klinik destek elemanının çalışma belgesi almadan önce, bu sertifikalı eğitimleri tamamlamaları şarttır. Eğitimler, internet üzerinden uzaktan eğitim şeklinde verilmektedir.

Eğitimin içeriği, tıbbi cihazlar ve güvenlik üzerine yoğunlaştırılmış 4 ana başlık altında toplanmıştır. Bu eğitimler:

- Mevzuat Eğitimi,
- Tıbbi Etik Eğitimi,
- Steril Ortamlarda Çalışma Eğitimi ve
- Radyasyon Güvenliği Eğitimi şeklindedir.

Sorumlu müdür ve klinik destek elemanı olacak kişilerin bu 4 eğitimin hepsini alması ve her eğitimin sınavından da başarılı bir şekilde geçmesi zorunluysa, satış ve tanıtım elemanı için ise, sadece mevzuat ve tıbbi etik eğitimlerini alarak, sınavlarında başarılı olmaları şartı yeterli görülmüştür. Her bir görev tanımı için ayrı ayrı sınav girmek gerekmektedir. Sınavlar, internet üzerinden çoktan seçmeli olarak gerçekleştirilmektedir. Başarılı olmaları için katılımcıların, 100 üzerinden en az 70 almaları gerekmektedir. Sınavlarda başarılı olamayanlar için aynı eğitim dönemi içinde iki kez bütünleme hakkı verilmektedir.

Bu eğitimleri alacak kişilerin, sorumlu müdür eğitimi için en az 4 yıllık lisans seviyesinde diploma sahibi olması, satış ve tanıtım elemanı eğitimi için ise en az ön lisans diplomasına sahip olması ön koşulu getirilmiştir. Klinik destek elemanı eğitimi için kişilerin yönetmelikte belirtilen lisans veya ön lisans diplomasına sahip olmaları zorunludur. Lisans ve ön lisans diplomasının yurt dışındaki bir üniversiteden sahip olunması durumundaysa YÖK tarafından tanınmış olması gerekliliği şartı koşulmuştur.

Ancak sözkonusu eğitim şartlarına sahip olmadığı halde, tıbbi cihaz satış alanında son beş yılda bir yıl kesintisiz faaliyette bulunduğunu, işyeri açma ve çalıştırma ruhsatı ve vergi dairesi kayıtları ile belgeleyen işyeri sahiplerine, mezuniyet durumlarına bakılmaksızın, sertifikalı eğitimleri almak şartı ile bir defaya mahsus olmak üzere sorumlu müdür çalışma belgesi düzenlenmiştir. Benzer şekilde, tıbbi cihaz satış veya klinik destek faaliyeti alanında son beş yılda iki yıl kesintisiz çalıştığını sosyal güvenlik ödeme belgesi ile belgeleyen kişilere, mezuniyet durumlarına bakılmaksızın, sertifikalı eğitimleri almak şartıyla bir defaya mahsus olmak üzere satış ve tanıtım elemanı ve klinik destek elemanı çalışma belgesi düzenlenmiştir.

Eğitimi ve sınavlarını başarıyla tamamlamış katılımcılara Sağlık Bakanlığı tescilli eğitim sertifikaları verilmektedir.

2.Satış Merkezi Yetkilendirme Koşulları

Yetki belgesi almak isteyen satış merkezi, İl Sağlık Müdürlüğü'ne başvuru yaparken, hazırladığı başvuru dilekçesi ile birlikte aşağıdaki belgeleri içeren bir dosyayı da Müdürlüğe sunmak durumundadır [1]. Bu dosyada,

-Satış merkezi işleteninin sorumlu müdür olmadığı durumlarda, satış merkezi işleteni ile sorumlu müdür arasında akdedilmiş yazılı hizmet sözleşmesi,

-Satış merkezinin çalıştıracağı sorumlu müdür, satış ve tanıtım elemanı ve varsa klinik destek elemanı belgeleri,

-Türkiye Ticaret Sicil Gazetesi, vergi levhası ve imza sirkülerinin örneği,

-Satış merkezinin satış ve tanıtımını gerçekleştireceği cihazlarla ilgili Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumunun kayıt

ve bilgi yönetim sistemine kayıtlı cihazları satacağına dair taahhütname,

-Satış merkezinin ilgili merciden almış olduğu iş yeri açma ve çalıştırma ruhsatı bulunmak durumundadır.

Müdürlüğe iletilen başvuru dosyası 15 gün içinde incelenir ve dosyada bir eksiklik yoksa 45 gün içinde gelinip yerinde denetleme yapılır. Yerinde incelemede bir eksiklik görülmezse, Müdürlük tarafından yetki belgesi düzenlenir. Ancak bir eksiklik varsa 45 gün süre tanınarak bu eksikliğin giderilmesi beklenir. Eksikliklerini tamamlayan firma, 45 gün içinde dilekçe ile ikinci bir yerinde inceleme talebinde bulunabilir. Eğer eksikleri tamamlayıp böyle bir talepte bulunmazsa ya da ikinci yerinde incelemede de uygun bulunmazlarsa başvuruları reddedilir.

Yetki belgesi almaya hak kazanan satış merkezleri, yetki belgesi bedelinin ödendiğine dair dekont ile birlikte çalıştıracağı sorumlu müdür, tanıtım personeli, satış personeli, klinik destek elemanı için düzenlenecek çalışma belgeleri bedellerinin ödendi dekontunu Müdürlüğe teslim ettikleri takdirde, Müdürlük tarafından tüm çalışma belgeleri ile uygunluk belgesi düzenlenip kendilerine teslim edilir.

Yetki belgesi ile sorumlu müdürün çalışma belgesi, satış merkezinin en görülebilir noktasına asılır.

Satış merkezi, çalışma belgesi düzenlenmiş personelinin iş değişikliğini 5 iş günü içinde Müdürlüğe bildirmek zorundadır. Satış merkezinde satışı yapan tüm cihazların Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu tarafından oluşturulmuş kayıt ve bilgi yönetim sistemine kaydedilmesi zorunludur.

Yönetmeliğe göre tıbbi satış merkezinde sadece bir adet sorumlu müdür olması gerekirken, faaliyetin gereği kadar en az bir adet de satış ve tanıtım elemanı ve klinik destek elemanına sahip olabilir. Sorumlu müdür, satış-tanıtım elemanı ile klinik destek elemanı çalışma belgeleri başka bir satış merkezi için kullanılamaz. Ancak cihazın gerekli kıldığı hâllerde imalatçı veya ithalatçı bünyesinde çalışan klinik destek elemanı, başka bir satış merkezine destek verebilir.

Satış merkezleri, il sağlık müdürlüğü tarafından iki yılda bir, Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu tarafından da gerekli görüldüğünde denetlenir. Bu denetlemelerde uygunsuzlukla karşılaşıldığı takdirde, uygunsuzluğun giderilmesi için müdürlük tarafından belirli bir süre tanınır. Bu süre zarfında da gerekli düzeltmelerin yapılmadığı saptandığı takdirde satış merkezi 15 günlüğüne faaliyetini durdurma cezası alır. Eğer çalışmayı durdurma cezasını gerektiren uygunsuzluk aynı yıl içinde ikinci kez ortaya çıkarsa, satış merkezinin faaliyeti bu sefer 30 gün süre ile durdurulur.

Satış merkezi, iki kez geçici faaliyet durdurma uygulanmasına rağmen uygunsuzluklarına devam ederse, sorumlu müdür çalıştırmaksızın hizmet verirse, geçici faaliyet durdurma cezası uygulandığı süre içerisinde faaliyete devam ederse, yetki belgesi süresiz olarak iptal edilir. Yetki belgesi iptal edilen gerçek ve tüzel kişilere iki yıl içinde tekrar yetki belgesi verilmez.

Sorumlu müdür, satış-tanıtım elemanı ve klinik destek elemanları, çalışma belgelerinin geçerlilik süresi içinde; yaptıkları satış, tanıtım ve klinik destekle ilgili ihlallerde, önce uyarılır, tekrarı hâlinde çalışma belgeleri üç ay süreyle, ihlalin devamında ise bir yıl süreyle askıya alınır. Çalışma belgesi askıya alınan sorumlu müdür, satış ve tanıtım elemanı ve klinik destek elemanları bu süre içerisinde görev yapamaz.

Yönetmelik kapsamında, sertifikalı eğitim programı ve satış merkezlerinin yetkilendirilmesi konusuna ilaveten, satış merkezinde yürütülecek reklam ve tanıtım faaliyetlerinin nasıl olması gerektiği, bilimsel ve eğitsel faaliyetlere (kongre, panel,

konferans, sempozyum...vs.) desteğin nasıl olabileceği, bedelsiz numune teslimatı ve bağışın usulleri ile sağlık personeline yapılmaması gereken teşviğe kadar birçok konu üzerine ayrıntılı bilgi sunulmaktadır.

3.Sonuç

“Tıbbi Cihaz Satış, Reklam ve Tanıtım Yönetmeliği” gereğince gerçekleştirilen bu eğitim ve yetkilendirme çalışmalarını ile, tıbbi cihaz satışı alanında çalışan firmaların mevzuata uygun, etik kurallar çerçevesinde güvenli iş ortamları altında hizmet vermeleri hedeflenmektedir. Böylece tıbbi teknolojinin sadece hastane içi yönetiminde değil, tıbbi cihazların satın alma, pazarlanma ve hatta klinik destek aşamasında da eğitimli kişilerin görev alması sağlanarak, satış yapan firmaların faaliyetleri bir nevi kontrol altında tutulmaya çalışılmaktadır.

4. Kaynakça

- [1] Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu, “Tıbbi Cihaz Satış Reklam ve Tanıtım Yönetmeliği”, *Resmi Gazete*, Sayı No: 29001, 15 Mayıs 2014.
- [2] TCESİS Tıbbi Cihaz Eğitim Sistemi, tcesis.org.

Tıbbi Cihaz Test, Kontrol ve Kalibrasyon Hizmeti veren Personelin Eğitimi ve Kuruluşların Yetkilendirilmesi

Mana Sezdi¹, Nazif İlker Sezdi²

¹Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Programı, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
mana@istanbul.edu.tr

²Medibim Medikal Bilişim Kalibrasyon Tek. Ltd. Şti, İstanbul, Türkiye
nazif@medibim.com.tr

Özetçe— Tıbbi cihazların doğru ve güvenilir çalışmasını desteklemek amacıyla yapılan test, kontrol ve kalibrasyon çalışmaları, ülkemizde 20 yılı aşkın süredir gerçekleştirilmesine rağmen etkin bir denetleme mekanizması oluşturulamamış, etik dışı uygulamaların önüne geçilememiştir. Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu (TİTCK), bu uygulamaları kontrol altına almak ve denetleme mekanizması kurmak için "Tıbbi Cihazların Test, Kontrol ve Kalibrasyonu Hakkında Yönetmelik" adı altında bir yönetmeliği 25.06.2015 tarihinde uygulamaya geçirmiştir. Bu yönetmeliğe göre, tıbbi cihazların test, kontrol ve kalibrasyonunu yapan personel standart bir eğitim ile sertifikalandırılacak, bu hizmeti veren kuruluşlar da denetlenerek yetkilendirilecektir. Bu bildiri, söz konusu yönetmeliğin gerektirdiği sertifikalı eğitim programı ve kuruluş yetkilendirme süreci ayrıntıları ile bilginize sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler — biyomedikal metroloji; eğitim standardı; yetkilendirme; sorumlu müdür; uzman.

Abstract— Although testing, control and calibration studies to support the correct and reliable operation of medical devices have been carried out in our country for more than 20 years, an effective inspection mechanism has not been established and unethical practices have not been avoided. The Turkish Medicines and Medical Devices Agency passed a regulation named as the "Regulation on Testing, Control and Calibration of Medical Devices," on June 25, 2015 to control the applications and establish an inspection mechanism. According to this directive, the staff who perform the testing, control and calibration of medical devices shall be certified by a standard training, and the institutions providing these services shall be audited and authorized. In this paper, you are informed with details of the certified training program and company authorization process required by the relevant regulation.

Keywords — biomedical metrology; education standard; authorization; responsible manager; expert.

1. Giriş

25.06.2015 tarihli ve 29397 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan "Tıbbi Cihazların Test, Kontrol ve Kalibrasyonu Hakkında Yönetmelik" uyarınca, tıbbi cihazların test, kontrol ve kalibrasyonu alanında hizmet verecek olan kuruluşlar ile bu kuruluşlarda sorumlu müdür ve uzman olarak çalışacak

kişilerin Türkiye Tıbbi İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu (TİTCK) tarafından yetkilendirileceği duyurulmuştur [1].

Söz konusu yönetmeliğin uygulanmasına ilişkin, 25.07.2015 tarihinde "Tıbbi Cihazların Test, Kontrol ve Kalibrasyonu Hakkında Yönetmelik Hükümlerinin Uygulanmasına İlişkin Kılavuz" yayımlanmış ve bu kılavuz 23.01.2017 tarihli ve E.226 sayılı Makam Oluru ile güncellenmiştir [2]. Bu kılavuz, yönetmelik hükümlerinin uygulanmasına ilişkin usul ve esasları kapsamakta olup, işleyişi iki etapta sıralamaktadır. Öncelikle sorumlu müdür ile uzmanların eğitimle sertifikalandırılmaları süreci, ardından da tıbbi cihazların test, kontrol ve kalibrasyonunu yapan kuruluşların denetimden geçirilerek yetkilendirilmesi süreci bu yönetmelik ve kılavuzda açıklanmaktadır.

Sorumlu müdür ve uzman, Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu tarafından yetkilendirilmiş eğitim merkezlerinden sertifikalı eğitim almak zorundadırlar ve bu eğitimleri alabilmek için de şart koşulan eğitim kriterlerini sağlamak zorundadırlar [1]. Yönetmelikte uzmanın görevi, test, kontrol ve kalibrasyon hizmetini yerine getirmek şeklinde tanımlanırken, sorumlu müdürün görevi bu hizmeti idare etmektir. Eğer sorumlu müdür de kalibrasyon yapmak isterse, ilgili yetki grubunda uzman çalışma belgesine sahip olmak zorundadır.

Bu bildiri, yönetmelik kapsamında gerçekleştirilecek olan tıbbi cihaz test, kontrol ve kalibrasyonunda çalışan biyomedikal personelinin sertifikalı eğitim programı ve eğitim sonrası çalıştıkları kurumun yetkilendirilmesi koşulları sunulmuştur.

2. Sertifikalı Eğitim Programı

Sertifikalı eğitim programının yükümlülüğü, TİTCK tarafından yetkilendirilen eğitim merkezlerine verilmiş, böylece hem eğitimin standartlaştırılması sağlanmış, hem de eğitim merkezlerinin kontrolü için bir denetleme mekanizması oluşturulmuştur.

Eğitim ilk etapta, 1 sorumlu müdür ve 7 uzmanlık eğitimi kapsayacak şekilde planlanmıştır. Müfredat çalışmaları, konuyla yakından ilişkili akademisyenler ve kalibrasyon üzerine çalışan firma yetkililerinden oluşturulan çalışma gruplarıncaya gerçekleştirilmiş, TİTCK tarafından onaylanarak eğitim standardı haline getirilmiş, Sağlık Bakanlığı Sertifikalı Eğitim Yönetmeliğine uygun olarak yayımlanmıştır [3-10].

Eğitim standardı yayımlanan 8 eğitim alanı şöyledir:

A. Sorumlu müdür eğitimi

B. Uzman eğitimi

- Akış, Ağırlık, Uzunluk, Hacim, Sıcaklık, Basınç, Devir

- X-Işınlı Görüntüleme Sistemleri

- Ultrason-Doppler Görüntüleme Sistemleri

- Solunum Sistemleri

- Fiziyojik Sinyal İzleme Sistemleri
- Elektro Terapi Sistemleri
- Elektro Cerrahi Sistemleri

Bu 8 eğitim alanı tamamlandıktan sonra, zamanla eğitim kapsamının genişletilmesi planlanmakta, ilave cihaz gruplarının müfredat çalışmaları hedeflenmektedir. Kapsam genişletilmesi çalışmalarında öngörülen eğitim alanları şöyledir:

- Odyometrik Sistemler
- Sterilizasyon ve İnkübasyon Sistemler
- Analiz Sistemleri
- Diyaliz Sistemleri
- Mikroskopik Sistemler
- Endoskopik Görüntüleme Sistemleri
- Tıbbi Işık Sistemleri
- Tıbbi Gaz Sistemleri
- Tıbbi İklimlendirme Sistemleri
- Manyetik Rezonans Görüntüleme Sistemleri ve Bileşenleri
- Doz Kalibratörleri, Gama Kameralar, SPECT ve PET Sistemleri ve Bileşenleri

Eğitime katılma şartları arasında biyomedikal mühendisi veya elektrik-elektronik mühendisi olma şartı yer aldığı gibi, her bir grup için farklı eğitim alternatifleri de sunulmuştur. Bazı gruplar için 2 senelik Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Programı ön lisans mezunları yeterli görülürken, görüntüleme cihazları için medikal fizik mühendislerinin de kabul edilebilir olduğu ilan edilmiştir. Akış, basınç, sıcaklık, uzunluk, ağırlık ve devir ölçümlerini içeren yetki grubunda ise biyomedikal orta öğretim mezunlarına da yer verilmiştir. Sorumlu müdür eğitimine katılabilecek katılımcıların, herhangi bir mühendislik, teknoloji fakültesi veya fen fakültesi mezunu olması yeterli görülmüştür. Sorumlu müdür olabilmek için katılımcılardan, daha önce en az üç sene test, kontrol ve kalibrasyon üzerine çalışmış olduğunu belgelendirmeleri istenmiştir [1]. İlaveten, şu ana kadar kalibrasyon hizmeti veren kuruluşlarda çalışmakta olup da talep edilen alt eğitim koşullarını sağlayamayan personelin TİTCK'ya başvuru yapması istenmiş, uygun görülen başvurulara muafiyet belgesi ile geri dönülerek eğitimleri alabilme hakkı tanınmıştır.

Yönetmelikte, eğiticiler için de birtakım eğitim şartları belirtilmiştir. Teorik eğitimi verecek eğiticilerin mühendislik, teknoloji veya fen fakültesinden en az lisans düzeyinde mezun olması istenirken, uygulamalı eğitim verecek eğiticilerin en az teknik bilimler meslek yüksekokulu mezunu olması istenmiştir. Ancak, uygulamalı eğitimi verecek kişinin test, kontrol ve kalibrasyon üzerine en az bir sene çalışmış olması zorunluluğu getirilmiştir [4].

Eğitim kapsamında her bir uzman eğitimi için ortak ve zorunlu olarak belirlenmiş 16 saatlik bir eğitim içeriği söz konusudur ki bu eğitimin uzaktan veya örgün olarak gerçekleştirilmesi sonrasında yapılacak sınavda başarılı olduğu takdirde diğer eğitimlere devam edebileceği koşulu getirilmiştir. Temel teorik eğitimin içeriği şu şekildedir [5]:

- Temel metroloji
- Ölçüm izlenebilirliği ve ölçüm belirsizliği
- Kalibrasyon raporu ve etiketleme
- Tıbbi cihaz mevzuatı
- Tıbbi cihazların test, kontrol ve kalibrasyonu hakkında yönetmelik
- Temel güvenlik
- Elektriksel güvenlik

Bu 16 saatlik temel teori eğitiminden sonra, o grupta yer alan tıbbi cihazların genel eğitimi ve yine o cihazların test, kontrol, kalibrasyonu için kullanılan standartların eğitimi teorik olarak gerçekleştirilecek, arkasından uygulama eğitimine geçilecektir. Teorik eğitim, örgünün yanı sıra uzaktan eğitim ile

de verilebilecektir. Örgün öğretimde sınıf mevcudu, en fazla 25 ile sınırlandırılmış ve devam zorunluluğu getirilmiştir [6].

Eğitimin her üç aşamasında da sınav uygulaması yapılacaktır. Her bir sınavdan en az 70 puan alma zorunluluğu bulunmaktadır. Sertifika başarı notu ise, bu üç sınavın ortalaması alınarak belirlenecektir [7, 8].

Her bir uzman eğitimin süresi, eğitimi verilecek grupta yer alan cihaz sayısına ve kompleks cihazlar olmasına bağlı olarak değişecektir. Örneğin Solunum sistemleri grubu için eğitim süresi, 16 saat temel teori, 3 saat cihaz eğitimi, 9 saat standart eğitimi ve 12 saat uygulama eğitimi şeklinde olup toplamda 40 saat iken, X-ışını görüntüleme sistemleri için 16 saatlik temel teori, 8 saat cihaz eğitimi, 8 saat standart eğitimi ve 32 saat uygulama eğitimi şeklinde toplamda 64 saattir [3, 9].

Sorumlu müdür eğitimi ise, alınması gereken temel teori eğitimine ilaveten tüm yetki gruplarının içeriğini kapsayan 9,5 saatlik teorik eğitim, ISO 17025 standardı, dokümantasyonu, iç tetkiki ve ISO 17020 standardı eğitimlerini kapsayacak şekilde 40 saat olarak planlanmıştır [10].

Eğitimi ve sınavlarını başarıyla tamamlamış katılımcılara Sağlık Bakanlığı tescilli eğitim sertifikaları verilecektir. Verilen bu sertifikalar, TİTCK tarafından ilan edilecek güncelleme tarihine kadar geçerli olacaktır.

2.Kuruluş Yetkilendirme Koşulları

Yetki belgesi almak isteyen kuruluş, Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu'na başvuru yaparken, hazırladığı başvuru dosyasını Kurum'a göndermek durumundadır [1]. Bu dosyada,

- Kuruluş bilgilerini içeren başvuru dilekçesi,
- Başvuru ücretinin ödendiğine dair banka dekontu,
- Merkezi Kayıt sicil numarası veya Ticaret sicil numarası ile imza sirküleri örneği (Kamu kuruluşları hariç)
- Kuruluştaki çalışacak sorumlu müdür ve uzmanların eğitimlerini tamamladıklarını gösterir belge,
- Kuruluştaki test, kontrol ve kalibrasyon hizmeti süresince kullanılacak donanım, yazılım ve aksesuar listesi,
- TS EN ISO/IEC 17020 "Çeşitli Tipteki Muayene Kuruluşlarının Çalıştırılmaları için Genel Kriterler" ve/veya TS EN ISO/IEC 17025 "Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği için Genel Şartlar" standartlarına göre hazırlanan kalite el kitabı, prosedürler, talimatlar ve formların yer aldığı dokümantasyonu,

-TİTCK tarafından istenmesi halinde, ilgili kapsamda akreditasyon belgesi bulunmak durumundadır.

Değerlendirme, başvuru dosyasının incelenmesi ve yerinde denetleme olmak üzere sırasıyla iki aşamada gerçekleştirilir. Her iki aşama safhasında da saptanan eksiklikler varsa, tamamlanması için 45 gün süre verilir. Yerinde denetlenmesi olumlu sonuçlanan kuruluşlara 15 gün içinde yetki belgesi, sorumlu müdür için sorumlu müdür çalışma belgesi, uzman için de uzman çalışma belgesi düzenlenir. Kuruluşun hangi yetki gruplarından yetkilendirildiği çalışma belgesi üzerinde belirtilecektir. Kuruluş, yetki belgesinde yazılı olmayan gruplardaki cihazların test, kontrol ve kalibrasyonunu yapamayacaktır.

Kuruluş, yetki belgesi kapsamında yer alan test, kontrol ve kalibrasyon hizmetinin gerektirdiği test cihazlarını, donanımları, yazılım ve aksesuarları bulundurmak ve bunların izlenebilirliğini sağlamakla yükümlüdür. Test/ölçüm cihazlarının kalibrasyonunu üreticisi tarafından aksi belirtilmediği sürece en az yılda bir kere yaptırmak zorundadır. Hizmet sırasında arızalanan cihazların, arızası giderilmeden ve kalibrasyonu yapılmadan kullanılmaması konusunda sorumludur.

Ayrıca kuruluş, TSE ISO 17025 ve/veya TSE ISO 17020 standartlarının gerekliliklerini de yerine getirmek durumundadır.

Kuruluş, TSE ISO 17025 “Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği için Genel Şartlar” ve/veya TSE ISO 17020 “Çeşitli Tipteki Muayene Kuruluşlarının Çalıştırılmaları için Genel Kriterler” standartlarının ve yönetmeliğin gerektirdiği koşulları sağlayıp sağlamadığına dair yılda bir kez denetlenir. Denetleme öncesinde TITCK tarafından istenilen belgelerin Kuruma 20 iş günü içinde iletilmesi gerekmektedir. Yapılan denetimler sırasında uygunsuzluk tespit edilirse, yetki belgesi askıya alınır.

Eğer kuruluş iflas ettiyse veya üç yıl içinde yetki belgesi üç kez askıya alındıysa yetki belgesi iptal edilir. Uygunsuz personel çalıştırma tespit edildiğinde de iptal işlemi gerçekleştirilir.

İptal edilen yetki belgesi için kuruluş bir yıl süresince yeni bir belge için başvuruda bulunamaz. Ancak kuruluş kamu kuruluşu ise bu hüküm uygulanmaz [1].

Uygun olmayan test, kontrol ve kalibrasyon raporu düzenlendiği tespit edildiğinde, kuruluşun yetki belgesi askıda iken hizmet verildiği saptandığında, yetki belgesi kapsamı dışındaki cihazlara rapor düzenlendiğinde, çalışma belgesi olmayan uzmanın çalıştırıldığı tespit edildiğinde, Kurumca talep edildiği halde eğitimlerini güncellemeyen sorumlu müdürlerin çalışma belgeleri 90 gün süresince askıya alınır. Benzer şekilde, uygun olmayan test, kontrol ve kalibrasyon raporu düzenlediği tespit edildiğinde, yetki belgesi kapsamı dışındaki cihazlara rapor düzenlendiğinde, yetki belgesi askıda iken çalıştığı tespit edildiğinde, Kurumca talep edildiği halde eğitimlerini güncellemeyen uzmanların çalışma belgeleri de 90 gün süresince askıya alınır. Hem sorumlu müdür hem de uzman için, çalışma belgeleri beş yıl içinde beş kez askıya alınırsa, belge askıda iken çalışmaya devam edilirse ve Kuruma sunulan belgelerde tahrifat ve gerçeğe aykırılık tespit edilirse, çalışma belgeleri iptal edilir. Yeni bir çalışma belgesi almak üzere bir yıl içinde başvuruda bulunamazlar [1].

Kuruluş, kapsam değişikliği yapmak istediğinde Kuruma başvuru yapıp kapsam genişletebilir. Personel değişikliği yapmak istediğinde Kuruma gerekli belgeleri ibraz eder ve Kurum ilgili personel için çalışma belgesi düzenler. Sorumlu müdürün görevden ayrılması durumunda, kuruluştaki bir uzman otuz günlüğüne sorumlu müdür olarak atanabilir ancak bu süre sonunda mutlaka yeni bir sorumlu müdür göreve atanmalıdır.

Ayrıca yönetmelikte, personel, adres, araç, gereç ve fiziki şartlar ile ilgili değişikliklerin Kuruma on iş günü içinde bildirilmesi zorunluluğu getirilmiştir.

3.Sonuç

TITCK tarafından yayımlanan yönetmeliğe göre oluşturulan sertifikalı eğitim programı ve kuruluşların yetkilendirilmesi iki aşamalı bir süreç olup, halen eğitim süreci gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır.

Eğitim süreci içinde, yetkili eğitim merkezleri belirlenmiş ve sertifikalı eğitimlerin bir kısmı tamamlanmıştır. Ancak eğitimlerin geniş kapsamlı tamamlanması henüz gerçekleşmediğinden, kuruluşların denetlenerek yetkilendirilme sürecine geçilmemiştir. O noktaya geçilmesiyle, tıbbi cihazların test, kontrol ve kalibrasyonlarını yapan kuruluşların çalışmalarını denetlenecek, yetkilendirilecek ve yine ara ara yapılan denetlemelerle denetleme mekanizması oluşturulmuş olacaktır.

Böylece hem etik dışı uygulamaların önüne geçilebilecek hem de daha güvenilir hizmet almanın garantisi ile sağlık hizmet verenleri tıbbi cihazlarının doğruluğu ve güvenilirliğinden emin olarak kendi hizmetlerini sunacaklardır.

Ayrıca, oluşturulan sertifikalı eğitim programı, sadece şu anda kalibrasyon üzerine çalışan personele yönelik olmayıp, ileride bu alanda çalışmayı planlayan yeni mezun gençlerimizde de bir yol çizici görevinde bulunacaktır. Bu nedenle, eğitimlerin ülke çapında duyurulması ve katılımcı portföyünün genişletilmesi önemlidir.

4.Teşekkür

Tıbbi cihazların test, kontrol ve kalibrasyonu üzerine yaptıkları çalışmalar ile denetleme mekanizması kurmaya çalışan Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu'na teşekkürlerimizi sunarız.

5. Kaynakça

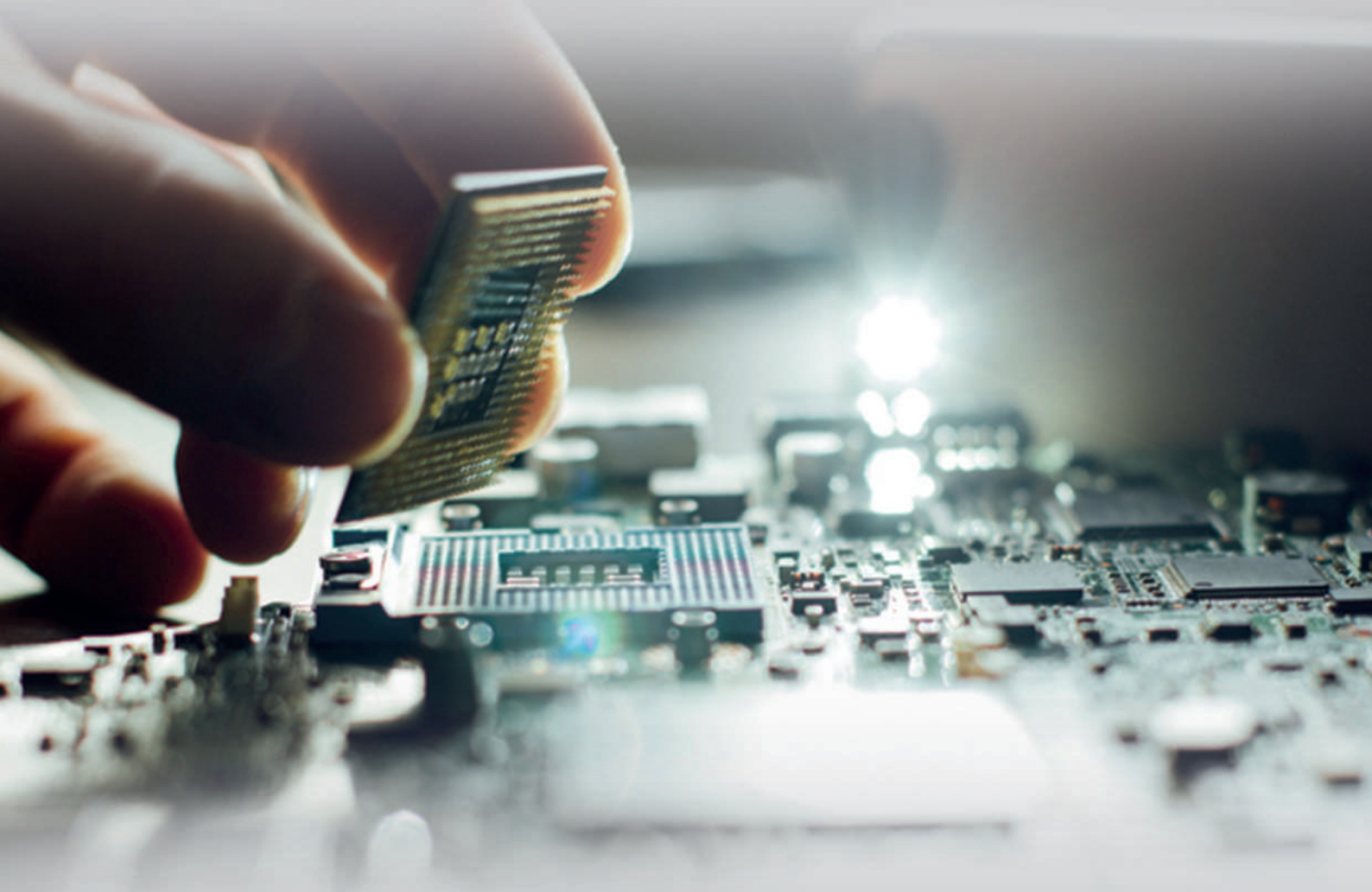
- [1] Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu, “Tıbbi Cihazların Test, Kontrol ve Kalibrasyonu Hakkında Yönetmelik”, *Resmî Gazete*, Sayı No: 29397, 25 Haziran 2015.
- [2] Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu, “Tıbbi Cihazların Test, Kontrol ve Kalibrasyonu Hakkında Yönetmelik Hükümlerinin Uygulanmasına İlişkin Kılavuz”, 25 Temmuz 2015.
- [3] Sağlık Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, “Tıbbi Cihazların Test, Kontrol ve Kalibrasyonu Solunum Sistemleri Uzmanı Eğitim Standardı”, Standart No: SASES-60, 11 Ocak 2017.
- [4] Sağlık Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, “Tıbbi Cihazların Test, Kontrol ve Kalibrasyonu Elektrocerrahi Sistemleri Uzmanı Eğitim Standardı”, Standart No: SASES-57, 11 Ocak 2017.
- [5] Sağlık Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, “Tıbbi Cihazların Test, Kontrol ve Kalibrasyonu Fizyolojik Sinyal İzleme Sistemleri Uzmanı Eğitim Standardı”, Standart No: SASES-59, 11 Ocak 2017.
- [6] Sağlık Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, “Tıbbi Cihazların Test, Kontrol ve Kalibrasyonu Elektrotterapi Sistemleri Uzmanı Eğitim Standardı”, Standart No: SASES-56, 11 Ocak 2017.
- [7] Sağlık Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, “Tıbbi Cihazların Test, Kontrol ve Kalibrasyonu akış, Ağrılık, Uzunluk, Hacim, Sıcaklık, Basınç, Devir Uzmanı Eğitim Standardı”, Standart No: 52, 05 Aralık 2016.
- [8] Sağlık Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, “Tıbbi Cihazların Test, Kontrol ve Kalibrasyonu Ultrason-Doppler Görüntüleme Sistemleri Uzmanı Eğitim Standardı”, Standart No: SASES-58, 11 Ocak 2017.
- [9] Sağlık Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, “Tıbbi Cihazların Test, Kontrol ve Kalibrasyonu X-Işınlı Görüntüleme Sistemleri Uzmanı Eğitim Standardı”, Standart No: SASES-61, 11 Ocak 2017.
- [10] Sağlık Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, “Tıbbi Cihazların Test, Kontrol ve Kalibrasyonu Sorumlu Müdür Eğitim Standardı”, Standart No: 51, 05 Aralık 2016.



EEMKON 2017

16-18 KASIM 2017
Harbiye Askeri Müze Kültür Sitesi

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ



ELEKTRİK VE KONTROL MÜHENDİSLİĞİ SEMPOZYUMU BİLDİRİLERİ

Adaptif Seyir Kontrol Sistemi Simülasyonu

Recepşan Günay, Okan Üniversitesi,
repepsangunay@gmail.com

Ali Köse, Okan Üniversitesi,
kose.ali@outlook.com.tr

R. Nejat Tuncay, Okan Üniversitesi,
nejat.tuncay@okan.edu.tr

Adaptive Cruise Control System Simulation

Recepşan Günay, Okan University,
repepsangunay@gmail.com

Ali Köse, Okan University,
kose.ali@outlook.com.tr

R. Nejat Tuncay, Okan University,
nejat.tuncay@okan.edu.tr

Adaptif seyir kontrol sistemleri, önünde seyreden hedef araçla aradaki emniyetli sürüş mesafesini korumak için, hızını öndeki aracın hızına göre ayarlayıp, otomatik takibi gerçekleştirebilen, mekatronik teknolojisi kullanılarak geliştirilen sistemlerdir. Bu çalışma, adaptif seyir sisteminin en basit hali olan, hız sabitleyici sistem ve bunun uzantısı olan ve otomatik takibin gerçekleştiği adaptif seyir sistemi tasarımını içermektedir. Adaptif seyir kontrol sistemi tasarımı Matlab/Simulink ortamında kurulmuş. Bu amaçla, örnek simülasyon senaryosuna göre iki araç sıfır eğimli bir yolda hareket ettirilmiştir. Ön araç ile arka araç arasındaki ilk mesafe 50 metre olarak seçilmiş ve test yaklaşık 300 metrelik mesafe boyunca yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Adaptif seyir kontrol, simülasyon, matlab, simulink, güvenli sürüş

Adaptive cruise control systems are systems developed using mechatronic technology, basically offers a system that regulates the vehicle speed, according to target vehicle speed within a predefined distance. This study includes the design of a cruise control system which controls the speed of the vehicle around a constant value, then the design of the adaptive cruise control systems that operates in highway speeds. An adaptive cruise control system design was established in Matlab/Simulink. For this purpose, according to the sample simulation scenario, the two vehicles were moved on a zero-slope path. The first distance between the front vehicle and the rear vehicle is selected as 50 meters and the test was conducted over a distance of about 300 meters.

Keywords: Adaptive cruise control, simulation, matlab, simulink, safe drive

Giriş

Emniyet Genel Müdürlüğü ve Jandarma Genel Komutanlığı idari kayıtlarından derlenerek, Türkiye İstatistik Kurumu web sitesinde her yıl yayınlanan basın bültenlerine bakıldığında, Türkiye'de 2016 yılında toplam 1 milyon 182 bin 491 trafik kazası meydana gelmiştir (Tablo 1.). Ölüm veya yaralanmanın meydana geldiği 185 bin 128 kazada, 7 bin 300 kişinin öldüğü ve üç binden fazla kişinin yaralandığı görülmüştür. Ölüm veya yaralanma içeren kazalara neden olan toplam 213 bin 149 hataya bakıldığında, kusurların % 89.6'sı sürücü hataları kaynaklıdır - çok hızlı sürüş ve diğer sürücülerin davranışlarını yanlış değerlendirmek, alkol bozuklukları, yorgunluk. Diğer hataların % 8.7'si yaya, % 0.8'i yol, % 0.5'i taşıt ve % 0.4'ü ise yolcu kaynaklıdır.

sağlamaktadır. Artık son safhada insan müdahalesi olmaksızın trafiği daha hızlı analiz ederek, güvenli bir yolculuk sağlayan, uzaktan ya da otonom olarak yönetilebilen araçlara geçiş olmuştur.

Gelecekte sürücüsüz otonom araç teknolojisi sayesinde, araçlar trafikte birbirleriyle iletişim halinde olacak, gerekli bilgileri toplayarak, durum değerlendirmesi yapacak ve buna göre uygun tepkiyi (yol istemek, şerit değiştirmek, vb.) verecektir.

Adaptif Seyir Kontrol Sistemi

Günümüzde kullanılan araçlarda sıklıkla karşılaşılan, seyir kontrolü (Cruise Control (CC)) sürücünün belirlediği bir referans hızda aracın hızını sabitlemek için ivmelenmeyi

Yıl	Toplam kaza sayısı	Maddi hasarlı kaza sayısı	Ölümlü, yaralanmalı kaza sayısı	Ölü sayısı (*)			Yaralı sayısı
				Toplam	Kaza yerinde	Kaza sonrası	
2002	439.777	374.029	65.748	4.093	4.093	-	116.412
2003	455.637	388.606	67.031	3.946	3.946	-	118.214
2004	537.352	460.344	77.008	4.427	4.427	-	136.437
2005	620.789	533.516	87.273	4.505	4.505	-	154.086
2006	728.755	632.627	96.128	4.633	4.633	-	169.080
2007	825.561	718.567	106.994	5.007	5.007	-	189.057
2008	950.120	845.908	104.212	4.236	4.236	-	184.468
2009	1.053.346	942.225	111.121	4.324	4.324	-	201.380
2010	1.106.201	989.397	116.804	4.045	4.045	-	211.496
2011	1.228.928	1.097.083	131.845	3.835	3.835	-	238.074
2012	1.296.634	1.143.082	153.552	3.750	3.750	-	268.079
2013	1.207.354	1.046.048	161.306	3.685	3.685	-	274.829
2014	1.199.010	1.030.498	168.512	3.524	3.524	-	285.059
2015	1.313.359	1.130.348	183.011	7.530	3.831	3.699	304.421
2016	1.182.491	997.363	185.128	7.300	3.493	3.807	303.812

(*) Ölü sayıları 2015 yılına kadar sadece kaza yerinde tespit edilen ölümleri kapsarken, 2015 yılından itibaren trafik kazasında yaralanıp sağlık kuruluşuna sevk edilenlerden kazanın sebep ve tesiriyle 30 gün içinde ölenleri de kapsamaktadır.
- Bilgi yoktur.

Tablo 1: 2002 – 2016 yıllarına göre Türkiye’de gerçekleşen trafik kazaları, kazalardaki ölü ve yaralı sayısı [1].

Kazaya neden olan kusurlar içinde sürücü kusurlarının ilk sırada yer alması, gelişen teknolojiyle birlikte otomotiv sektöründe çalışan araştırmacıları araçlar üzerinde bu doğrultuda yenilikler yapmaya teşvik etmiştir. Araçlar üzerinde yapılan çalışmalar önceleri hız ve güç öncelikli iken, günümüzde yerlerini konfor, sürüş güvenliği ve karar verme mekanizmalarına bırakmıştır.

Artan piyasa rekabeti üreticileri hem trafik hatalarını azaltacak önlemler almaya, hem de araçları bilgisayar, algılayıcılar ve son teknolojik donanımlarla donatmaya teşvik etmiştir. Bu çalışmaların ilk gelişmeler hidrolik direksiyon, hava yastığı, ABS (Anti-Lock Braking System: Kilitlenme karşıtı frenleme sistemi), ESP (Electronic Stability Program: Elektronik denge programı), otomatik vites, yağmuru algılayan ve kendi kendine çalışan silcekler, virajları algılayarak hareket yönüne göre dönen farlar gibi yapılar sayılabilir. Yapılan son çalışmalarda ise araçlara acil durumda kendi kendine fren yapma, hız sabitleme, otomatik park etme, sürücünün dalgınlığını algılayan akıllı direksiyon gibi özellikler eklenerek yarı otonom sistemlerdeki gelişmeler devam etmiştir. Bu sistemler, sürücü üzerindeki iş yükünü ve sorumluluğu azaltarak sürüş konforunu artırmaktadır ve sürücü hatalarından ve dikkatsizlikten kaynaklanan kazaları ve olumsuzlukları en aza indirgeyerek daha güvenli bir yolculuk

kontrol eden sürücüye yardımcı bir sistemdir. Bu sistemde ivme kontrolü diğer araçlardan ve yoldan bağımsız olarak yapıldığı için, sürücünün araç önündeki trafiğe göre gaz veya fren pedalına müdahale ederek sistemi devre dışı bırakması gerekmektedir.

Seyir sistemlerinin daha gelişmiş olan otonom seyir kontrol ve radar seyir kontrol olarak da bilinen adaptif seyir kontrol (Adaptive Cruise Control (ACC)) sistemlerinde ise hız sabitleyicinin yanında, sistem, radar ya da sensörler sayesinde trafikteki diğer araçları hesaba katarak, arada güvenli sürüş mesafesi bırakır ve aracın otomatik olarak seyretmesini sağlar [2]. ACC sistemleri belirli bir hız aralığında çalışabilmektedir. Yoğun trafikte nisbi olarak düşük hızlarda (30 km/saat'in altındaki hız aralığında), durma ve kalkma durumlarının bulunduğu koşullarda, ACC sistemlerinin çalışma hızlarını sifira kadar taşıyarak, öndeki araç ile mesafe ve hız kontrolünü yapan sistemler ACC Dur-Kalk (Stop&Go) sistemleri olarak adlandırılmaktadır [3]. Günümüzde geliştirilen ve literatürde üzerinde çalışılan gelişmiş ACC sistem örneklerinden biri olan kooperatif ACC (Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC)) sistemlerinde araçlar, kablosuz iletişim teknolojisi sayesinde birbirleri ile haberleşerek, bu bilgileri paylaşmaktadır [4]. Bu sayede konvoy halinde seyreden

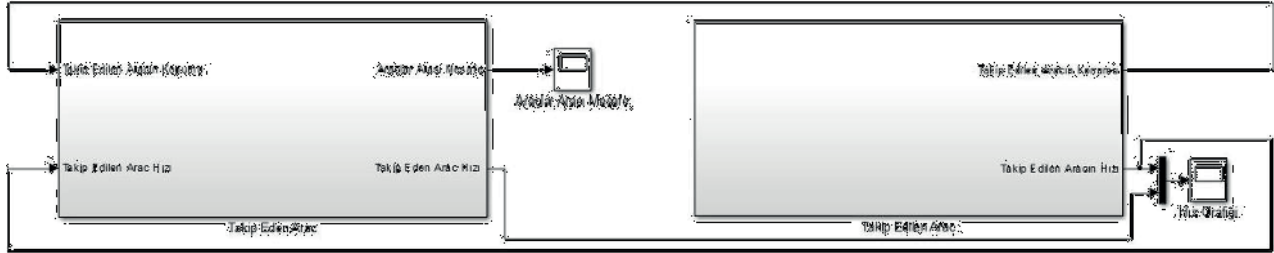
araçlar arasındaki izleme mesafesi kısaltılabilmekte, trafik sıkışıklığı önlenebilmektedir [5].

Model Öngörülü Kontrol Metodu

ACC modelleri, sistemin gelecekteki çıkış değerini öngörebilmek için gerekli olan kontrol dizisini, geçmişteki girişleri ve sistem yanıtlarını kullanarak hesaplayan model öngörülü kontrol (Model Predictive Control (MPC)) yapısına uygun problemlerdir. MPC yönteminde, sistem modeli göz önünde bulundurularak geleceğe ilişkin en uygun kontrol

Adaptif Hız Seyir Sistemi Modeli

ACC modeli, sistemin bulunduğu aracın ve takip edilen aracın hız bilgisi, yol durumu ve iki araç arasında bırakılması gereken güvenli sürüş mesafesi dinamiklerini içerir. ACC sisteminde iki araç arasındaki mesafe, sistemin bulunduğu arkadaki aracın (lider araç) ve takip edilen öndeki aracın (hedef araç) yer, hız ve ivme değerlerine doğrudan bağlı olan ve kontrol edilmek istenen değişkendir.

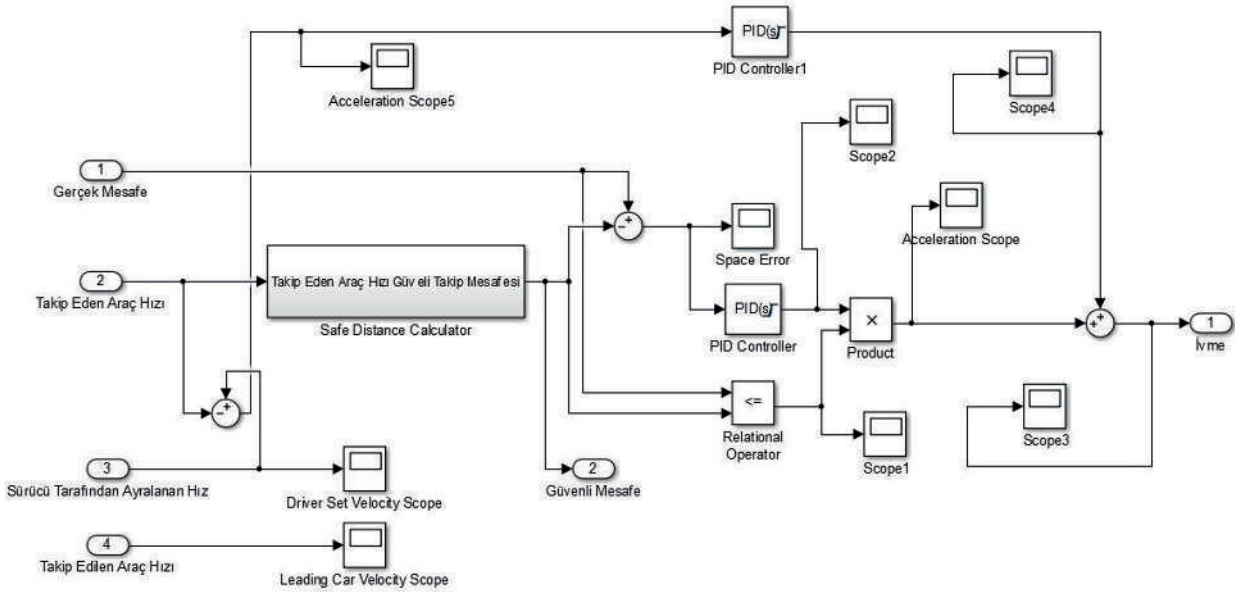


Şekil 1: Adaptif seyir kontrol sistemi ana blok diyagramı

işareti dizisi öngörülen sistem çıkışı ile referans değeri arasındaki hata en aza indirilecek şekilde hesaplanır ve sisteme uygulanır. MPC, gelecek çıkışı öngörmeye Taylor serisi açılımına, kontrol işaretini belirlemede Kayan Ufuk Kontrol Yöntemine (Receding Horizon Control Strategy) ve

Şekil 1’de ACC sisteminin ana blok diyagramı gösterilmiştir.

Sürücü tarafından ayarlanan hız (V_{set}), lider aracın hızı (V_{host}), takip edilen araçla takip eden araç arasındaki mesafe (D_{act}) ve takip edilen aracın hızı (V_{lead}) ACC sistemi



Şekil 2: Adaptif seyir kontrol sistemi Matlab/Simulink blok diyagramı

çıkı işaretinin türevlerine ihtiyaç duymaktadır.

Kayan ufuk yönteminde, öngörü ufku adı verilen belirlenmiş bir ufuk boyunca gelecekteki sistem yanıtı hesaplanır. Minimumlaştırılan kontrol işareti dizisi sisteme uygulanır ve bir sonraki örnekleme zamanında ufukun geleceğe doğru bir adım kaydırılması ve her adımda elde edilen kontrol işareti dizisinin ilk elemanının sisteme uygulanması şeklinde tekrarlanır.

girişleridir.

Adaptif seyir kontrol sistemi Matlab/Simulink blok diyagramı Şekil 2’de gösterilmiştir.

ACC sisteminin çıkış parametresi, lider aracın ivmesidir. İvme ve hız arasındaki dinamikler şu şekilde modellenmiştir:

$$\frac{1}{s(0.5s + 1)}$$

Hedef araç ile lider araç arasındaki güvenli mesafe, lider aracın hızının (V_{host}) bir fonksiyonudur: $D_{safe} = 10 + 1.4 \times (V_{host})$

Burada 10 metre durma mesafesi ve 1.4 saniye zaman aralığıdır.

ACC sisteminin çalışma koşulunu karar vermek için aşağıdaki varyasyonlar kullanılır:

Eğer, $D_{act} \geq D_{safe}$ ise hız kontrolü aktiftir. Sürücünün belirlediği hızda (V_{set}) devam edilir.

Eğer, $D_{act} < D_{safe}$ ise mesafe kontrolü aktiftir. Güvenli sürüş mesafesi (D_{safe}) korunur.

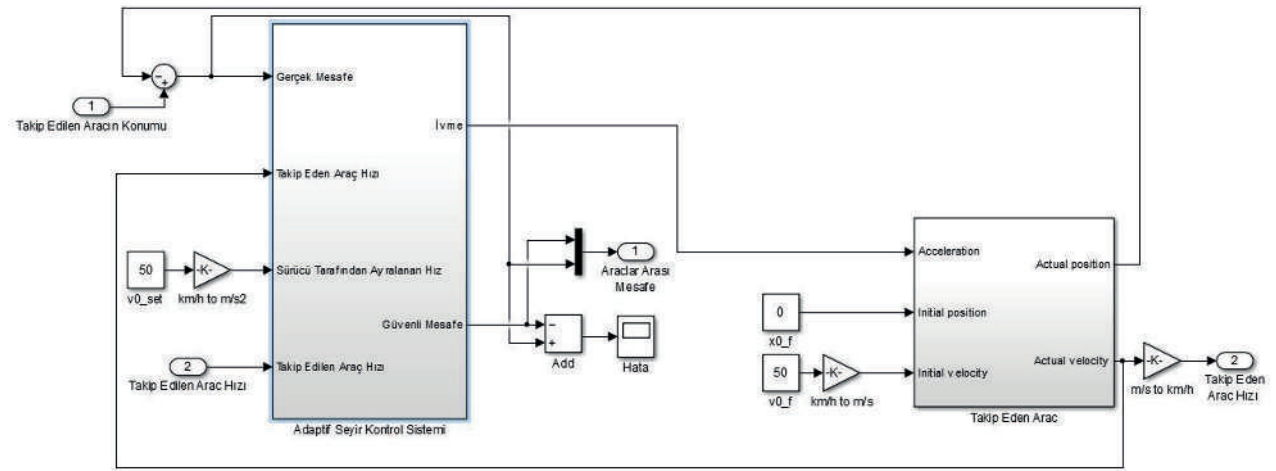
Matlab/Simulink'te kurulan takip eden aracın hızının, güvenli

takip mesafesinin, takip edilen aracın konum ve hız hesaplarının yapıldığı alt sistemler sırasıyla Şekil 3-5'de gösterilmiştir.

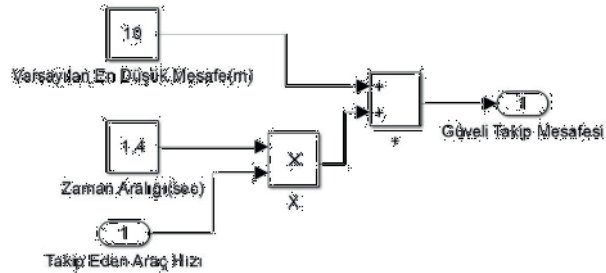
Simülasyon Sonuçları

Bu çalışmada, sürüş konfor ve güvenliğinin artırılması için geliştirilmiş mekatronik bir sistem olan adaptif seyir sisteminin modelleme çalışması yapılmış ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. ASS modeli Matlab/Simulink ortamında modüler yapıda gerçekleştirilmiştir.

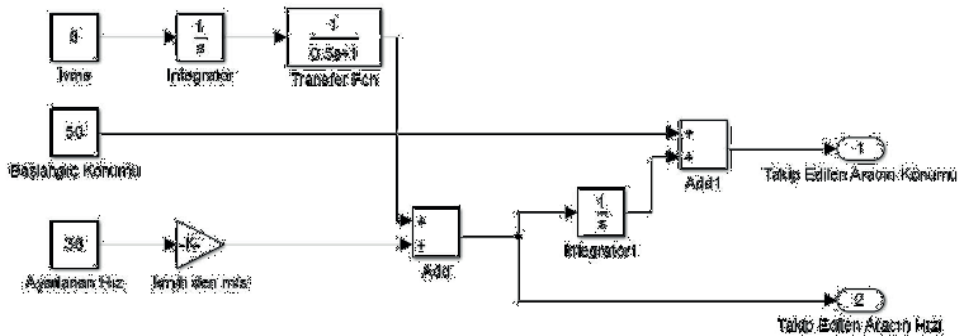
Şekil 6 ve 7'de simülasyon sonuçlarına ait grafikler belirtilmiştir; bunlarda araç hızlarının ve araçlar arası mesafenin zamana bağlı değişimi görülmektedir. Bu şekillerden yararlanılarak simülasyon sonuçları aşağıda



Şekil 3: Takip eden aracın hız hesabının yapıldığı alt sisteme ait Matlab/Simulink blok diyagramı



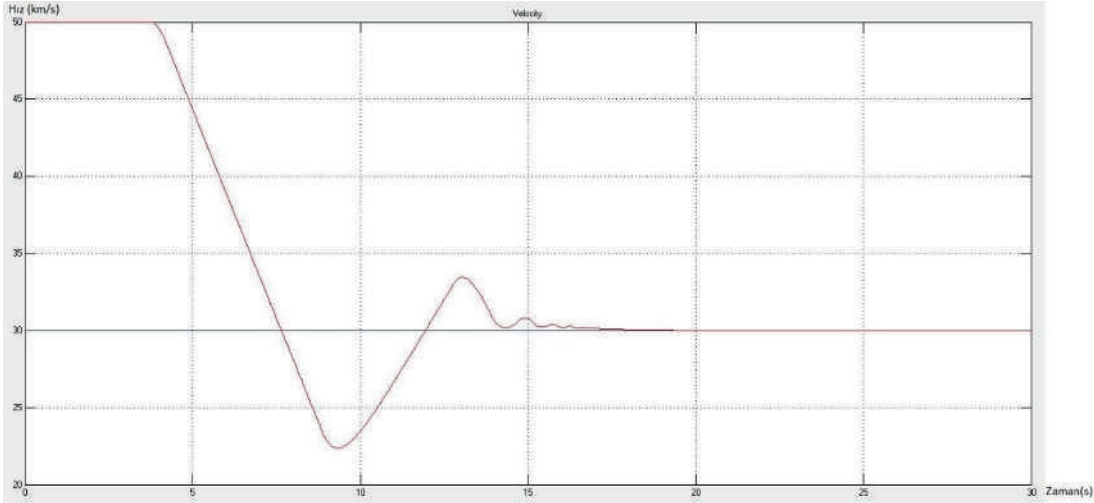
Şekil 4: Güvenli takip mesafesi hesabının yapıldığı alt sisteme ait Matlab/Simulink blok diyagramı



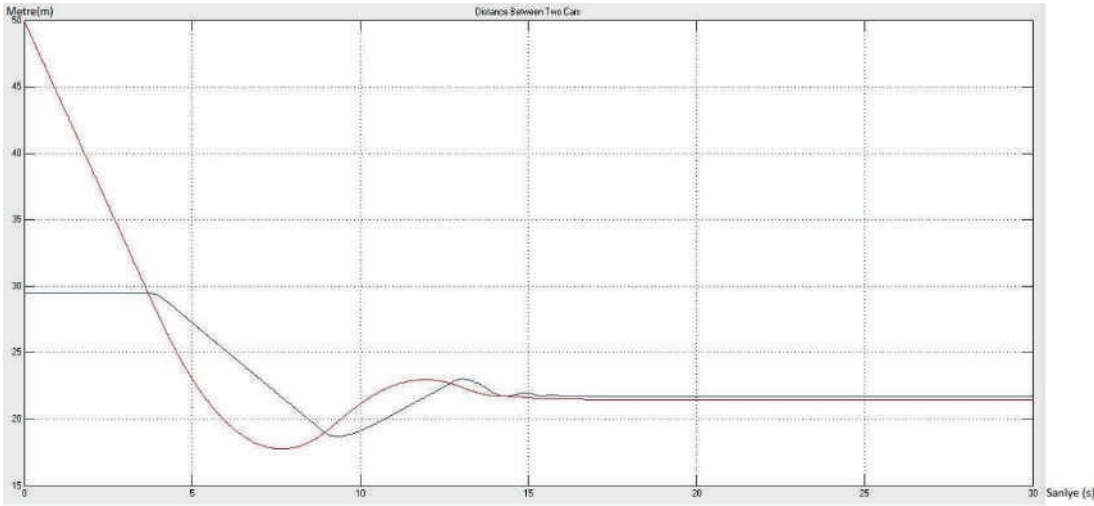
Şekil 5: Takip edilen aracın konum ve hız hesabının yapıldığı alt sisteme ait Matlab/Simulink blok diyagramı

yorumlanmıştır.

verici durumuna gelecektir. Araç kontrol sistemleri, mükemmelleşerek daha güvenli ve daha konforlu ulaşımın



Şekil 6: Araç hızlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 7: Araçlar arası mesafenin zamana bağlı değişimi

Yapılan simülasyonda, takip edilen araç sabit 30 km/s hızla ilerlemektedir. Takip eden araç 50 km/s hızla takip edilen araca yaklaşmaktadır. Araçların ilk durumları arasındaki mesafe 50 metredir. Kurulan sistem güvenli takip mesafesini hesaplayarak takip edilen araca uygun şekilde seyir etmiştir. Gelecek çalışmalarda bu modelin çeşitli varyasyonlarla geliştirilebileceği öngörülmüştür.

Simülasyonlarda araçlar arası başlangıç mesafesinin 300 metre gibi düşük bir değer seçilmiştir. Yani ön ve arka araçlar yaklaşık olarak aynı mesafeyi kat etmişlerdir.

Her geçen gün otomotiv ve mekatronik teknolojisinde yaşanan ilerlemeler sürücüyü yardımcı sistemlerin gelişmesini sağlamıştır.

Günümüzde sürüş konfor ve güvenliğinin artırıcı sistemler araçlarda yer aldıkça, insan sürüşü gerçekleştiren özne olmaktan, sürüş sistemlerinin işleyişini denetleyen son karar

Washington, DC, USA, 2011.

[4] F. Bu, H. S. Tan ve J. Huang, "Design and Field Testing of A Cooperative Adaptive Cruise Control System", *American Control Conference*, Marriott Waterfront, Baltimore, MD, USA, 2010.

sağlanmasına katkıda bulunacaktır.

Kaynakça

- [1] The Turkish Statistical Institute (TURKSTAT), 13 June 2017. <http://www.turkstat.gov.tr>.
- [2] P. Nilsson, O. Hussien, A. Balkan, Y. Chen, A. D. Ames, J. W. Grizzle, N. Ozay, H. Peng ve P. Tabuada, "Correct-By-Construction Adaptive Cruise Control: Two Approaches", *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, cilt 24, no. 4, pp. 1294-1307, 2016.
- [3] P. Shakouri ve A. Ordys, "Application of the State-Dependent Nonlinear Model Predictive Control In Adaptive Cruise Control System", *14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*,
- [5] B. van Arem, C. J. G. van Driel ve R. Visser, "The Impact of Cooperative Adaptive Cruise Control on Traffic-Flow Characteristics", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, cilt 7, no. 4, pp. 429-436, 2006.

Araç Ağı Ve Fonksiyonlarıyla Uyumlu Dijital Gösterge Paneli Tasarımı

Design of a Digital Instrument Panel Cluster Compatible with Vehicle Network and Functions

Şadan Dönmez¹, Anıl Onur Canbaz¹, Mustafa Yalçinkaya¹

¹Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.

sadan.donmez@tofas.com.tr, onur.canbaz@tofas.com.tr, mustafa.yalcinkaya@tofas.com.tr

Özet

Bu çalışmada araç CAN bus (Controller Area Network) haberleşme ağına uyumlu bir dijital gösterge paneli geliştirilmiş ve prototip araca entegre edilmiştir. Geliştirilen dijital gösterge paneli, araç içi haberleşme ağından kendi fonksiyonları ile ilgili bilgileri alabilecek ve araç ağındaki diğer ünitelerin gösterge panelinden beklediği mesajları gönderebilecek şekilde tasarlanmıştır. Dijital gösterge paneli araç fonksiyonlarıyla tam uyumlu çalışmaktadır. Geliştirilen dijital gösterge paneli üzerinde NXP işlemcili Nitrogen6X elektronik geliştirme kartı ile beraber 12.3' bar tipi 1920 x 720 çözünürlüğe sahip TFT-LCD ekran kullanılmıştır. Grafik tasarımlar için Photoshop, kullanıcı arayüzü geliştirmek için Disti GLStudio yazılımları kullanılmıştır. Bu platformda geliştirilen yazılım, modüler ve yapısal programlama sayesinde, sistem fonksiyonlarını gerçek zamanlı ve yüksek güvenilirlikli gömülü işletim sistemi üzerinde yerine getirmektedir. Geliştirilen platformun esnekliği, yeni tasarım süreçlerinin kısılmasını ve proje maliyetlerinin azaltılmasını sağlayacaktır.

Abstract

In this study, a digital instrument panel cluster compatible with vehicle CAN bus (Controller Area Network) network is designed and integrated on a prototype electric vehicle. The developed digital panel cluster is designed to receive information about its functions from the in-vehicle communication network and to transmit messages that other units in the vehicle network expect from the dashboard. Digital instrument panel cluster is fully compatible with in-vehicle functions. In this application, Nitrogen 6X electronic development board with NXP processor and 12.3' bar type 1920 x 720 resolution TFT-LCD screen are used. Graphic designs are developed in Adobe Photoshop where Disti GLStudio is used for user interface design. The software developed on this platform performs system functions on real time and highly reliable embedded operating system thanks to modular and hierarchical programming. Flexibility of the developed platform provides reduction in new design processes and project costs

1. Giriş

Günümüzde araçlarda kullanılmakta olan elektronik komponentlerin ve fonksiyonların sayısı artmaktadır. Buna bağlı olarak analog göstergelerde yer alan standart bilgilerin

(km, sıcaklık vb.) yanı sıra sayıca artan komponent ve fonksiyonlara ait bilgi, eğlence ve güvenlik sistemleri bilgilerinin de sürücüye gösterilmesi gerekmektedir [1]. Klasik gösterge panellerinin sürücüye iletebileceği bilgi, üzerlerinde elektro-mekanik parçaların fazla olmasından dolayı sınırlıdır. Bu problemin üstesinden gelebilmek için elektronik ve yazılım teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak TFT LCD ekranlar üzerinde grafiksel ve görsel tasarımlar kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüzde kullanılmakta olan analog göstergelerin üzerlerinde elektro-mekanik parçaların fazla olması, analog göstergelerin tasarım ve geliştirme sürecinin dijital göstergelere oranla daha maliyetli ve uzun süreli olmasına neden olmaktadır. Ayrıca dijital gösterge panellerinin kolay programlanabilir olmaları ve daha esnek, etkileyici ve kişiselleştirilebilir çözümler sunması, dijital gösterge panellerinin analog gösterge panellerinin yerini almaya başlamasındaki bir diğer etkidir. Dijital gösterge panellerinin tüm bu avantajları araçlar üzerinde kullanımının giderek yaygınlaşacağını göstermektedir [2].

Bu makalede araç ağı ve fonksiyonlarıyla uyumlu, analog gösterge panellerinin yerini alabilecek, CAN bus [3] tabanlı bir dijital gösterge panelinin bileşenleri, geliştirme süreci ve çalışma ilkesi anlatılacaktır. Ayrıca tasarlanan gösterge panelinin prototip araç üzeri uygulamasından da bahsedilecektir.

2. Tasarım Planı

Bu çalışma kapsamında tasarlanan dijital gösterge paneli, analog gösterge panellerinde olduğu gibi CAN bus haberleşme ağı üzerinden okunan verileri LCD ekran üzerinden iletmektedir. Analog göstergeler hız, motor devri, yakıt seviyesi ve motor suyu sıcaklığı gibi bilgileri step motor yardımıyla gösterirken, bu çalışmada tasarlanan dijital gösterge panelinde bu bilgiler grafiksel arayüz ile kullanıcıya gösterilecektir. Dijital gösterge panelinin entegre edildiği prototip elektrikli araca özel olarak batarya şarj seviyesi, elektrik motorunun harcadığı güç ve rejeneratif frenleme kazancı gösterge paneli üzerine ayrı bilgiler olarak eklenmiştir.

2.1. Donanım

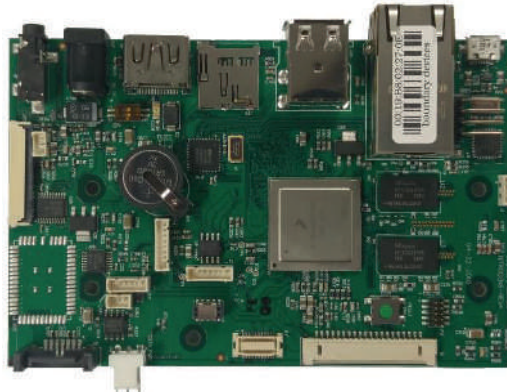
Dijital gösterge panelinin prototip araca entegre edilebilmesi için üzerinde en az 1 CAN bus donanımı ile beraber TFT-LCD

ekranı sürmek için HDMI veya LVDS çıkışı gerekmektedir. Bu amaçla sistem gereksinimlerini karşılamak üzere NXP/Freescale i.MX6 ARM Cortex™-A9 işlemcili

Nitrogen6X (Şekil 1) elektronik geliştirme kartı kullanılmış. Bu karta ait teknik bilgiler Tablo 1’de görülmektedir.

CPU	
CPU Name	NXP/Freescale i.MX6
CPU Type	ARM Cortex™-A9
CPU Cores	1-4 (Single, Dual Lite, Dual, Quad)
CPU Clock (Max)	1GHz
Hafıza	
RAM	512MB - 2GB DDR3 (1GB DDR3 standard)
NOR Flash	2MB Serial NOR Flash
Multimedya	
2D/3D Graphics Acceleration	Vivante™ GC2000 Accelerated 2D and 3D
Video Encode / Decode	1080p60 H.264 Decode, 1080p30 H.264 Encode
Camera Interfaces	2x Parallel, 1x MIPI
Ekran Çıkışı	
HDMI	v1.4 1920 x 1080
LVDS	1X LVDS, 24-bit
RGB	24-bit RGB
Haberleşme Modülleri	
I2C	X2
SPI	x1 (via J15)
UART	x2 (RS-232). More Available via J15
SD / MMC	x2 microSD
USB	USB 2.0: 3x Host, 1x OTG
SATA	SATA II interface, 3.0 Gbps
CAN	x1
RTC	Yes
PCIe	Gen 2.0 via J23 Daughter Board
JTAG	Yes
OS Desteği	
Linux	Yocto, Ubuntu, Buildroot
WindowsCE	CE7/CE2013
Mekanik Özellikler	
Dimensions (L x W)	114mm x 76mm
Çalışma Sıcaklıkları	
Commercial Temp (0 to 70C)	Yes
Industrial Temp (-40C to +85C)	Optional

Tablo 1 NXP/Freescale i.MX6 ARM Cortex™-A9 işlemci elektronik geliştirme kartı özellikleri

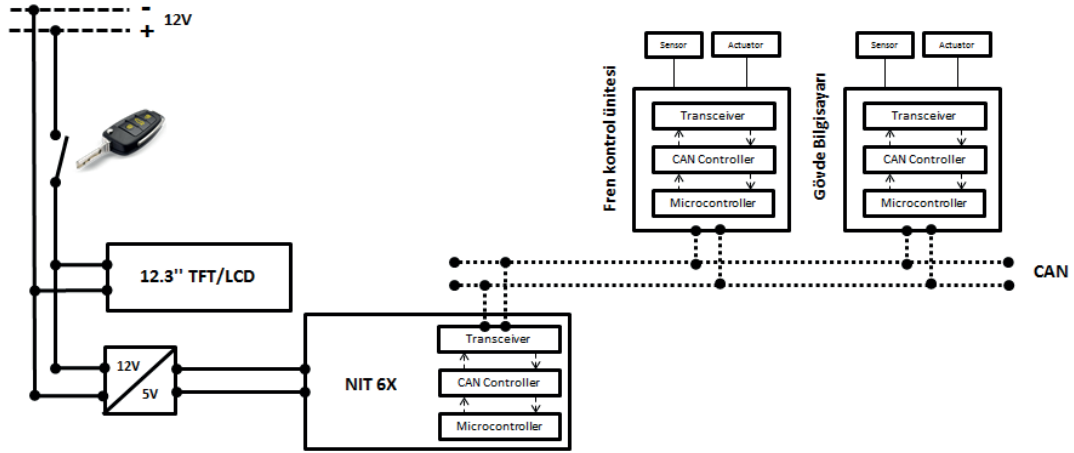


Şekil 1 Nitrogen6X elektronik geliştirme kartı

Araçlar üzerinde kullanılan elektronik üniteler 2 farklı güç bağlantı yöntemi ile beslenirler [4]. Bunlar;

- Akü voltajının araç anahtar kontağından geçirilerek alınan beslemedir. Anahtar çevrildikten sonra enerjilenecek üniteler bu bağlantı yöntemini kullanır.
- Direkt aküden alınan beslemedir. Sürekli enerjili kalması istenen elektronik kontrol ünitelerinde bu bağlantı tipi kullanılır.

Bu çalışmada tasarlanan dijital gösterge panelinin araç içi elektrik beslemesi araç anahtar kontağı üzerinden yapılmıştır. Bu bağlantı üzerinde kartın besleme voltaj değeri 5V olduğu için 12/5 Volt, 3A DC/DC dönüştürücü kullanılmıştır. Nitrogen 6X kartının araç haberleşme ağına bağlantısı ise Şekil 2’de görüldüğü gibi CAN bus haberleşmesi üzerinden yapılmıştır.



Şekil 2 Nitrogen6X ve TFT/LCD genel bağlantı şeması

Bu proje kapsamında CDTech firmasına ait S123WU01 model 12.3" ölçülerine sahip bar tipi LCD ekran, Tablo 2 ve Tablo 3’de görülen teknik özelliklerin araç entegrasyon uyumu nedeniyle tercih edilmiştir. LCD ekran CDT123HDMI-01 HDMI-LVDS dönüştürücü kart üzerinden sürülerek kullanılmıştır.

Özellik	Sembol	Min	Tip	Maks.	Birim
Power	Vdd	3	3.3	3.6	V
Voltage	IVDD	-	1.1	1.4	A

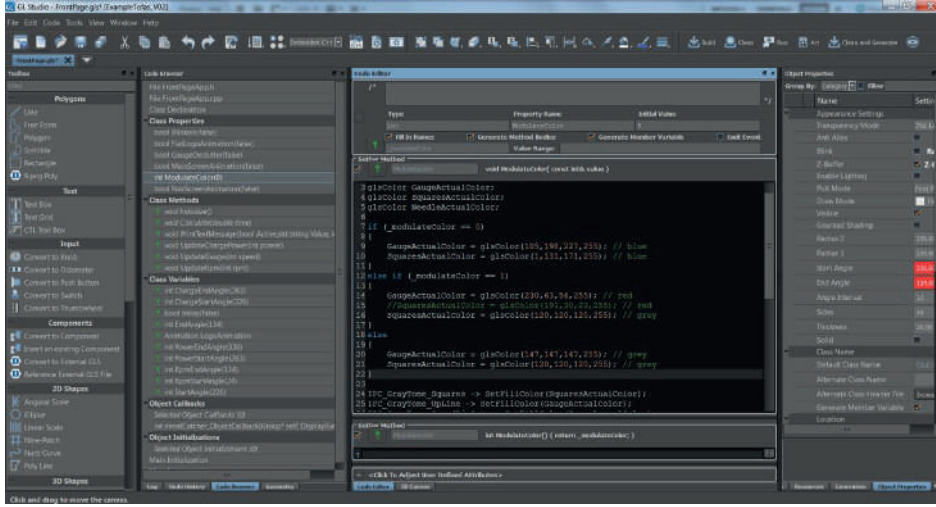
Tablo 2 LCD ekran besleme değerleri

Özellik	Sembol	Min	Tip	Maks.	Birim
Forward Current	If	-	480	520	mA
Forward Voltage	Vf	-	32	33	V
Power Consumption	W	-	15.36	17.16	W

Tablo 3 LCD arka aydınlatma besleme değerleri

2.2. Yazılım

Kullanıcı arayüzü geliştirme programı olarak Disti firmasının GLStudio [5] yazılımı tercih edilmiştir. GLStudio kullanıcı arayüzü geliştirme yazılımı, ürün alanına veya endüstriye bakılmaksızın yüksek doğruluk, zengin özelliklere sahip 2B ve 3B grafik arayüzleri sunmaktadır [6]. Standart 2B ve 3B dosya formatlarını desteklemesi, esnek bir geliştirme ortamı sunması ve modern 3B grafik donanımlarıyla uyumluluğu sayesinde uygulama geliştiricileri, arayüz tasarımını ve programlanmasını kolayca gerçekleştirebilirler. Şekil 3’te GLStudio program arayüzü görülmektedir.

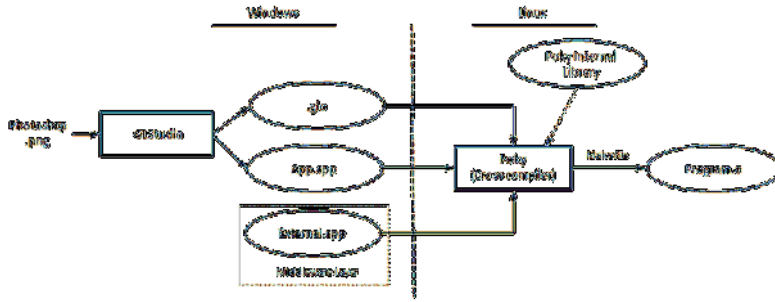


Şekil 3 GLStudio program arayüzü

WYSIWYG, İngilizce'de "What You See Is What You Get" teriminin baş harflerinden oluşan bir bilgisayar terimidir. GLStudio WYSIWYG ortamı, etkileşimli 2B ve 3B geometrik tasarımların gerçek zamanlı oluşturulmasını sağlar; böylece, düşük seviye grafik kodu yazma ihtiyacını ortadan kaldırır. Program, geometri oluşturma, çizim, gruplama, katman yönetimi gibi işlemleri hazır araçlar kullanarak gerçekleştirir.

Photoshop yazılımı ile hazırlanan .png formatlı görsel tasarımlar GLStudio yazılımına aktarılır. Photoshop ortamından aktarılan grafikler aynı katman yapısıyla

GLStudio programında kullanılır. GLStudio'nun yukarıda bahsedilen avantajları sayesinde görseller üzerinde animasyonlar, geçişler, hareket ve renklendirme işlemleri kendi kütüphanesinde yer alan fonksiyonlar ile tasarlanır. Daha sonra GLStudio üzerinde derleme işlemi yapılarak gömülü sistemler üzerinde çalışacak gerekli .glo, ve .cpp formatlı dosyalar oluşturulur. Bu dosyalar Linux ortamında Poky çapraz derleyicisi ile derlenerek Nitrogen 6X üzerinde koşan YOCTO Linux işletim sisteminin çalıştıracağı dosya formatına dönüştürülür. Gerekli dosyalar SD kart ile Nitrogen 6X kartı üzerine aktarılır. Bu süreçte dair adımlar Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4 GLStudio program geliştirme süreci

Geliştirme sürecinde 'external.cpp' olarak adlandırılan dosya 'middleware layer' katmanında C++ dili kullanılarak oluşturulur. Bu katmanda CAN bus haberleşme konfigürasyonu yapılır. Sistemin araçtan aldığı ve araca gönderdiği tüm CAN bus mesajları burada okunur ve

oluşturulur. Şekil 5'te görülen kod bloğunda araçtan 2 farklı CAN bus mesajının nasıl okunduğu görülmektedir. CAN bus mesajının okunması için ilgili sinyalin başlangıç, uzunluk, ofset değeri ve çarpan değeri, ilgili fonksiyona parametre olarak girilir.


```

if (_soc)
{
// CAN mesajlarını almaya başla
read_port();
for (std::vector<can_frame>::iterator it = _data.begin(); it != _data.end(); ++it)
{
can_frame currentFrame = (*it);
// process data here
// startingBit, bitLength, factor, offset
unsigned int maskedId = currentFrame.can_id & CAN_EFF_MASK;
// VEHICLE SPEED ODOMETER
if (maskedId == 0x043)
{
double TravelDistance = ConvertData(&currentFrame, 24, 8, 9.8);
VehicleSpeed = ConvertData(&currentFrame, 3, 13, 0.0625);

double VehicleSpeedFailSts = ConvertData(&currentFrame, 16, 1);
if (VehicleSpeedFailSts)
{
VehicleSpeed = 0.0;
}
}
}
// SWCOMMANDPLUS
else if (maskedId == 0x06)
{
VolumeUpSts = ConvertData(&currentFrame, 0, 1);
VolumeDownSts = ConvertData(&currentFrame, 1, 1);
MuteCntrl = ConvertData(&currentFrame, 2, 1);
FreqUpSts = ConvertData(&currentFrame, 3, 1);
}
}
}
}

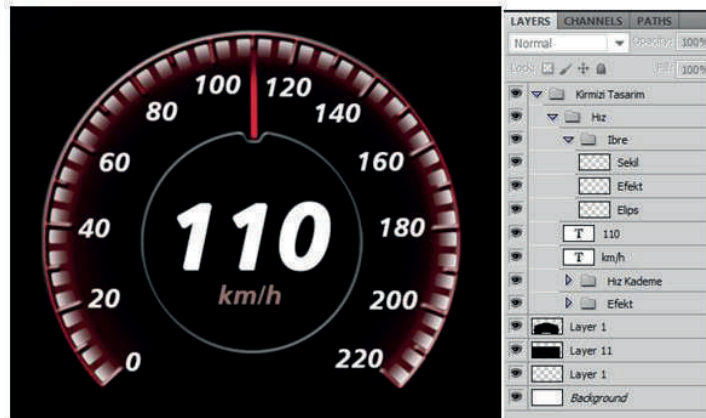
```

Şekil 5 CAN bus mesajı okuma kod örneği

Bu çalışma kapsamında dijital gösterge üzerinde hız kadranı, elektrikli aracın bataryasından çekilen anlık güç, tüketim ve şarj durumu kadranı, motor devir kadranı, uyarı sembolleri, tarih, saat, dış sıcaklık gibi tasarımlar dijital gösterge üzerinde grafiksel olarak gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımlardan biri olan hız kadranı için Şekil 6'da görülen Photoshop programındaki katman yapısı hazırlanmıştır. Hız kadranında tek hareketli parça olan ibre de ayrı bir katmandır. İbrenin döneceği merkez nokta için dönme açısı hesaplamaları, araç haberleşme ağından gelen hız bilgisine göre GLStudio yazılımındaki fonksiyonlar ile

gerçekleştirilmektedir. İbre hareketinin analog göstergelere benzer şekilde hareket edebilmesi için C++ programlama dili ile rampa fonksiyonu hazırlanmıştır. Bu rampa fonksiyonu Şekil 4'te gözükken 'middleware layer' da konumlandırılmıştır.

Benzer şekilde kadranın ortasındaki sayısal hız bilgisi de araç haberleşme ağından gelen hız bilgisine göre hesaplanır ve GLStudio programındaki 'text' fonksiyonlarıyla ekrana yansıtılır.



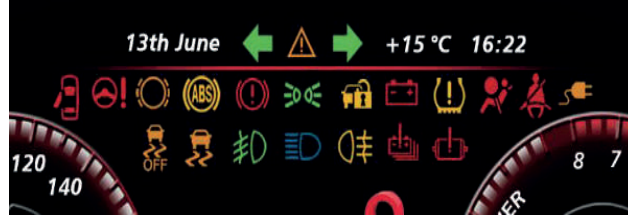
Şekil 6 Örnek hız kadranı tasarımı

Gösterge paneli üzerinde araç ağından gelen durum bilgilerini kullanıcıya aktarmak için Şekil 7'de görüldüğü gibi çeşitli

uyarı sembolleri de Photoshop yazılımında .png formatında tasarlanmıştır. Bu sembollerin araçtan alınan verilere göre

hangi şartlar altında nasıl gösterileceği (sürekli ya da yanıp sönme şeklinde) ‘middleware layer’ içinde programlanmıştır. Ayrıca bu çalışmada tasarlanan objeler, Photoshop ortamında farklı renklerde oluşturulabileceği gibi GLStudio yazılımının sunduğu renklendirme fonksiyonları ile de dinamik olarak renklendirilebilir. Bu renklendirme fonksiyonları sayesinde

Şekil 8’de görüldüğü gibi kullanıcıya, duruma veya isteğe bağlı kişileştirilebilir çözümler sunulabilir. Bu uyarı sembollerine ait sesli ikaz için de Nitrogen 6X kartı üzerindeki dijital çıkış, ‘middleware layer’ katmanında aktive edilerek kullanılmıştır. Bu çıkış ile ses üretici sürülerek sesli ikaz yapısı kurulmuştur.



Şekil 7 Gösterge panelinde kullanılan semboller



Şekil 8 Kişiselleştirilebilir renk alternatifleri

Yapılan tasarımlar kapsamında gösterge panelinde kullanılması zorunlu olan standart semboller, bunların aydınlatılması ve renklendirilmesi ECE-121 normu referans alınarak tasarlanmıştır. Böylece tasarlanan gösterge panelinin

araç üzerinde kullanım altyapısı hazırlanmıştır. Bu çalışmada dijital gösterge paneline entegre edilen sembol ve açıklamalardan örnekler Şekil 9’da görülmektedir.

Nr	Sembol	Fonksiyon	Renk
1		Kısa far	Yeşil
2		Ön Sis Farları	Yeşil
3		Sinyal Göstergesi	Yeşil
4		Batarya Kontrol	Kırmızı

Şekil 9 ECE-121 normundan sembol örnekleri

Sistemin tüm tasarım aşaması sürecinde araç haberleşme ağını simüle etmek, ilgili mesajları göndermek ve okumak için Vector firmasının CANalyzer yazılımı (Şekil 10) kullanılmıştır. Bu yazılım sayesinde CAN bus mesajları ve mesaj içerisindeki sinyaller otomatik veya manuel olarak

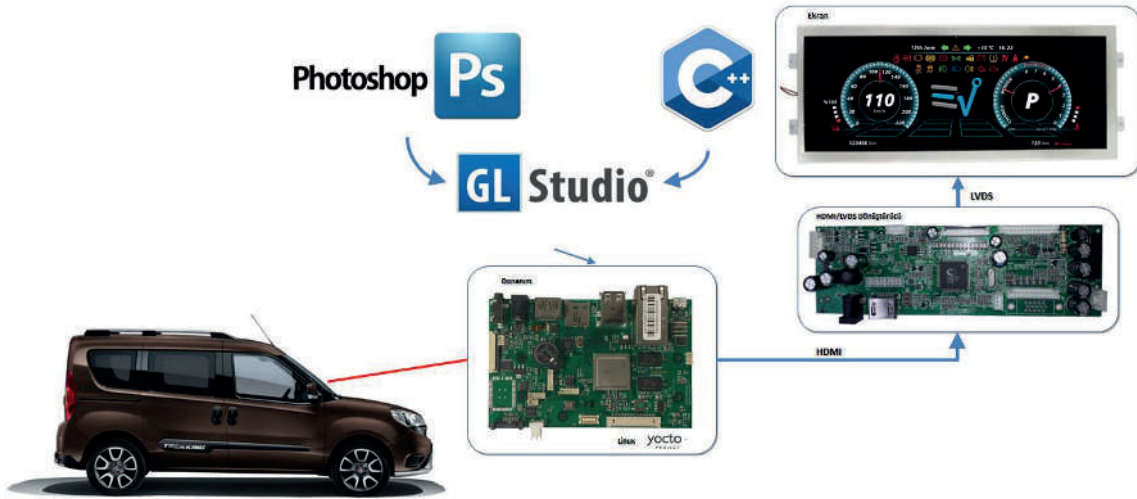
oluşturulabilir. CAN bus hattı üzerinde olan mesajların zamanlamaları analiz edilebilir veya kayıt altına alınabilir. Tasarlanan dijital gösterge panelinin tüm doğrulama testleri, araca entegre edilmeden önce bu program ile yapılmıştır.

Message Name	Message Parameters						Triggering						Data Field								
	Identifier	Channel	Frame	DLC	BRS	Send	Key	Key	Cycle Time [ms]	Burst	HighLoad	Gateway	0	1	2	3	4	5	6	7	
CANB-ENVIRONMENTAL_CONDITION	CANB-634	CAN 2	Data	8		now	Test	t	500	1	off		60	0	0	40	0	F3	0	0	
VEHICLE_SPEED_ODOMETER	43940004	CAN 2	Data	4		now		t	100	1	off		6	40	0	0					
CANB-STATUS_BCM	CANB-621	CAN 2	Data	8		now		t	1000	1	off		0	0	48	0	0	14	0	0	
CANB-ETM_TIME_DATE	CANB-421	CAN 2	Data	6		now		t	400	1	off		15	22	25	1	20	17			
CANB-STATUS_B_ECM	CANB-421	CAN 2	Data	8		now		t	100	1	off		0	80	90	E0	0	0	0	0	
CANB-EXTERNAL_LIGHTS	CANB-221	CAN 2	Data	6		now		t	250	1	off		0	0	0	0	0	0			
CANB-SWCOMMAND	CANB-635	CAN 2	Data	2		now		t	500	1	off		0	0							
CANB-SWCOMMAND_PLUS	CANB-628	CAN 2	Data	8		now		t	500	1	off		0	0	0	0	0	0	0	0	
CANB-ETM_VEHICLE_SETUP	CANB-c39	CAN 2	Data	8		now		t	100	1	off		0	0	0	0	0	0	0	40	0

Şekil 10 CANalyzer interaktif mesaj/sinyal oluşturma ekranı

Bu çalışma kapsamında izlenen tüm yöntemler Şekil 11'de özet olarak görülmektedir. Şekil 11'de görülen tüm aşamaların tamamlanmasından sonra tasarlanan ürün Fiat Doblo prototip araca entegre edilmiş ve araç üzerindeki diğer

ünitelerle entegrasyon ve fonksiyon testleri yapılmıştır. Testler sonrası prototip araç üzerinde nihai hale getirilen dijital gösterge panelinin son hali Şekil 12'de görülmektedir.



Şekil 11 Sistemin genel görünümü



Şekil 12 Yapılan çalışmanın prototip araç üzerine uygulanmış hali

3. Sonuç

Çalışma sonunda 12.3 inç, araç haberleşme ağıyla tam uyumlu prototip bir dijital gösterge paneli tasarımı yapılmış ve Fiat Doblo prototip araca entegre edilmiştir. GLStudio programı ile Photoshop yazılımının beraber kullanılabilirliğinin sağladığı esneklik, tasarlanan gösterge panelinin kullanıcıya özel ve kişiselleştirilebilir olmasını sağlamıştır. Bu çalışmada tasarlanan dijital gösterge panelinde HD çözünürlüğe sahip dijital ekran kullanılması ve gerçekleştirilen animasyon geçişleri ile sistem, analog göstergelere göre görsellik anlamında bir adım öne çıkmaktadır. Gelecekte, tasarlanan sisteme ek olarak, kamera, mikrofon vb. farklı donanım çözümlerinin entegre edilmesiyle ve yazılımın sağladığı esneklik ile navigasyon, çoklu araç kamera uygulamaları, satış sonrasında özel araç diyagnostik ve izleme çözümleri geliştirilebilir.

4. Kaynaklar

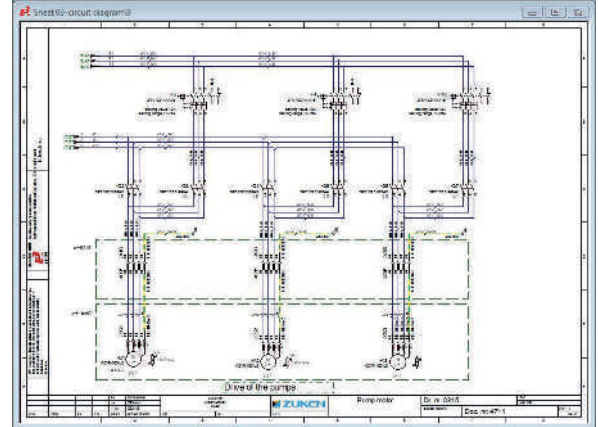
- [1] Dai Jiejie, Song Hui, "Design and Realization of CAN Bus Vehicle Instrument Cluster based on μ C/OS-IP", *IEEE*, 2011
- [2] Knoll P.M, Kosmowski B.B, "Liquid Crystal Display Unit for Reconfigurable Instrument for Automotive Applications", *Opto-Electronics Review* 10(1), 75-78, 2002
- [3] "CAN Specification 2.0", Robert Bosch GmbH.
- [4] Fraissé Stéphane, "Automotive Power", *High speed CAN Transceivers Infineon Application Note*, 2006
- [5] Distributed Simulation Technology Inc. GL Studio User's Guide
- [6] Weitao LV, Dong LI, "Multi-instruments Integrated Panel Simulation Based on GL Studio", *IEEE*, 2010

Bilgisayar Destekli Elektrik Proje Çizim Programı: E³series

Figen ÇOBAN-Uygulama Mühendisi

CPV Endüstriyel Proje Enerji Bilgi Teknolojileri San. ve Tic. Ltd. Şti.

figen@cpv-systemhaus.com



Resim 2.1: E³Schematic Çizimi

E³.series elektrik, elektroteknik, kablo, harness, hidrolik ve pnömatik projeleri için kullanılabilen bir E-CAD yazılımıdır.

Windows desteği, kolay öğrenilebilirliği, kullanım özellikleri ile AR-GE ve üretim aşamalarında ihtiyaç duyulan bütün mühendislik süreçlerini destekler.

1.Endüstri Çözümleri

E³.series endüstri sanayinin birçok alanında kullanılmaktadır.

- Enerji Sanayi
- Otomotiv Sanayi
- Makina Sanayi
- Havacılık ve Gemi Sanayi
- Demiryolları Sanayi
- Savunma Sanayi
- Beyaz Eşya Sanayi
- Elektrik Devre Diyagramları ve
- Panel Yerleşimi

2.Standart Çözümler

2.1.E³Schematic

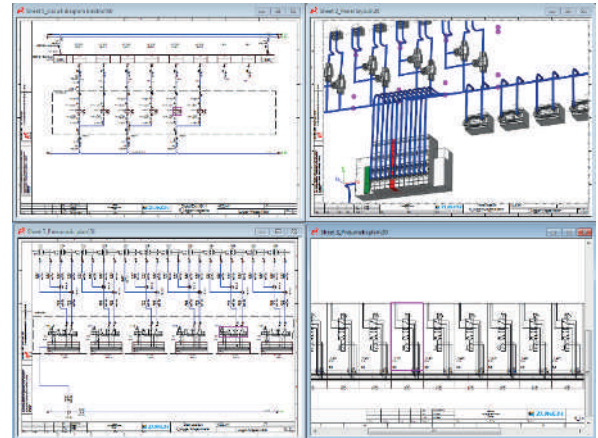
Devre diyagramlarından, terminal planlarına ve BOM'lara (Bill of Material) kadar eksiksiz tasarımlar yapılabilir. Nesneye dayalı teknoloji ve çevrimiçi doğrulama elektrik mühendisliği, hidrolik ve pnömatik alanlarında tasarım araçları sağlar.

- Elektrik mühendisliği için devre şemaları
- Hidrolik ve pnömatik
- Lojik ve elektrik kontrolleri
- Anında güncellenen terminal planları
- Üretim dökümanları (BOM, Bağlantı Listeleri vs.)
- Otomatik bağlantılar

2.2.E³Fluid

Nesneye dayalı E³.series fonksiyonelliğinin tüm avantajlarını kullanarak, bağımsız bir modül olarak veya elektrik tasarımı ile birleştirilmiş bir şekilde hidrolik ve pnömatik sistemler tasarlar.

- Hidrolik ve pnömatik için devre şemaları
- Tüm E³.series modülleri ile çevrim içi işlevsellik
- Çevrim içi malzeme listesi
- Hataları en aza indirmek için aktif lojik kontrolleri
- Geliştirilmiş grafik özellikleri
- Her açıda döndürülebilen semboller
- Üretim, çalışma ve servis raporları



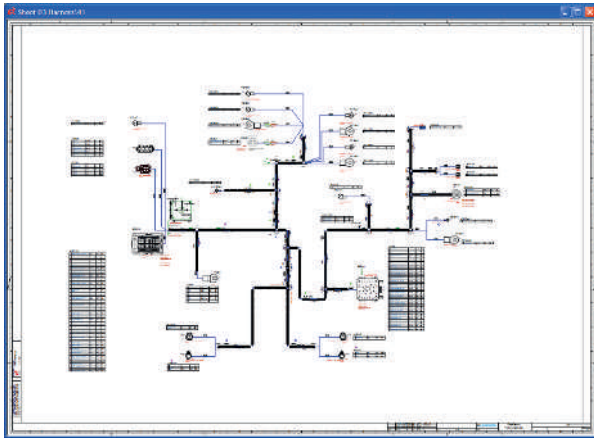
Resim 2.2: E³Fluid Çizimi

2.3.E³Cable

Otomotiv, taşımacılık, makine, ağır ekipmanlar, askeri ve havacılık gibi sektörlerdeki elektrik sistemlerinin geliştirilmesi, tasarımı ve dokümantasyonunda kullanılır. Kullanıcılar tasarım, üretim ve servis için özel görüntüler oluşturabilirler.

Sistemlerinizi E³.cable' n geliştirilmiş dil veritabanı ile tasarlanabilir. Program çok sayıda dili ve tüm Windows® fontlarını destekler. Basit bir işlemle herhangi bir metin istenilen dilde görüntülenebilir. Aynı zamanda, UNICODE ile birlikte Asya karakterleri de mevcuttur. 10 dilde mevcut olan kullanıcı ara yüzü ile birlikte E³.cable dünya çapında birçok ülkedeki insanlar tarafından ana dillerinde kullanılabilir.

- Kabloların ve kablo tesisatlarının dokümantasyonu
- Konnektör çiftlerinin ve pinlerinin doğrulanması
- Kablo tasarım, üretim ve servislerinin çok sayıdaki görüntüsü
- 3D M-CAD sistemi ile ara yüz



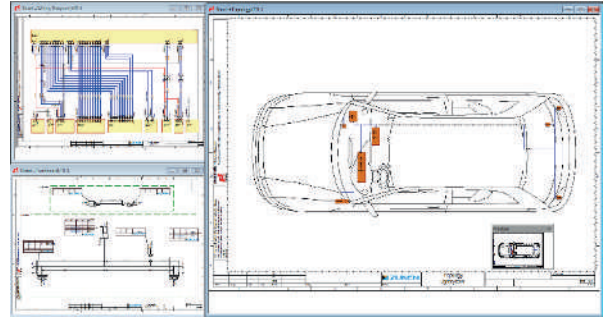
Resim 2.3: E³.Cable Çizimi

3. Opsiyonel Modüller

3.1. E³.Formboard

Tesisatların üretilmesinde E³.formboard özelliği, tesisatın 1:1 ölçekli çiziminin oluşturulmasında ek fonksiyonlar sunar. Formboard çizimi kabloların ve şematik çizimde tanımlanan tesisatın görüntülerinden oluşur.

- Herhangi bir segmentte üretim uzunluğu belirlenmesi
- Otomatik segment ayarlaması
- Önceden tanımlanan ayarlama doğrultuları
- Harness dalarının kolaylıkla döndürülebilmesi
- Kolların kolay döndürülebilmesi
- Konnektör tablolarında kablo ataması
- Kablo koruması ve bağlantı elemanı eklentisi
- Dal özellikleri ve çivileme noktaları



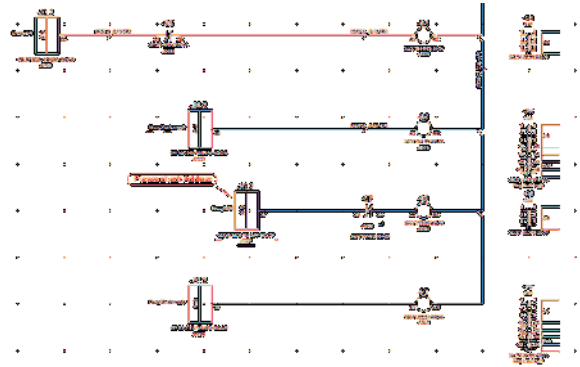
Resim 3.1: E³.Formboard Çizimi

3.2. E³.Viewer

Orijinal tasarım verisine ulaşılmasını sağlar. E³.series' te hazırlanan akıllı devre diyagramları görüntülenme için müsaittir. Tüm belgeleri görüntüleyebilir, hızlı bir arama yapabilir ve/veya istenilen verinin çıktısı alınabilir. Üretim, servis, tedarikçi ve müşteri arasında belgeli bir veri değişimi garanti edilir.

3.3. E³.Redliner

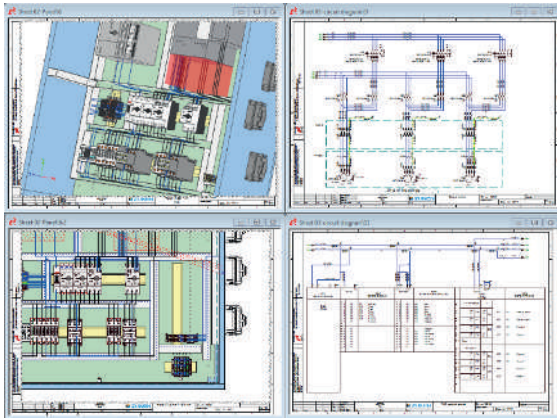
Tasarlama, uyarlama ve üretim aşamalarında kullanılmaktadır. E³.series görüntüleme özelliğine ek olarak, grafiklerde ve metinlerde gerekli olabilecek çeşitli modifikasyonlar bu modül ile gerçekleştirilebilir. Redliner bilgisinin değiştirilmesi ile yapılan modifikasyonlar E³.series orijinal çizimlerinde de tamamlanabilir.



Resim 3.2: E³.Redliner Gösterimi

3.4. E³.Panel

Elektrik pano çizimlerinin 2D ve 3D çizimlerinin oluşturulmasını sağlar. Panel yerleşimi ilgili şemalarla birlikte çevrim içi olarak düzenlenebilir ve üretim için tüm dokümanlar oluşturulur. Panel' de kabloları ve bağlantı hatlarını otomatik olarak hesaplamak mümkündür.

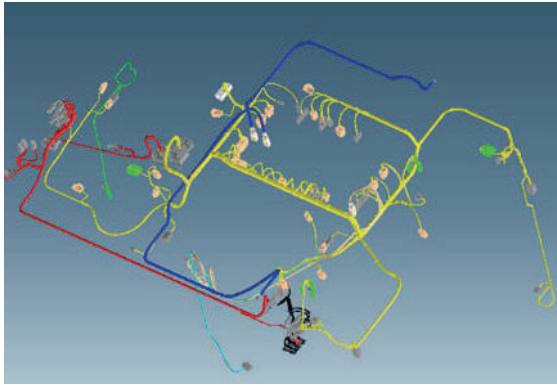


Resim 3.3: **E3** Panel Çizimi

3.5. **E3** 3D Routing Bridge

3 boyutlu doğru bir tasarım oluşturabilmek için E³.series ile diğer MCAD sistemleri arasındaki köprü görevidir. E³.series ile MCAD arasındaki bu bağlantı eş zamanlı olarak çalışmaktadır.

- Bileşen bilgisini (konnektör, pin) MCAD aktarma
- MCAD' de çakışma olup olmadığını kontrol etme
- MCAD' deki tellerin ve segmentlerin uzunluğunu hesaplama
- Uzunlukları ve parçaları tekrar E³.series' e aktarma
- MCAD sistemine bağlı olarak E3.formboard' da imalat dokümanlarının otomatik oluşturulması



Resim 3.4: **E3** 3D Routing Bridge Çizimi

Ayrıntılı bilgi ve broşürlere <http://cpv-systemhaus.com/e3-series/> adresinden ulaşabilirsiniz.

Büyük Patlama Büyük Çöküş Algoritması ile Aktif Güç Talep Azaltımı için Volt-Var Kontrol Cihazlarının Optimal Çalışma Planı (Türkçe)

Active Power Demand Reduction by Optimal Scheduling of Volt-Var Control Devices by Big-Bang Big-Crunch Algorithm (In English)

Gülcihan Özdemir

*İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Bilişim Uygulamaları Bölümü,
34469, Maslak, İstanbul, Türkiye
gulcihan.ozdemir@be.itu.edu.tr*

Özetçe—Elektrik dağıtım şebekelerinde güç yönetimi giderek çok önem kazanmaktadır. Günümüz elektrik dağıtım şebekelerinde artık bir çok yenilenebilir enerji kaynakları-güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve daha bir çok dağıtık enerji kaynakları entegrasyonu söz konusudur. Günümüz elektrik şebekelerinde teknolojinin gelişimi ile akıllı sayaçların, bir çok ölçüm cihazının gelişimi ve iletişim alanlarındaki gelişmeler ile şebekelerin daha fazla izlenebilirliği artmıştır. Bu sayede elde edilen verilerle ilave fiziksel yatırımlar yapılmadan dahi mevcut şebekeler akıllı sistem çözümlerini ile daha iyi yönetilebilirler. Bu sayede şebekenin veriminde artırılmış olacaktır. Bu çalışmada volt-var kontrol cihazlarının optimal olarak çalışma planlarının yapılması evrimsel algoritmalar grubu içerisinde büyük patlama-büyük çöküş isimli optimizasyon yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Test sistemi olarak IEEE 13 baralı dengesiz yüklü dağıtım şebekesine ait veriler kullanılmıştır. Simülasyonlar Matlab ortamında OpenDSS adlı açık kaynak kodlu güç akış programı kullanılarak ve ilave kodlar yazılarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler — volt-var kontrol; elektrik güç talebi azaltımı; güç kaybı azaltımı; elektrik güç yönetimi; büyük patlama-büyük çöküş optimizasyon algoritması; OpenDSS.

Abstract—Electric power management in distribution grid has gained a lot of importance recently. The issue in today's electric distribution network is integration of renewable energy resources such as solar, wind, batteries and many other distributed energy resources. Today's electrical networks are monitored and controlled easily with the development of technology in the area of measurement devices such as smart meters and many sensors, and communication. In this way, the data obtained with the available networks, even without additional physical investments, systems can be operated intelligently with intelligent system applications. The system efficiency will be improved consequently. In this study optimal scheduling of volt-var control devices are studied using big bang-big crunch algorithm which is one of the evolutionary algorithms. In the simulations IEEE 13 bus unbalanced distribution system circuit is used. The simulations are done on Matlab environment with OpenDSS open source power flow program and additional code.

Keywords — volt-var control; power demand reduction; power loss reduction; power management; Big-Bang Big-Crunch Optimization Algorithm; OpenDSS.

I. GİRİŞ

Volt-Var kontrolünün (VVC) temel amacı tüm yüklenme koşulları altında tüm müşteriler için her noktada gerilim (voltaj) değerinin limitler içerisinde olmasıdır [1].

Son yıllarda akıllı şebekeler kavramı ile elektrik dağıtım şebekeleri hem dizayn açısından hemde çalıştırılmaları açısından değişime uğramıştır. Bu arada Volt-Var kontrol biçimlerinde de büyük değişimler olmuş ve Volt-Var kontrol optimizasyonu da içerisinde alarak Volt-Var Optimizasyon (VVO) olup ilave amaçlarla birleştirilmiştir [2]. Bunlar elektrik güç talebinin azaltılması ile enerji tasarrufuna gidilerek sistemin verimliliğinin artırılması ve güç kalitesinin artırılmasıdır. Elektrik güç sistemlerinde, güç talebinin daha iyi yönetilmesi ve güç kayıplarının azaltılmasında sistemdeki güç akış ve voltaj kontrol cihazlarının çalışma zaman çizelgelerinin optimal bir şekilde düzenlenmesinde akıllı sistem çözümlerinin kullanılması büyük önem arz etmektedir [3][4].

Günümüz elektrik şebekelerinde gelişen teknoloji ile akıllı sayaçların kullanımının yaygınlaşması bunların yanısıra bir çok ölçüm cihazının gelişimi ve iletişim alanlarındaki gelişmeler ile şebeke kontrol merkezlerine daha fazla veri aktarımı sayesinde şebekelerin daha fazla izlenebilirliği artmıştır [5]. Bu sayede elde edilen verilerin işlenmesi ile sistemler daha akıllı yönetilebilirler. Bu çalışmada güç kullanım talebinin azaltılmadan üretim talebinin ve sistem güç kayıplarının (aktif ve reaktif güç) azaltılması için Volt-Var (voltaj birimi, Volt, reaktif güç birimi, Var) kontrol cihazlarının—(transformatör yük kademe ayarlayıcısı- Load Tap Changer, (LTC), voltage regülatör (VR) ve sabit olmayan, gerektiğinde devreye alınan, gerekmediğinde de devreden çıkartılan kapasitör (CAP) gruplarının optimal olarak çalışma planlarının yapılması.

Geleneksel kontrol modelinde ya yalnızca voltaj kontrolüne ya da reaktif güç kontrolüne bakılır. Burada voltaj ve reaktif güç kontrol cihazlarının birlikte koordineli bir şekilde birleşik Volt-Var kontrol modeli akıllı elektrik şebekelerinde kolaylıkla uygulanabilmektedir [3][6]. Bu model ile kontrol gerçekleştirildiğinde voltajdaki dalgalanma azaltılmış ve daha düzgün bir voltaj profili sağlanmış olur. Güç kayıpları azaltılıp, şebekenin de kapasitesi artırılmış olur.

Akıllı şebekeler şebekenin akıllı bir şekilde çalıştırılması için geliştirilmiş teknikler ve uygulamalar gerektirmektedir [7]. Bu çalışmada birleşik Volt-Var kontrolü ile birlikte güç kayıplarını azaltma ve şebekeden güç talebini düşürme amaçlarını gerçekleştirmek için kontrol aygıtlarının bu amaçlar doğrultusunda optimal bir şekilde çalışma planlarının oluşturulması büyük patlama-büyük çöküş optimizasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir [8].

II. BÜYÜK PATLAMA-BÜYÜK ÇÖKÜŞ ALGORİTMASI [8]

Bir problemin optimize edilmesi işlemi bir parametre setinin $\{x_1, \dots, x_n\}$ amaç fonksiyonunu $f(x_1, \dots, x_n)$ en küçük ya da en büyük değer almasını sağlayan çözüm setini bulma işlemidir. Bulunan bir çözüm seti o problem için en iyi çözüm olmaya bilir. Bir problemin çözüm setlerinde birden fazla min/max değerleri bulunabilir. Bunlar içerisinde yerel en küçük ya da büyük değerlere takılmadan genel optimumu bulabilen algoritmalara da global optimizasyon algoritmaları denir. Burada amaç genel en iyi çözüm setini bulmaktır.

Büyük Patlama-Büyük Çöküş (BP-BÇ) eniyileme algoritması, evrenin oluşumunu açıklayan en önemli teorilerden Büyük Patlama ve Büyük Çöküş teorilerine dayanan bir global eniyileme yöntemidir. BP-BÇ bir çok evrimsel algoritmada olduğu gibi popülasyon temelli bir algoritmadır. İki fazdan oluşur. İlk fazında yani "büyük patlama" aşamasında rastlantısal olarak ilk popülasyon seti oluşturulur. İkinci faz "büyük çöküş" aşamasında bir çok çözüm seti olasılığından tek bir çözüm setine inilir. Bu aşamada çözüm setine karar vermede amaç fonksiyonun ya da amaç fonksiyonunu min/max olarak en iyileyecek başarımların değerine bakılabilir. Amaca yönelik en iyi değere karşı gelen çözüm seti olarak karar verilebilir. Yöntem iteratif bir algoritma olduğundan sonraki nesiller oluşturulurken büyük çöküşte elde edilen çözüm etrafında yine rastlantısal olarak çözüm setleri oluşturulur büyük patlama aşaması gibi. İterasyon sayısı ilerledikçe yeni oluşan çözüm setleri global çözüme doğru yakınsar.

Büyük çöküş fazında çok sayıdaki popülasyon çözüm setinden tek bir çözüm setine geçiş (1) ile formülize edilebilir.

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{x_i}{f_i}}{\frac{1}{f_i}} \quad (1)$$

Burada;

x_c ağırlık merkezi (en iyi çözüm)

x_i i. pozisyon vektörü (i. çözüm seti)

f_i i. çözüm setine ait amaç veya başarımların değeri.

N popülasyon sayısı.

Büyük patlama fazında N tane rastlantısal çözümün elde edilşi de (2) de olduğu gibi formülize edilebilir.

$$x_{new} = x_c + l * r / k \quad (2)$$

Burada;

x_{new} yeni çözüm seti (alt ve üst limitler arasında)

l parametrenin üst limiti

r normal dağılımla üretilmiş rastgele sayı

k iterasyon adımı.

BB-BC algoritmasındaki adımlar:

Adım 1. İlk iterasyon için N -adet çözüm setini sınır değerler içerisinde rastgele üret.

Adım 2. Bu çözüm setindeki tüm adaylar için başarımların fonksiyonunu hesapla.

Adım 3. Ağırlık merkezini (1)'e göre hesapla. Ya da en fit çözüm adayını seç.

Adım 4. Yeni aday çözümlerini ağırlık merkezi civarında (2)'ye göre hesapla.

Adım 5. İterasyon sayısının üst değerine ulaşmaya kadar adım 2'ye dönerek adımları tekrarla.

III. PROBLEM FORMÜLASYONU

Birleşik Volt-Var kontrol ve optimizasyon modelinde şebekedeki tüm kontrol aygıtları hem hem güç istasyonu hem de fider seviyesinde (LTC, VR, CAP) birlikte düşünülmüştür. Örnek test sistemi üzerinde güç akışları simülasyonları yapılarak şebeke üzerinde sistem büyüklüklerinin değişimleri incelenmiştir. Simülasyonlarda amaç fonksiyonu olarak aktif güç minimizasyonu göz önüne alınmıştır. Denklemler (3) - (7) arasında verilmiştir.

$$\begin{aligned} \min \quad & f(x, u) \\ \text{s.t.} \quad & g(x, u) = 0 \\ & h(x, u) \leq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Burada

$f(x, u)$ amaç fonksiyonu olarak görünür güç

$$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)} \quad (4)$$

Başarımların fonksiyonu olarak aktif güç kayıpları

$$P_{loss} = \sum_{j=0}^{n-1} r_j \frac{P_j^2 + Q_j^2}{V_0^2} \quad (5)$$

$g(x, u)$ eşitlik kısıtları (aktif ve reaktif güç akışı denklemleri)

$$P_i = V_i \sum_{j=1}^N V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (6)$$

$$Q_i = V_i \sum_{j=1}^N V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (7)$$

$h(x, u)$ eşitsizlik kısıtları

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max}$$

$$u = [\text{tap}_1, \dots, \text{tap}_m, \text{cap}_1, \dots, \text{cap}_n]$$

$$s.t. \text{cap}_s = [0, 1] \quad (8)$$

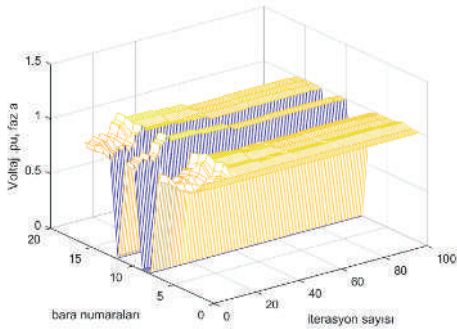
$$\text{tap}_k = [-16, -15, -14, \dots, 0, \dots, -14, -15, -16]$$

$$s = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m$$

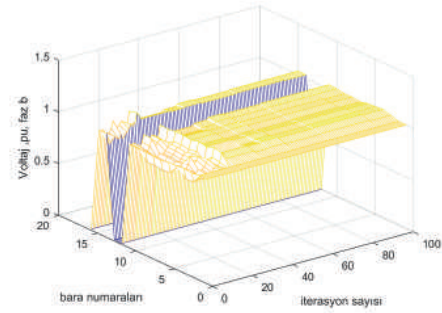
Burada u kontrol değişkenleri sistemdeki LTC ve VR'lerin tap değerleri ile CAP gruplarının pozisyon değerleridir. V'limit değerleri ANSI C84.1 standardında tanımlandığı gibi 0.95-1.05 p.u. dir.

IV. TEST SONUÇLARI

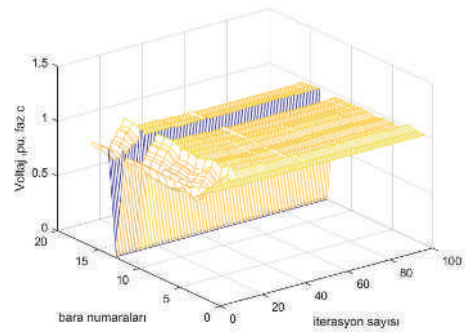
Simulasyonlar IEEE 13 bara test fideri [9] üzerinde Matlab ortamında OpenDSS [10][11] açık kaynak kodlu güç akış programı ve ilave yazılan kodlarla yapılmıştır. Bu fider üzerinde bir LTC regülatörü, bir tane üç fazlı VR, ile bir tanesi tek fazlı olup diğeri üç fazlı olan kapasitor grubu CAP bulunmaktadır. Simulasyonlar puant gücün (en yüksek talep değerinin) oluştuğu an yani güç tüketim profil değerinin 1'e eşit olduğu zaman için kaydedilmiştir. Amaç fonksiyonunun başarımlarına göre büyük patlama-büyük çöküş algoritması ile voltaj ve reaktif güç kontrol aygıtlarının belirlenen çalışma zamanına göre optimal çalışma planı tespit edilmiştir. Şekil 1-3'den görüldüğü gibi birleşik volt-var kontrol ve optimizasyon yönteminin bir sonucu olarak her faz voltajındaki dalgalanma da en aza indirilmiştir. Voltaj genlikleri arzu edildiği gibi 1.0 p.u. değeri civarında oldukça düzgün (flat voltaj) görünmektedir.



Şekil 1. Tüm baraların faz a için voltaj profili.



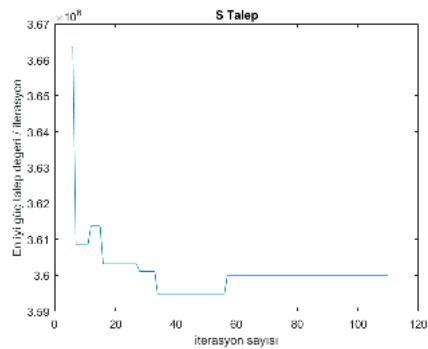
Şekil 2. Tüm baraların faz b için voltaj profili.



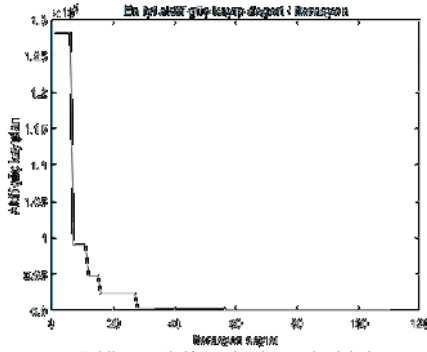
Şekil 3. Tüm baraların faz c için voltaj profili.

Şekil 4'de görüldüğü gibi şebekeden talep edilen görünür güç de control aygıtları akıllı yöntemlerle optimal bir şekilde devreye girip çıkartılması ve/veya tap değerlerinin birleşik ve koordineli bir şekilde düzenlenmesi ile sistemin verimli çalışması sağlanmıştır.

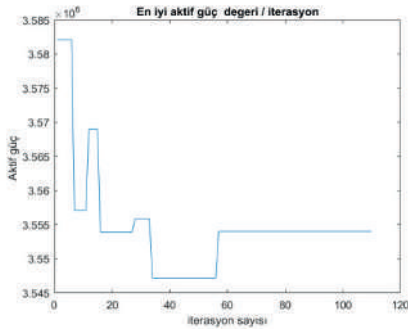
Şekil 5'de aktif güç kaybının ve bunun doğal sonucu olarak şebekenin toplam aktif güç talebinin de Şekil 6'da olduğu gibi düşürüldüğü görülmektedir.



Şekil 4. Toplam şebekeden talep edilen görünür güç.



Şekil 5. Aktif güç kaybının değişimi.



Şekil 6. Toplam talep edilen aktif güç,

Yapılan çalışma sonuçları Tablo 1 ve 2'de özet olarak verilmiştir. Tablo 1'de kontrol değişkenlerinin ayar değerleri ve devrede olup olmama durumları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Tablo 2'de görüldüğü gibi şebekenin görünür gücü %17.33 düşürülmüştür. Bu sonuca voltaj profili ve tüketim gücünden ödün vermeden kayıpların azaltılması ve birleşik ve kordineli volt-var aygıtlarının kontrolü ve optimum bir yöntemle çalıştırılması ile varılmıştır.

TABLO I. KONTROL DEĞİŞKENLERİNİN DURUMLARI

	LTC	VR_a	VR_b	VR_c	Cap_b	Cap_a	Cap_b	Cap_c
Geleneksel	9	16	-16	16	1	1	1	1
Önerilen	5	0	-1	0	1	1	1	1

TABLO II. BİRLEŞİK VOLT-VAR CONTROL VE OPTİMİZASYONU

	<i>Geleneksel (Lokal kontrol) W</i>	<i>Önerilen (Birleşik ve kordineli) W</i>	<i>% İyileştirme</i>
S	4.3543e+06	3.5999e+06	17.33
P	4.1106e+06	3.5540e+06	13.54
Q	1.4363e+06	0.5732e+06	60.09
Ploss	4.4150e+05	9.0095e+04	79.59
Qloss	-7.8233e+05	-0.1528e+05	98.05

V. SONUÇ

Volt-var cihazlarının optimal çalışma planının çıkarılması büyük patlama-büyük çöküş algoritması ile gerçekleştirilmiş ve sonuçlar geleneksel yöntem sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kayıplar ve talep edilen güç değerlerinin azaltılması konusunda büyük ilerleme kaydedilmiş ve oldukça iyi sonuçlar alınmıştır. Hem sistemin verimi yükseltilmiş hem de voltaj profillerindeki salınımlarda büyük düzeltmeler olmuştur. Burada birleşik volt-var kontrol ve optimizasyonundan dolayı büyük fayda sağlanmıştır.

Volt-var kontrol cihazlarının optimal olarak çalışmalarının planlanması genellikle farklı zaman dilimindeki güç taleplerine göre yapılır. Gelecek çalışması olarak burada yapılan işlemin bir tam gün içerisinde saatlik, yarım saatlik veya on beş dakikalık dilimler için elde edilen yük profillerine uygulanmasıdır.

KAYNAKLAR

- [1] B. Uluski, "Volt/VAR Control and Optimization Concepts and Issues," slides, EPRI, <http://cialab.ee.washington.edu/nwess/2012/talks/uluski.pdf>.
- [2] B. Uluski, "Integrated Volt - VAR Control," IEEE PES Distribution Automation Tutorial, http://wiki.powerdistributionresearch.com/images/f/f0/DATutorial08Chap5_SlidesRURevised.pdf.
- [3] V. Borozan and M. E. Baran, "Integrated Volt/Var Control in Distribution Systems," in Power Engineering Society Winter Meeting, 2001. IEEE, vol.3, no.3, pp.1485,1490 vol.3., 2001.
- [4] H. Ahmadi, J. R. Marti and H. W. Dommel, "A Framework for Volt-VAR Optimization in Distribution Systems," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 6, no. 3, pp. 1473-1483, 2015
- [5] N. Markushevich and W. Luan, "Achieving greater VVO benefits through AMI implementation," in IEEE Power Energy Soc. Gen., San Diego, CA, USA, 2011.
- [6] B. Uluski, "Smart Distribution Applications & Their Integration in a Smart Grid Environment," in 2011 IEEE Power&Energy Society General Meeting, Detroit Michigan, USA, July 2011.
- [7] S. Genc and M. Baggü, "Look ahead Volt/VAR Control: A comparison of integrated and coordinated methods," in T&D Conference and Exposition, 2014 IEEE PES, Chicago, IL, 2014.
- [8] O. K. Erol ve I. Eksin, «A new optimization method: Big Bang–Big Crunch,» *Advances in Engineering Software*, cilt 37, no. 2, pp. 106-111, February 2006.
- [9] "IEEE 13 Node Test Feeder," IEEE Power Engineering Society Distribution System Analysis Subcommittee.
- [10] R. C. Dugan and T. E. McDermott, "An open source platform for collaborating on smart grid research," in *IEEE Power and Energy Society General Meeting pp. 1-7*, 24-29 July 2011.
- [11] N. U. Primer, «The Open Distribution System Simulator (OpenDSS)».

Dağıtık Üretim Kaynaklarında Arıza Karakterleri ve ETAP Yazılımı ile Gerçekleştirilen Arıza ve Koruma Koordinasyonu Çalışması.

Fault Characteristics of Distributed Energy Sources and Protection and Fault Coordination Study using ETAP.

Okan Kondul¹, Recep Yumurtacı¹

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi

ryumur@yildiz.edu.tr¹

Özet

Enerji marketindeki liberalleşme ile beraber gaz emisyonu azaltma trendi ve küçük boyutlu, yüke yakın enerji üretiminin teknik avantajları dağıtık üretim kaynaklarının (DÜK) elektrik dağıtım sisteminde daha çok kullanılmasına neden olmaktadır. Dağıtık üretim kaynaklarının enerji dağıtım sisteminde artan uygulamaları çift yönlü enerji iletimi ve çok değişken ve düşük arıza akımlarını ortaya çıkarmıştır. Bunlar da klasik elektrik koruma sistemlerinde koordinasyon problemlerine sebep olmaktadır. Bu çalışmada farklı dağıtık üretim kaynaklarının arıza karakteristikleri hakkında tanımlamalar yapılmış. Ardından en yaygın kullanılan orta gerilim ve alçak gerilim röleleri ve koruma sistemleri hakkında bilgi verilmiştir. Dört farklı dağıtım üretim kaynağından oluşan örnek bir düşük dağıtım sistemi ETAP yazılımı ile modellenerek kapsamlı bir arıza ve koruma analizi gerçekleştirilmiştir. Son olarak uluslararası standartlardaki ada koruma sistemi ile ilgili bilgiler tablo halinde özetlenmiştir.

Abstract

Liberalization on energy market together with trend of reducing gas emission and technical advantages of small energy sources near the load can cause more utilized of the distributed energy sources in electrical distribution system. The increasing ratio of utilizing of distributed energy sources in electrical distribution system has emerged power flow with two sides and highly variable and small short circuit currents. These results are able to cause challenges for coordination of electrical protection system. In this study the fault characteristics of distributed energy sources is defined. Then most prevalent protection relays for medium voltage and low voltage and electrical protection system is explained. Comprehensive short circuit analysis and electrical protection study are realized using ETAP software for an example of electrical distribution system which is comprises of four different type energy sources. Finally anti-islanding protection system is summarized in a table.

1. Giriş

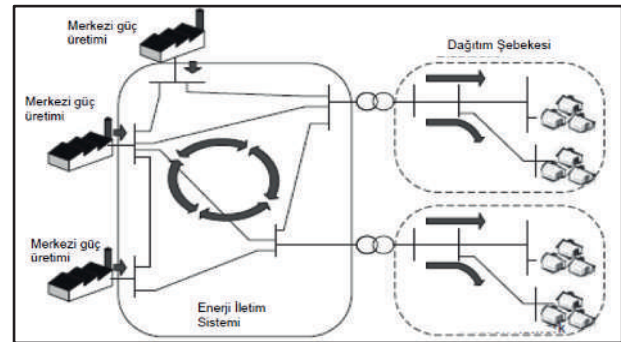
Elektrik dağıtımının ilk yıllarında her şehir ve kasaba kendi elektriğini kendi üretmekteydi fakat geçtiğimiz son 70 yılda modern elektrik güç sistemlerinin gelişmesiyle ile merkezi enerji üretim santralleri ve 1000kV a kadar enerji iletim santralleri ile tüketim karşılanmaya başlandı.

Klasik bir merkezi enerji sistemi aşağıda gösterilmiştir. Merkezi enerji santralleri büyük oranda termik ve doğalgaz kaynaklarına bağlıdır. (1)

21. yüzyılda artan enerji ihtiyacı ve azalan fosil kaynakları sebebiyle enerji kaynaklarına ilgi giderek artmaktadır. Benzer şekilde düşük verimli merkezi enerji üretim santrallerinin yerini tüketim noktasına yakın lokal üretim almaktadır.

Artan enerji verimi ihtiyacı enerji piyasasında serbestleşmeyi artırmaktadır.

Merkezi ve fosil yakıtlara dayanan enerji üretim sistemlerinin verimsiz olmaları, doğaya zarar vermeleri ve azalan fosil yakıtlar sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına ve tüketim noktasına yakın yerinde üretim sistemleri sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bu yerinde merkezi olmayan tüketim noktasına yakın üretim sistemine dağıtık üretim denilmektedir.



Şekil-1

Klasik merkezi enerji dağıtım sistemi üretimden yüke tek yönlü olarak gerçekleşir. (2)(3).

Enerji marketindeki liberalleşme ile beraber gaz emisyonu azaltma trendi ve küçük boyutlu yüke yakın enerji üretiminin teknik avantajları dağıtık üretim kaynaklarının (DÜK) elektrik dağıtım sisteminde daha çok kullanılmasına sebep olmaktadır. (2)(3).

DÜK lerin giderek artan kullanımı elektrik dağıtım sistemlerini tek yönlü pasif sistemden çift yönlü aktif hale dönüştürmektedir.

Dağıtım üretim kaynakları genel bir ifade ile direk elektrik dağıtım şebekesine bağlanan ve sayacı müşteri tarafında olan geleneksel üretime kıyasla küçük boyutta, merkezi olarak kontrol edilmeyen ve merkezi olarak planlanmayan elektrik üretim kaynaklarını tanımlar.(2)

DÜK lerin elektrik dağıtım sisteminde kapasite miktarının artması ve çift yönlü enerji akışı birçok teknik zorluğu beraberinde getirmektedir. (4)

Özellikle klasik elektrik dağıtım şebekesine entegrasyon, elektriksel koruma ve kararlılık bunların başında gelmektedir.

DÜK lerin koruma sistemine etkisi özel bir önemi hak etmektedir. Mevcut elektrik koruma sistemleri tek yönlü radyal şebekelere uyumludur. Çift yönlü güç akışı durumlarında elektriksel koruma özel olarak incelenmelidir. (4)

DÜK lerin entegre olduğu ve çift yönlü güç akışının sağlandığı elektrik sistemleri için yapılan koruma analizleri çoğunlukla iletim seviyesine odaklanmaktadır. Bir diğer odaklanılan konu ise dağıtım üretim kaynaklarının tekil olarak kısa devre katlı akımlarıdır.

Bu çalışmada alanında daha az çalışma olan alçak gerilimden şebekeye bağlanan DÜK lerden oluşan bir elektrik dağıtım sistemi üzerinde çalışılmış ve ETAP modeli ile arıza analizi gerçekleştirilmiştir.

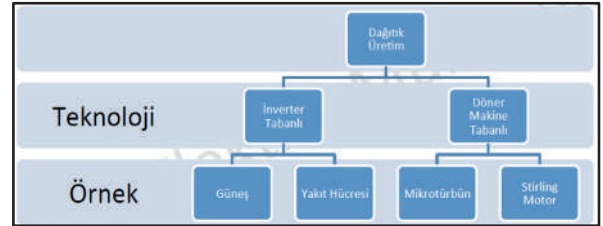
Konu başlıkları aşağıdaki gibidir;

2. Ünite de dağıtık üretim kaynakları ve arıza davranışları ile ilgili bilgiler verilmiştir.
3. Ünite de ticari olarak kullanılan orta gerilim ve alçak gerilim koruma röleleri tanımlanmıştır.
4. Ünite de ETAP yazılımı ile gerçekleştirilen bir dağıtım tesis modelinin arıza analizi yapılmıştır.
5. Ünite de Ada çalışma koruma röleleri ile uluslararası standartlardaki tanımları tanıtılmıştır.
6. Başlık ise sonuç bölümünü içermektedir.

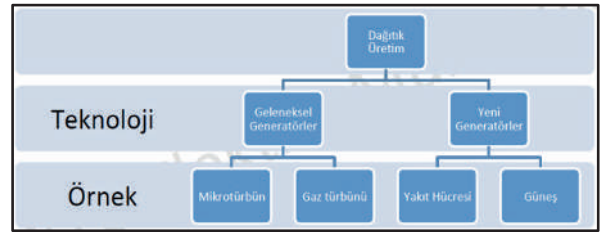
2. Dağıtık Üretim Kaynakları

2.1 Sınıflandırma

Dağıtık enerji kaynakları çeşitli şekilde sınıflandırılabilirler. Aşağıda bazı örnek sınıflandırmalar gösterilmiştir. (5) (6)



Şekil-2



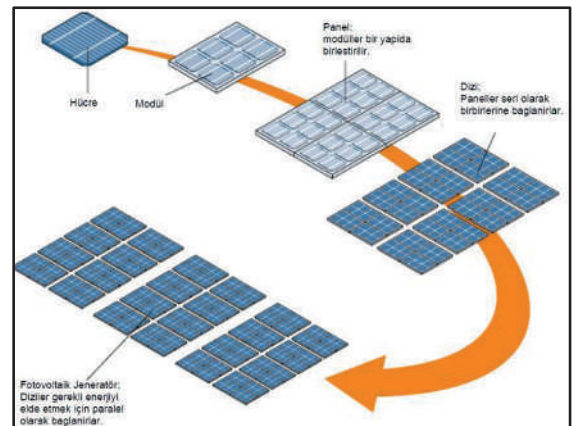
Şekil-3

İlerleyen bölümde fotovoltaikler, rüzgar türbinleri ve senkron dizel ve doğalgaz jeneratörleri hakkında bilgiler verilecek ve bu dağıtık üretim kaynaklarının kısa devre davranışları ile ilgili bilgiler verilecektir.

2.2 Güneş Pilleri

Güneş pilleri (fotovoltaik hücreler) güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirirler. Bu hücreler genellikle kalınlıkları 0,3mm ve yüzeyleri 100' ile 225 cm² arasında olan ve yaygın olarak silikon yarı iletken ince yüzeylerden oluşurlar.

Hücreler modülleri, modüller panelleri, paneller dizileri diziler de fotovoltaik tarlaları oluşturur. (7)



Şekil-4

Başlıca fotovoltaik teknolojileri

- Monokristal silikon
- Multikristal silikon ve
- İnce filmdir.

Aşağıda başlıca fotovoltaik teknolojilerinin karşılaştırması örnek bir tabloda gösterilmiştir. (7)

Fotovoltaik Teknolojilerinin Karşılaştırılması			
	Monokristal Silikon	Multikristal Silikon	İnce Film (amorphous silikon)
Verim	%14-%17	%12-%14	%4-6
Avantajları	Yüksek verim	Düşük maliyet	Düşük maliyet
	Sabit verim	Basit üretim	Azaltılmış sıcaklık etkisi
	Güvenilir teknoloji	Optimum boyutlar	Radyasyon yayılımı ile yüksek enerji çıkışı
Dezavantajları	Üretim için daha yüksek enerji gerekir	Üretim prosesinde pürüzsüzlüğe hassasiyet	Büyük boyutlar
			Montaj zamanı ve yapı maliyeti

Tablo.1

2.2.1 Fotovoltaik Inverterleri ve Çalışma Modları

Fotovoltaik kaynakların güç kontrolü inverter tarafından yönetilir. Inverter doğru akımı alternatif akıma çevirir ve MPPT noktasında çalışarak çıkış gücünün miktarını ile kalitesini kontrol eder.

Fotovoltaik inverterleri şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız veya ada çalışma olarak iki modda çalışabilirler.

- Şebeden bağımsız (ada çalışma) çalışmada yükü ve yük değişimlerini gerilimi mümkün olduğu kadar sabit tutarak karşılamaya çalışır.
- Şebekeye bağlı çalışmada inverter çıkışlarında şebeke gerilimi sağlanmalıdır. Aynı zamanda MPPT (maksimum güç noktası takibi) çalışma ile fotovoltaik modülün güç çıkışı maksimize edilmeye çalışılır.

2.2.2 Inverter arayüzlü dağıtım üretim kaynaklarının (IADÜK) farklı kontrol sistemlerinde kısa devre arıza davranışları

Güneş pilleri, yakıt pilleri ve mikro türbinler gibi dağıtım üretim kaynakları elektrik dağıtım sistemine direkt olarak

bağlanmaya uygun olmayan üretimleri sebebiyle bir inverter üzerinden bağlanırlar. Fakat arıza anında bu DÜK'lerin kısa devre akımları inverter tarafından kısıtlanır. Bu durum özellikle ada çalışmada düşük kısa devre akımlarına ve bu doğrultuda koruma koordinasyonunun sağlanamamasına neden olmaktadır.

DÜK inverterlerinin temel olarak iki çeşit kontrol modu bulunmaktadır.

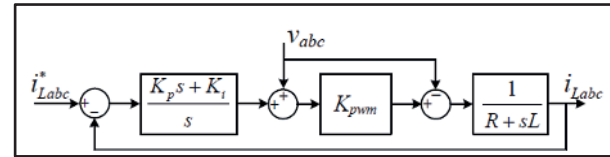
- Akım kontrollü (Sabit akım kontrollü ve PQ kontrol)
- Gerilim kontrollü (V/f kontrol – droop kontrol)

Dört kontrol sisteminin blok diyagramı aşağıda sıra ile gösterilmiştir.

Sabit akım kontrollü IADÜK'lerin blok diyagramı;

Sabit kontrollü IADÜK'ler çıkışlarında sabit bir akım sağlarlar. Kontrol sistemi "abc" yapısında (abc frame) sağlanır.

PI kontrolcü referans akım değerini elde etmek için kullanılır. (8),(9)

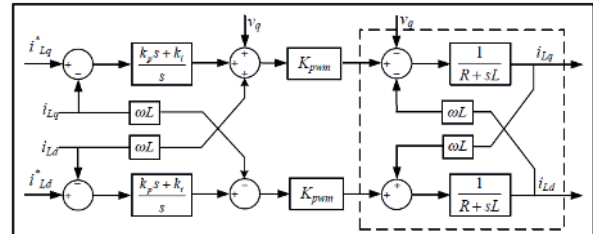


Şekil-5

PQ kontrollü IADÜK'lerin blok diyagramı;

Sabit güç değerini elektrik şebekesine aktarmak için kullanılır. dq yapısında (senkron referans yapısı) kontrol edilir.

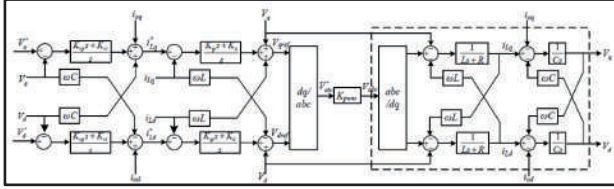
PQ ve sabit akım kontrolleri arasındaki fark sabit akım kontrollünde şebeke gerilimindeki dalgalanmalara göre çıkış akımı değişmiyor iken PQ kontrollü sistemde değişebilir. (8)(9)



Şekil-6

V/f kontrollü IADÜK'lerin blok diyagramı;

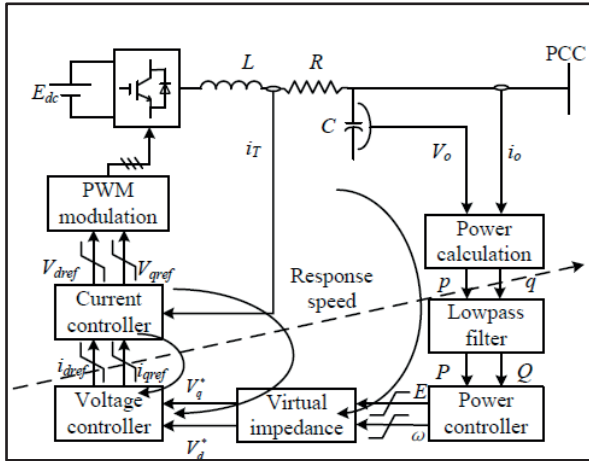
V/f kontrollü IADÜK'ler yaygın olarak ada modunda sabit gerilim ve frekans sağlamak için kullanılır. Kontrol sistemi dq yapısındadır. (8)(9)



Şekil-7

Droop kontrollü IADÜK'lerin blok diagramı;

Droop kontrolü IADÜK'ler yük paylaşım özellikleri sebebiyle genellikle mikro şebekelerde kullanılırlar. Kontrol prensibi V/f kontrol sistemi ile benzerdir. (8)(9)



Şekil-8

Inverter tabanlı kontrol tiplerinin simetrik ve asimetrik arıza durumlarında aşağıda tabloda gösterildiği şekilde modellenebilirler.

Kontrol Sistemi	Simetrik Hatalar		Asimetrik Hatalar	
	Eşdeğer kaynak	Eşdeğer empedans	İç Gerilim	Çıkış Akımı
Sabit akım kontrolü	Sabit akım kaynağı	Paralel filtre kapasitör	Dengesiz	Dengeli
PQ kontrolü	Kontrollü akım kaynağı	Paralel filtre kapasitör	Dengesiz	Dengeli
V/f kontrolü	Kontrollü gerilim kaynağı	Seri kontrollü empedans	Dengeli	Dengesiz
Droop kontrolü	Kontrollü gerilim kaynağı	Seri kontrollü empedans	Dengeli	Dengesiz

Tablo-2

Çeşitli çalışmalarda (8) (9) (10) IADÜK'ler ile ilgili çok çeşitli arıza modelleri yapılmıştır.

(8) numaralı referans çalışmada yapılan kapsamlı arıza analizinin özeti;

Gerilim kontrollü IADÜK'ler akım kontrollü olanlardan daha yüksek arıza akımı ve daha az tepe akımı sağlarlar.

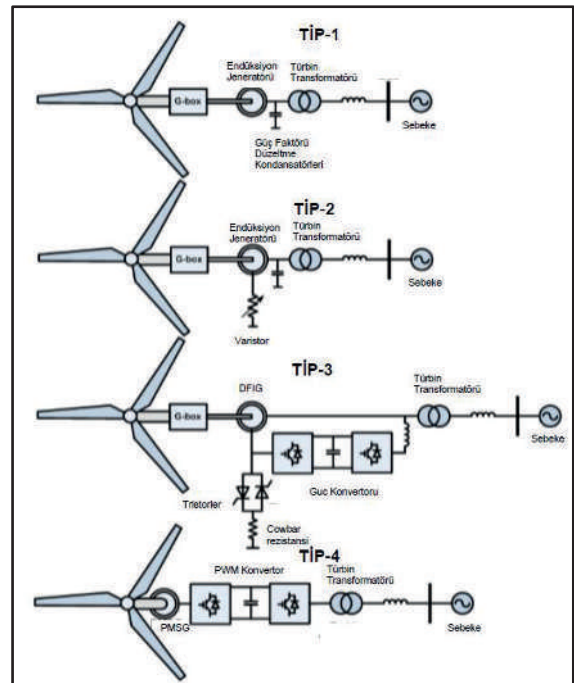
Gerilim kontrollü IADÜK'lerin arıza akımlarında eşpotansiyel azalan dc bileşenlerde gözlemlenmektedir. Akım kontrollü olanlarda ise dc bileşen akımı yoktur.

Akım sınırlayıcı kullanılması durumunda IADÜK'lerin hata akımları sabit akım kaynağı ile benzer hale gelir. Modülasyon dalga sınırlayıcı kullanılması durumunda ise IADÜK'ler ideal gerilim kaynağı olarak modellenebilirler.

2.3 Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbinleri mekanik olarak elektrik generatörüne bağlı iki veya daha fazla kanatları olan rotorları vasıtasıyla rüzgar kinetik enerjisini yakalar ve elektrik enerjisine çevirirler. Bu türbin yüksek bir kule üzerine monte edilerek, yakalayacağı kinetik enerji enerjisi artırılmaya çalışılır. Arzu edilen güç üretim kapasitesini elde etmek için bir bölgeye birçok rüzgar türbini kurulur. Bu tür yapılara rüzgar çiftliği denir. (11)

4 farklı rüzgar türbin generatörü (RTG) bulunmaktadır. Aşağıdaki resimde sabit hızlı RTG 1 den değişken hızlı tam çevrimli tip 4 e gösterilmiştir. (12)



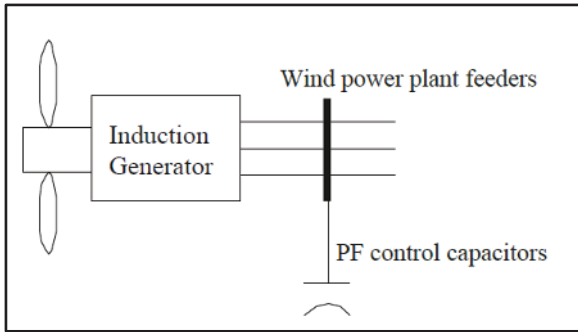
Şekil-9

Rüzgar türbini generatörleri yukarıdaki resimde de görüleceği üzere dörde ayrılmaktadır;

- Tip 1: Asenkron generatör – Sabit hızlı
- Tip 2: Kafesli rotorlu asenkron generator – harici rotor direnci ile değişken hızlı
- Tip3: Çift beslemeli asenkron jeneratör – değişken hızlı
- Tip4: Tam konvertör beslemeli sabit mknatıslı senkron generatörlü (değişken hızlı, direk sürücülü)

Tip 1 Sincap kafesli asenkron generatörlü (SKAG)

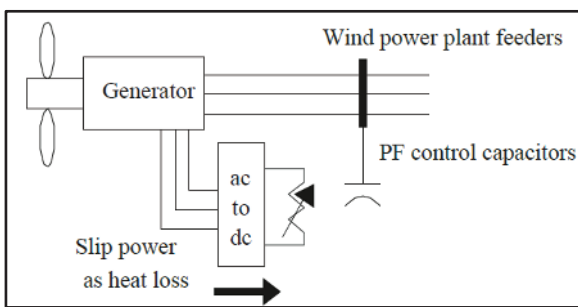
İlk rüzgar türbinleri sincap kafesli asenkron generatörlerdir. Şebeke frekansında sabit hız ile çalışan sincap kafesli asenkron generatörler ile enerji üretimi sağlanır. Nominalden daha düşük rüzgar hızlarında çalışıyor iken kalkış anında nominal akımın 10 katı kadar olabilen yüksek inrush akımlar sebebiyle şebeke dostu türbinler değildirlir. (15)



Şekil-10

Tip 2 Değişken harici rotor dirençli kafes rotorlu asenkron generator (KRAG)

Kafes rotorlu asenkron generatörlü değişken kaymalı rüzgar türbinleridir. Rotor sargıları harici bir rezistansa ve onu kontrol eden bir güç elektroniği çeviricisine bağlıdır.

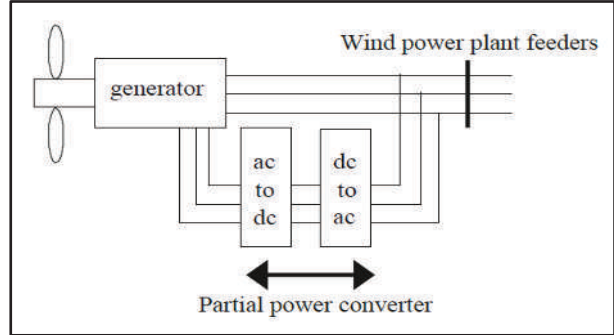


Şekil-11

Tip 3 Çift beslemeli asenkron generatör (ÇBAG)

Tip 3 statorun direk şebekeye bağlı olduğu ve rotorun ise yarı iletken dönüştürücüler ile bağlandığı kafes rotorlu generatörlerdir. Bu bağlantı şekli türbinin çok geniş bir aralıkta farklı rüzgar hızlarında çalışmasını sağlayarak elde edilen enerjiyi maksimize eder. Bunun için nominal rüzgar hızının altında optimum C_p (güç katsayısı) de ve nominal rüzgar hızının üstünde $P_{nominal}$ de çalıştırılır. Bu sebepten düşük ve orta rüzgar hızlarında maksimum enerji elde

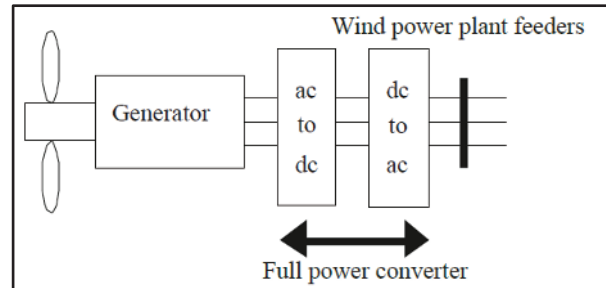
edilebilir. Bu tip-3 rüzgar türbinleri rotor konvertöründe reaktif güç akışını kontrol ederek şebeke terminallerinde güç faktörü ile gerilim kontrol edebilir. Ayrıca kalkış akımları SKAG ye düşüktür. Fakat ÇBAG lerin yüksek maliyetleri ve şebekeye verdikleri harmonik sebebiyle orta çapta uygulamalarda kullanımları oldukça azdır. (16)



Şekil-12

Tip 4 Tam konvertörlü senkron generatörlü (TKSG)

Tip 4 rüzgar türbinleri statoru şebekeye tam kapasiteli AC-DC-AC güç konvertörü ile bağlanan sabit mknatıslı senkron generatörden oluşur. Generator değişken hızlı çalışır, elde edilen enerji maksimumdur ve verimliliği çok yüksektir. Ek olarak şebeke dostudur. Inrush akımları yoktur ve şebekenin reaktif güç gereksinimlerini karşılayabilir. Diğer rüzgar türbinlerine göre daha pahalıdır. Fakat son gelişmeler ve güç elektroniği alanındaki daha düşük maliyetler güç konvertörlü değişken hızlı rüzgar türbinlerinin kullanımını fizibil hale getirmiştir. Kontrol algoritması tip 3 ile benzerdir. Rüzgar türbini nominal rüzgar hızının altında optimum C_p de, üstünde ise P nominal de çalıştırılır. (16)



Şekil-13

2.3.1 Rüzgar Türbinlerinin Kısa Devre Arıza Davranışları

Rüzgar türbinlerinin kısa devre katkıları ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan (13) ve (14) de rüzgar türbini çeşitlerinin arıza akımı katkısı karşılaştırılmıştır. İlgili çalışmadaki sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. (13) (14)

Tip-1 rüzgar türbinleri önemli miktarda kısa devre katkı akımı sağlarlar. Kısa devrenin zamanına bağlı olarak bu katkı

akımları nominal akımın 8 katı kadar veya daha yüksek olabilir.

Tip1-2 ve 3 de beklendiği gibi en büyük kısa devre akımı 3 fazlı kısa devre akımıdır. Fakat hatanın süresi çok kısadır. Çünkü yeterli hat gerilimi olmadan akı çöker. Böylece hata sönümlenir. Yine de bu arıza akımının etkisi sistemde bir süre görüleceğinden elektrik ekipmanlarının maksimum arıza dayanımında dikkate alınmalıdır.

Faz toprak kısa devre akımında terminal gerilimi ve akımı daha uzun devam eder. Çünkü hat gerilimi bir faz dışında akıyı sürdürebilir. Bu kısa devre akımı en düşük değere sahip olandır fakat koruma devrelerinin açma süresini hesaplarken dikkate alınmalıdır.

Tip-1 ve tip-2 rüzgar türbinleri kısa devre katkıları benzer olsa da harici rotor direnci sebebiyle tip-2 nin hata katkısı daha düşük olabilir.

Tip 3 rüzgar türbinlerinde yakın hata durumların hata katkı akımı tip-1 kadar büyük olabilir. Özellikle DC barada aşırı gerilimden kaçınmak için konvertöre seri bir crowbar direnci kullanılır. Böylece hata akımı sınırlandırılır.

Tip-4 rüzgar türbinlerinde generatör ve şebeke konvertör ile birbirinden ayrılmıştır. Bu sebepten generatör hata akımı güç konvertöründe kullanılan yarı iletkenlerin akım taşıma kapasiteleri tarafından sınırlandırılır. Bu sayede tip-4 rüzgar türbinlerinin kısa devre akım katkıları nominal akımın %110-%125 ine sınırlandırılır. (13) (14).

2.4 Dizel ve Doğalgaz Generatörü

Dizel ve doğal gaz generatörler içten yanmalı motor ve ona akuple bir senkron generatörden oluşurlar. (5)

Dizel ve gaz generatörleri ISO 8528-1 standardında tanımlanan çeşitli çalışma prensiplerine göre üretirler.(17)(18) Bunlar;

- Prime power (PRP);

Bir yıl içerisinde çalışma saati sınırı yoktur. Ortalama yük faktörü jeneratör plaka değerinin en fazla %70 i olmalıdır. %10 aşırı yük kapasiteleri vardır. Yük değişimlerine cevap verebilir ve bu tip tesislere uygundur

- Emergency standby power (ESP)

Bir yıl içerisinde 200 saate kadar çalıştırılırlar. Aşırı yük kapasiteleri yoktur. Ortalama yük faktörü jeneratör plaka değerinin en fazla %70 i olmalıdır.

- Continuous Power(COP)

Jeneratör plaka değerini %100 olarak bir yıl içerisinde sürekli olarak sağlayabilirler. Aşırı yük kapasiteleri yoktur. Yük değişimlerine cevap veremezler.

Dizel jeneratörler uygulamalarda yedek enerji kaynağı olarak “prime” veya “standby” çalışmada kullanılırlar.

Gaz jeneratörleri is yüksek hava-yakıt oranları sebebiyle yük değişimlerine çok hızlı cevap veremezler. Dizel jeneratörler %100 nominal gücü tek bir adımda üzerine alabiliyorken gaz jeneratörlerinde bu %10 ile %75 arasındadır. Kademeli ve değişken yük uygulamalarında kullanılabilirler de gaz jeneratörleri büyük sıklıkla “continuous power” yani sürekli sabit güç verecek şekilde üretilirler. Kombine ısı ve güç sistemlerinde genellikle bu tip jeneratörler kullanılır.(19)

Senkron generatörlerin kısa devre empedansları aşağıdaki gibidir. (20)

Jeneratör tipi	Turbojeneratör	Çıkık kutuplu damper sargılı jeneratörler	Çıkık kutuplu damper sargısız jeneratörler
Subtransient reaktans $X_d\%$	9-22	12-30	20-40
Transient reaktans $X_d\%$	14-35	20-45	20-40
Senkron reaktans $X_d\%$	140-300	80-180	80-180
Negatif bileşen reaktans $X_2\%$	9-22	10-25	30-50
Sıfır bileşen reaktans $X_2\%$	3-10	5-20	5-25

Tablo-3

Düşük subtransient empedansı sebebiyle dizel generatöre (DG) yakın kısa devrelerde arızanın tepe değeri ve dc katkı akımı artmaktadır.

Dizel generatörlerin kısa devre empedansları gaz jeneratörlerinden daha yüksektir. Bu sebepten kısa devre akım katkıları daha düşüktür.(21)(22)

3. Elektriksel Koruma Tanımlar ve Röleler

Bu bölümde sırası ile orta gerilim ve alçak gerilim koruma röleleri tanımlanacak ile çeşitli koruma uygulamaları, kısa devre hesap yöntemleri ve önemli ifadeleri tanımlanacak ve dağıtık üretim sistemlerinde uygulanan bazı koruma uygulamasından bahsedilecektir.

3.1 Başlıca Orta Gerilim Koruma Röleleri ve Tanımları

Orta gerilim koruma rölelerini temel olarak aşağıdaki şekilde gruplandırılabilirler. (20)

- **Tanımlı eşik değerli koruma röleleri;**
 - Aşırı akım ve ters zamanlı aşırı akım röleleri. ANSI kodları; 50/50N/50G/51/51N/51G

- b. Aşırı yük koruması. ANSI kodu; 49
- c. Frekans koruması. ANSI kodu; 81H/81L
- d. Gerilim koruması. ANSI kodu; 27/59
- **Karşılaştırmalı koruma röleleri**
- e. Fark koruma röleleri. Birim koruma rölesi olarak da adlandırılır. ANSI kodu; 87B /87G/87L/87M/87T
- **Yönlü koruma röleleri;**
- f. Mesafe koruma röleleri. ANSI kodu; 21
- g. Yönlü toprak hata röleleri. ANSI kodu; 67N/67NC/67
- **Otomatik tekrar kapama rölesi;**
- h. Tekrar kapama rölesi. ANSI kodu; 79.

Bu rölelerden en sık kullanılan aşırı akım, fark rölesi ve birim koruma rölesi ile ilgili tanımlar aşağıda verilmiştir.

3.1.1 Aşırı Akım Rölesi

Aşırı akım röleleri zaman çalışma karakteristiğine bağlı olarak üç gruba ayrılırlar. (23)

- a. Sabit akımlı anlık açmalı aşırı akım rölesi
- b. Sabit akımlı ve tanımlı zamanlı aşırı akım röleleri
- c. Ters zamanlı aşırı akım röleleri

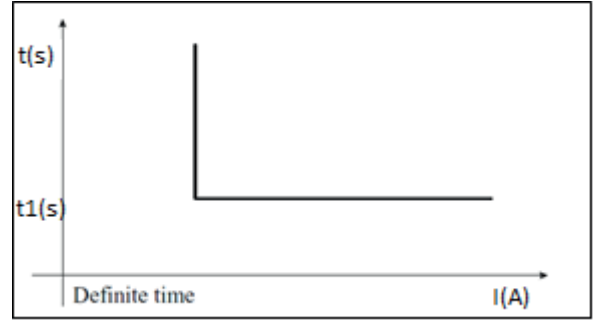
Sabit akımlı anlık açmalı aşırı akım röleleri;



Şekil-14

Yukarıdaki şekilde rölenin açma eğrisi gösterilmiştir. Bu röleler arıza akımı set edilen röle akımını geçtiğinde anlık olarak açarlar. İstenmeyen açmaları önlemek için genellikle kaynaktan uzakta kullanılırlar. Kaynağa doğru set edilen akım değeri artırılarak seçicilik sağlanır. (23)

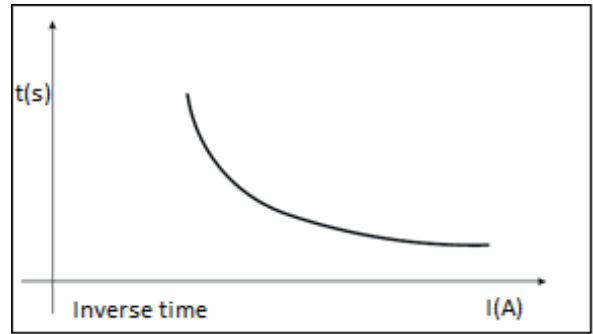
Sabit akımlı ve tanımlı zamanlı aşırı akım röleleri;



Şekil-15

Bu rölelerde arıza akımı set edilen akımı geçtiğinde yine röle üzerinde belirlenen zamanda açma sağlanır. Değişebilir zaman aralığı ile seçicilik istenen uygulamalara daha uygundur. (23)

Ters zaman röleleri;



Şekil-16

Bu röleler hata akımı ile ters oransal bir zamanda çalışırlar. Hata akımı arttıkça açma süresi ters oranda azalır. (23)

Ters zamanlı aşırı akım röleleri açma karakteristiği IEC standardına göre değişebilir. (24)

- Normal ters zamanlı açma (IEC tip-A)
- İleri ters zamanlı açma (IEC tip-B)
- Aşırı ters zamanlı açma (IEC tip-C)

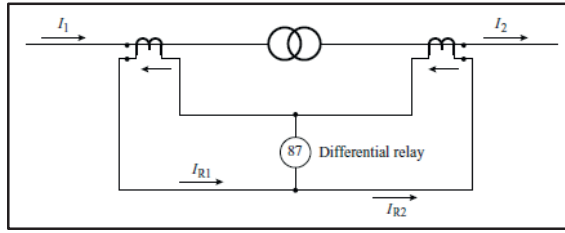
Aşırı akım röleleri 2MW tan daha az güçteki motor ve 10MVA dan daha az güçteki şebekelerde ana koruma elemanı olarak tercih edilir. Daha büyük güçlerde mesafe koruması vb. gibi farklı koruma tipleri tercih edilir. Bu uygulamalarda "back-up" koruma elemanı olarak tercih edilmelidir. (24)

3.1.2 Diferansiyel Koruma Röleleri

Enterkonnekte yüksek gerilim uygulamalarında oldukça yaygın olarak kullanılırlar. Koruma kapsamı tek bir ekipmanı (transformatör, bara, iletim hattı vb.) kapsayacak şekilde düzenlenir. Eğer koruma kapsamı içerisinde bir hata olursa röle kesiciye açma sinyali gönderir. Eğer hata akımı koruma kapsamı içerisinde değilse röle tepki vermemelidir.

Akım korunan ekipmanın giriş ve çıkış kısmında ölçülür ve faz açısı ve genliği karşılaştırılır. Eğer bu fark akımının

değeriset edilen değeri aşılırsa röle kesiciye açma sinyali gönderir. (25)



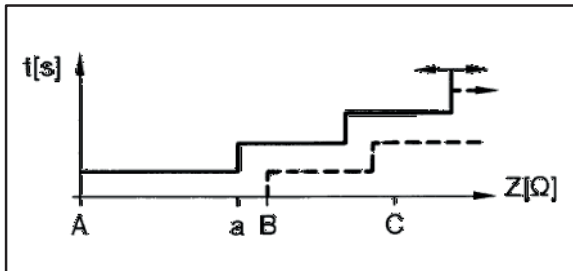
Şekil-17

3.1.3 Mesafe Röleleri

Mesafe koruma röleleri endüstriyel uygulamalarda çok az kullanılmasına rağmen yüksek gerilim uygulamalarında oldukça yaygın kullanılırlar. (26)

Aşırı akım rölelerinin seçicilik anlamında kısıtlamaları ayrıca yüksek hata akımlarında fark koruma rölelerinin kararlı çalışmaması yukarıda belirtildiği gibi özellikle yüksek gerilim uygulamalarında mesafe rölesinin sıklıkla kullanımını gerektirmektedir. (25)

Bu rölelere akım ve gerilim trafoları üzerinden devrenin gerilim ve akımının bilgisi sağlanır. Mesafe röleleri arızanın mesafesinin arıza empedansı ile orantılı olduğu prensibi ile çalışır.



Şekil-18

Yukarıdaki şekilde örnek bir mesafe rölesi uygulaması görülmektedir. BC aralığında olan bir kısa devrede B noktasında röle ilk açma sinyalini verecektir. Arızanın temizlenmesinin ardından A rölesi normal çalışma durumuna geçecektir. A noktasındaki röle "back-up" koruma rölesi olarak da işlev görmektedir.

3.2 Alçak Gerilim Koruma Cihazları ve Tanımları

Alçak gerilim sisteminde elektriksel koruma cihazları

- Aşırı yük
- Kısa devre ve
- Kaçak akım hatalarına karşı kullanılırlar.(27)

Bu başlıca alçak gerilim koruma cihazları;

- Alçak gerilim sigortaları
- Devre kesiciler

- Minyatür devre kesiciler ve
- Kaçak akım koruma cihazlarıdır. (28)

Sigortalar; Ters zaman korumalı cihazlardır. Yüksek kısa devre akımlarında kısa devre açma süresi azalır ve arızanın tepe akımı sınırlandırılır. (24)

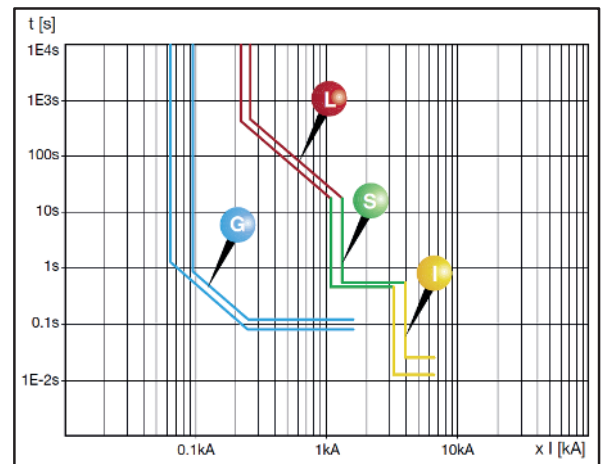
Devre kesiciler; Alçak gerilim devre kesicileri montaj tiplerine (sabit – çekmeceli), maksimum nominal akımlarına (Açık tip devre kesici, kompakt tip devre kesici), açtırma ünitelerine (termomanyetik ve elektronik açtırma ünitesi) ve koruma fonksiyonlarına göre ayrılırlar. (28)

Termomanyetik devre kesici koruma fonksiyonları;

- **MF;** Sabit manyetik açtırma ünitesi
- **MA;** Ayarlanabilir manyetik açtırma ünitesi
- **TMG;** Jeneratör koruması için termomanyetik açtırma ünitesi
- **TMD;** Ayarlanabilir termik ve sabit manyetik eşikli açtırma ünitesi
- **TMA;** Ayarlanabilir termik ve manyetik açtırma ünitesi

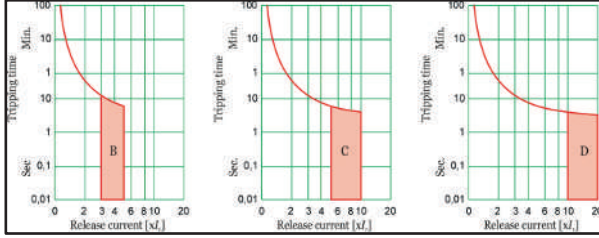
Elektronik devre kesici koruma fonksiyonları; Açık tip devre kesicilerin ve kompakt devre kesicilerinin temel koruma fonksiyonları aşağıda sıralanmıştır.(27)

- **L -** Uzun zaman gecikmeli; Aşırı yüke karşı ters uzun zaman koruma ve enerji geçişi (let through energy) karakteristiği sayesinde koruma sağlar.
- **S -** Ayarlanabilir zamanlı kısa devre koruması
- **I -** Ani açan kısa devre koruması
- **G -** Ayarlanabilir zamanlı toprak hata koruması
- **U -** Dengesiz faz koruması
- **UV -** Düşük gerilim koruması
- **OV -** Aşırı gerilim koruması
- **UF -** Düşük frekans koruması
- **OF -** Aşırı frekans koruması
- **D -** Ayarlanabilir yönlü kısa devre koruması



Şekil-19

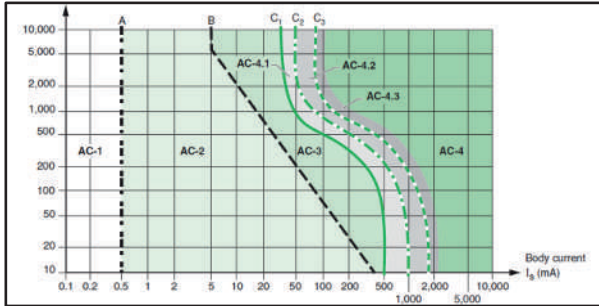
Minyatür devre kesiciler; 10kA e kadar aşırı yük ve kısa devre koruması yapan devre kesicilerdir. B-C-D açma karakteristiklerine sahiptir. B tipi MCB ler nominal akımın 3 ile 5 katında, C tipi 6 ile 10, D tipi ise 10 ile 20 katında anlık açma yapmaktadır.(20)



Şekil-20

Kaçak akım koruma cihazı; 3A e kadar toprak hata akımlarına karşı kullanılan fark röleleridir. Direk dokunma arızalarında 30mA eşik değerleri ile can güvenliği sağlayacak şekilde koruma yapabilir. TT şebekelerde kaçak akım koruma rölesinin kullanımı zorunludur.

Şekil-21 de AC akımın insan vücuduna etkisinin akım zaman eğrisindeki zonları gösterilmiştir. AC-3 geri dönüşü olabilen en üst sınırdır. AC-4 zonlarındaki hata akımlarında geri dönüşü olmayan yaralanmalar ve ölüm ile sonuçlanır. Grafikten görülebileceği üzere 30mA eşiği zamandan bağımsız üst sınırdır. (29)(30)



Şekil-21

3.2 Kısa Devre Tanımı

Elektrik tesislerinde en tehlikeli sonuçları olan ve en yaygın arıza tipi kısa devredir. Bu sebepten elektrik tesisleri her noktada kısa devre akımına karşı korunmalı yine bu bağli olarak her nokta için kısa devre hesabı yapılmalıdır. En sık meydana gelen ve en düşük değere sahip kısa devre akım faz toprak, en büyük değere sahip ve az sıklık karşılaşılan kısa devre akımı 3 faz kısa devresidir.

Kısa devre hesapları empedans methoduna veya IEC 60909 standardında tanımlanan simetrik bileşenler methoduna göre yapılabilir. Genellikle karmaşık olmayan alçak gerilim tesislerinde hesaplar empedans methodu ile yapılırken daha büyük boyutta ve orta gerilim tesislerinde simetrik bileşenler methodu ile yapılmaktadır.

Arıza tipine ve iletkenlerin arıza anındaki çalışma sıcaklıklarına göre maksimum ve minimum kısa devre akımları hesaplanmalıdır.

Maksimum kısa devre akımına göre devre kesicilerin dayanma (Icw), açma (Icu) ve kapama (Im) değerleri belirlenir.

Minimum kısa devre akımı ise devre kesicilerin en uzun açma süresini bulmak için hesaplanırlar. Bu en uzun açma süresince korunan iletkenin kısa devre enerjisine dayanımı hesaplanarak iletkenin uygunluğu doğrulanır. (31)

3.3 DÜK Koruması ile İlgili Çalışmalar

Dağıtık üretim kaynaklarının kullanıldığı elektrik dağıtım sistemlerinin arıza analizi ile ilgili uluslararası alanda birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların genellikle üç ana alana odaklanmıştır.

- İletim ve orta gerilim dağıtım sistemlerinde DÜK kullanımı. (32)(33)(34)
- Tek bir dağıtık üretim kaynağının kısa devre akım katkısı. (8) (9) (10) (12) (13) (14)
- Adaptif koruma röleleri ve benzeri henüz yaygın ticari kullanımı olmayan arge çalışmaları

Alçak gerilim ve orta gerilim dağıtım tesisleri en yaygın sık ve yaygın şekilde kurulan tesislerdir. Ticari olarak da benzer oranda elektrik sektöründe büyük bir hacim kaplamaktadır. Dağıtık üretim kaynaklarının yoğun olarak kullanıldığı bu tip tesisleri çalışma alanı olarak alan ve mevcut ticari koruma röleleri ile gerçekleştirilen koruma analizleri oldukça sınırlıdır. Buna benzer yapılan sınırlı çalışmalarda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. (4)

- Kuzey Amerika ve Avrupa standartlarında ada çalışmaya karşı farklı yaklaşmaktadır. Kuzey Amerika standartları ada çalışmaya karşı ile Avrupa standartlarında mümkün oldukça teşvik edilmektedir. (IEC 61850 gibi)
- Kesici IED (intelligent electronic device) lerinin 6 kademeye kadar farklı ayar imkanı vardır. Bu IED' lerin GOOSE (generic object oriented subjected event) mesajları ile ayar kademeleri değiştirilerek farklı kısa devre akımlarında koruma sağlanabilmektedir. Fakat bu koruma sistemi için oldukça büyük bir haberleşme yatırımı gerekmektedir. Ayrıca alçak gerilimde bir çok devre kesici açtırma ünitesi IEC61850 de tanımlanan haberleşme altyapısına uygun değildir.
- Yönlü koruma röleleri hatasız devrelerde meydana olabilecek istenmeyen açma durumlarını önlemek için kullanılabilirler.
- Elektrik şebekesindeki birçok arıza kısa süreli ve kendiliğinden sönmülenebilmektedir. Bu sebepten otomatik tekrar kapamalı kesiciler şebekeyi sisteme tekrar bağlamak için sıklıkla kullanılır. Bu tekrar kapama prosesi şebeke ile şebeke olmadan ada çalışan dağıtım sisteminin senkronizasyon problemine sebep olur. Bu sebepten Kuzey

Amerika standartlarında şebeke enerjisi kesildiği anda ada çalışmanın önlenmesi istenmektedir.

- Ada çalışmayı önlemek için düşük ve aşırı frekans röleleri kullanılır.
- DÜK lerin şebeke ile tekrar senkronize olması anında transformatörlerde yüksek inrush akımları meydana gelir. Bu istenmeyen kesici açmalarına sebep olabilir. Bu durumu engellemek için inrush akımından kaynaklanan 2.harmoniklere duyarlı kesiciler kullanarak kesicilerin duyarlı kalması sağlanır.

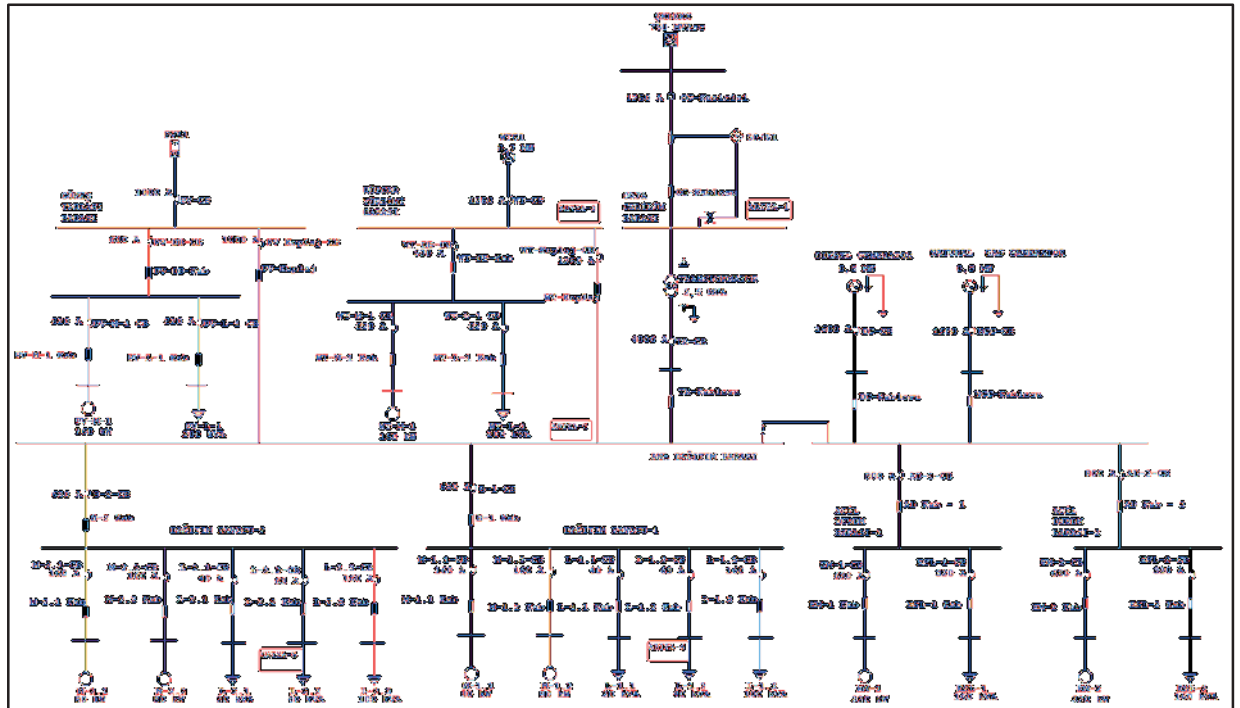
4. ETAP Yazılımı ile Modellenen Alçak Gerilim Seviyesinde Hibrit Bir Enerji Dağıtım Sisteminin Arıza Analizi

4.1. Modellenen Dağıtım Sisteminin Tanıtımı

Modelleme ETAP 12.6.0 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. ETAP güç sistemi modelleme, analiz ve optimizasyon imkanı sağlayan ve dünya genelinde oldukça yaygın kullanılan bir yazılımdır. Kablo hesabı, koruma koordinasyon, dinamik güç analizi, ark flaş analizi ve raylı sistemler gibi çok geniş aralıkta modelleme ve analiz yapılabilmektedir.

Şekil-22 de ETAP ile modellenen elektrik dağıtım sistemi gösterilmiştir. Modelde kullanılan elemanların tanımları, sayıları bilgileri aşağıda tablolar halinde sıralanmıştır.

Şekil-22;



4.2. Enerji Kaynakları;

Şebekeye senkron çalışan dört adet dağıtım üretim kaynağı ve bunlara bağlı 6 adet dağıtım barasından oluşmaktadır. Kullanılan kaynaklar, nominal güçleri ve kısa devre empedans katkıları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir;

Kaynak	Nominal Güç	Açıklama	Empedans ve Kısa Devre Katkıları
Şebeke	2,5 MVA	2,5 MVA kuru tip Dyn11	750MVA Kısa devre kesme kapasitesi. Uk: %6. R/X: 0,167
Rüzgar türbini(WG1)	0,7 MW	Tip-4 rüzgar türbini 0,7MW	Tip 4 rüzgar türbini kullanıldığından kısa devre akımı konvertör tarafından kısıtlanır. Konvertör kısa devre akımı katkısı nominal akımın %125 si kabul edilmiştir.
Güneş Pili Tarlası(PVA1)	0,625 MVA	280W gücünde panellerin 22 seri - 99 paralel dizisinden oluşan güneş pili tarlası	Güneş pillerinin ürettiği doğru akım inverter aracılığıyla sisteme bağlanır. Kısa devre akımı inverter tarafından kısıtlanır. Inverter kısa devre akımı katkısı nominal akımın %125 dir.
Dizel jeneratör	0,8 MW	Prime dizel jeneratör	Xd"=%21, X2=%19, X0=%7, Xd/Ra=25
Gaz jeneratörü	0,8 MW	Sabit güç gaz jeneratörü	Xd"=%16, X2=%14, X0=%5, Xd/Ra=25

Tablo-4

a. Şebeke – Transformatör;

Modelde 34,5 kV enterkonnekte elektrik şebekesi 2500kVA kuru tip Dyn11 sargılı transformatör üzerinden sisteme bağlanmıştır. Transformatörün empedans bilgileri;%Uk=6; R/X=0,167 olarak kabul edilmiştir. 34,5kV şebekenin kısa devre kesme gücü 750MVA alınmıştır.

b. Rüzgar Türbini;

ETAP modelinde tip-4 rüzgar türbini kullanılmıştır. Türbin 750Kw nominal güce sahiptir. Tip-4 rüzgar türbinleri ilgili

bölümde açıklandığı üzere dağıtım sistemine konvertör üzerinden bağlanmaktadır. Kısa devre katkısı bu türbin tarafından nominal akımın%125 i olacak şekilde sınırlandırılmaktadır.

c. Güneş Pili Enerji Santrali;

Modellenen güneş tarlası 280W nominal gücüne sahip panellerden oluşmaktadır. Santral dizisi 22 seri 99 paralel panelden oluşmaktadır. Toplam nominal elektrik gücü 625kVA dır. Güneş pili tarlası DC enerji üretimi AC elektrik şebekesine inverter ile bağlanabilmektedir. Tip-4 rüzgar türbinleri ile benzer şekilde kısa devre katkı akımı inverter tarafından sınırlandırılmaktadır.

d. Dizel ve Gaz jeneratörleri;

İki jeneratörde 800kW nominal güce sahip olacak şekilde seçilmiştir. Empedans ve atalet momenti değerleri ürün kataloglarından seçilmiştir. İlgili tabloda görüleceği üzere dizel jeneratörün kısa devre empedansları daha yüksektir. Bu sebepten kısa devre katkı akımı daha düşük olacaktır. Yine tabloda görüleceği üzere sıfır bileşen empedansı pozitif ve negatif bileşenlerden daha düşüktür. Bu sebepten bu senkron jeneratörlerin çıkışlarında faz-nötr kısa devre akımları 3 faz kısa devre akımlarından daha yüksek çıkacaktır.

4.3.Devre Kesiciler ve Röleleri

Kullanılan devre kesiciler ve rölelerin bilgileri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo-5 de özetlendiği şekilde kesici seçimi yapılmıştır. Kesici maksimum kısa devre açma değerleri tüm kaynaklar devre iken elde edilen kısa devre akımına göre seçilmiştir.

100kA kısa devre akım değerinde açık tip devre kesiciler seçilmiştir. Pano giriş şalterleri seçiciliği sağlamak için elektronik açtırma üniteli seçilmiştir. Yük devrelerinin korumaları ise termomanyetik açtırma üniteli termik ve manyetik (TMA) ile sağlanmıştır. Yine son devrelerde toprak hatalarına karşı 30mA kaçak akım röleleri kullanılmıştır.

4.4. İletkenler Tanımları ve Empedans Değerleri

ETAP modelinde kullanılan iletkenlerin tipleri, kesitleri ve empedansları aşağıdaki tablo-6 ve 7 de gösterilmiştir.

Kesici Adı	Kesici Tipi	Nominal Akım(A)	Maksimum Akım(KA)	Röle Tipi
OG-Kesicisi	SF-6 Kesici	1250	16	Aşırı Akım / Diferansiyel Koruma
TR-CB	ACB	4000	100	LSI - Elektronik
DG-CB	ACB	1600	100	LSI - Elektronik
NGG-CB	ACB	1600	100	LSI - Elektronik
WT-GB	MCCB	1250	50	LSI - Elektronik
PV-CB	MCCB	1000	50	LSI - Elektronik
WT-Kuplaj CB	MCCB	1250	50	LSI - Elektronik
WT-DB-CB	MCCB	630	50	LSI - Elektronik
PV-Kuplaj-CB	MCCB	1000	50	LSI - Elektronik
PV-DB-CB	MCCB	630	50	LSI - Elektronik
WT-M-1-CB	MCCB	320	50	TMA-Termomanyetik / RCD
WT-L-1-CB	MCCB	320	50	TMA-Termomanyetik / RCD
PV-M-1-CB	MCCB	320	50	TMA-Termomanyetik / RCD
PV-L-1-CB	MCCB	320	50	TMA-Termomanyetik / RCD
B-1-CB	MCCB	630	100	LSI - Elektronik
B-2-CB	MCCB	630	100	LSI - Elektronik
M-1.1-CB	MCCB	160	36	TMA-Termomanyetik / RCD
M-1.2-CB	MCCB	160	36	TMA-Termomanyetik / RCD
L-1.1-CB	MCCB	40	36	TMA-Termomanyetik / RCD
L-1.2-CB	MCCB	63	36	TMA-Termomanyetik / RCD
L-1.3-CB	MCCB	160	36	TMA-Termomanyetik / RCD
M-2.1-CB	MCCB	160	36	TMA-Termomanyetik / RCD
M-2.2-CB	MCCB	160	36	TMA-Termomanyetik / RCD
L-2.1-CB	MCCB	40	36	TMA-Termomanyetik / RCD
L-2.2-CB	MCCB	63	36	TMA-Termomanyetik / RCD
L-2.3-CB	MCCB	160	36	TMA-Termomanyetik / RCD
AD-1-CB	MCCB	800	85	LSI - Elektronik
AD-2-CB	MCCB	800	85	LSI - Elektronik
EM-1-CB	MCCB	630	50	TMA-Termomanyetik / RCD
ESL-1-CB	MCCB	320	50	TMA-Termomanyetik / RCD
EM-2-CB	MCCB	630	50	TMA-Termomanyetik / RCD
ESL-2-CB	MCCB	320	50	TMA-Termomanyetik / RCD

Tablo-5

İletken adı	Faz-nötr iletken kesit ve tipleri	Toprak iletken kesiti	Metraj
OG-Kablo	3 x (1x95mm ² NXS) - 34,5kV	-	1000
TR-Kablou	8 x (3x(1x240 mm ² N2XH)	1x240 mm ² N2XH	100
DG-Kablo	4 x (4x185 mm ² N2XH)	1x185 mm ² N2XH	50
NGG-Kablo	4 x (4x185 mm ² N2XH)	1x185 mm ² N2XH	50
WT-Kuplaj	2 x (4x240 mm ² N2XH)	1x240 mm ² N2XH	200
PV-Kuplaj	2 x (4x240 mm ² N2XH)	1x240 mm ² N2XH	200
WT-DB-Kab	2 x (4x120 mm ² N2XH)	1x120 mm ² N2XH	70
PV-DB-Kab	2 x (4x120 mm ² N2XH)	1x120 mm ² N2XH	70
W-M-1-Kab	4x150 mm ² N2XH	1x150 mm ² N2XH	70
WT-L-1 Kab	4x150 mm ² N2XH	1x150 mm ² N2XH	70
PV-M-1-Kab	4x150 mm ² N2XH	1x150 mm ² N2XH	70
PV-L-1-Kab	4x150 mm ² N2XH	1x150 mm ² N2XH	70
B-1-Kab	2 x (4x120 mm ² N2XH)	1x120 mm ² N2XH	70
B-2-Kab	2 x (4x120 mm ² N2XH)	1x120 mm ² N2XH	140
M-1.1-Kab	4x50 mm ² N2XH	1x50 mm ² N2XH	70
M-1.2-Kab	4x50 mm ² N2XH	1x50 mm ² N2XH	70
L-1.1-Kab	4x6 mm ² N2XH	1x6 mm ² N2XH	70
L-1.2-Kab	4x10 mm ² N2XH	1x10 mm ² N2XH	70
L-1.3-Kab	4x50 mm ² N2XH	1x50 mm ² N2XH	70
M-2.1-Kab	4x50 mm ² N2XH	1x50 mm ² N2XH	130
M-2.2-Kab	4x50 mm ² N2XH	1x50 mm ² N2XH	130
L-2.1-Kab	4x6 mm ² N2XH	1x6 mm ² N2XH	130
L-2.2-Kab	4x10 mm ² N2XH	1x10 mm ² N2XH	130
L-2.3-Kab	4x50 mm ² N2XH	1x50 mm ² N2XH	130
AD-1-Kab	2 x (4x120 mm ² N2XH)	1x120 mm ² N2XH	70
AD-2-Kab	2 x (4x120 mm ² N2XH)	1x120 mm ² N2XH	140
EM-1-Kab	4x120 mm ² N2XH	1x120 mm ² N2XH	70
ESL-1-Kab	4x150 mm ² N2XH	1x150 mm ² N2XH	70
EM-2-Kab	4x120 mm ² N2XH	1x120 mm ² N2XH	70
ESL-2-Kab	4x150 mm ² N2XH	1x150 mm ² N2XH	70

Tablo-6

Kablo kesiti ve Pozitif/Sfır Bileşen Empedansları		Rezistif Empedans(ohm/km)	Endüktif Empedans(ohm/km)
1x240mm ²	Pozitif Bileşen	0,097	0,072
	Sfır Bileşen	0,1542	0,1828
4x185mm ²	Pozitif Bileşen	0,128	0,073
	Sfır Bileşen	0,2035	0,1854
4x150mm ²	Pozitif Bileşen	0,159	0,073
	Sfır Bileşen	0,2528	0,1854
4x120mm ²	Pozitif Bileşen	0,196	0,073
	Sfır Bileşen	0,3116	0,1854
4x50mm ²	Pozitif Bileşen	0,494	0,079
	Sfır Bileşen	0,7854	0,2006
4x10mm ²	Pozitif Bileşen	2,33	0,084
	Sfır Bileşen	3,7047	0,2133
4x6mm ²	Pozitif Bileşen	3,92	0,089
	Sfır Bileşen	6,2328	0,226

Tablo-7

Tablodan görüleceği üzere iletken kesiti azaldıkça rezistif ve endüktif direnç artmaktadır. Sfır bileşen empedansları pozitif bileşen rezistif empedanstan yaklaşık 2, endüktif empedanstan ise yaklaşık 3 kat daha fazladır. Bu sebeple jeneratör çıkışında yüksek bir akıma sahip olan asimetrik arızalar iletken empedansları sebebiyle oldukça düşmektedir. 240mm² kablo kesitinde rezistif ve endüktif dirençler birbirlerine yakın değerlere sahipken, kesit azaldıkça rezistif direncin payı gittikçe artmaktadır.

4.5. Yükler

ETAP modelinde kullanılan yüklerin isimlendirmeleri, yük tipi ve aktif-reaktif enerji tüketimi aşağıdaki tablo-8 de gösterilmiştir.

Yükün Adı	Yük Tipi	Aktif Güç (kW)	Reaktif Güç (kVAR)
WT-M-1	Motor	160	74
WT-L-1	Sabit Yük	180	87
PV-M-1	Motor	160	74
PV-L-1	Sabit Yük	180	87
M-1.1	Motor	80	38
M-1.2	Motor	80	38
L-1.1	Sabit Yük	18	8,7
L-1.2	Sabit Yük	36	17,4
L-1.3	Sabit Yük	90	43,6
M-2.1	Motor	80	38
M-2.2	Motor	80	38
L-2.1	Sabit Yük	18	8,7
L-2.2	Sabit Yük	36	17,4
L-2.3	Sabit Yük	90	43,6
EM-1	Motor	320	146
ESL-1	Sabit Yük	144	69,7
EM-2	Motor	320	146
ESL-2	Sabit Yük	144	69,7

Tablo-8

4.6. Arıza Analizleri ve Sonuçları

Şekil-22 deki tek hat şemasında da belirtilen beş noktada arıza analizi yapılmıştır. Her arıza noktasında üç faz (3F), faz-nötr (1F-N) ve faz-toprak (1F-PE) kısa devre akımları ETAP simülasyonu ile hesaplatılmıştır. Bu beş noktadaki arıza analizleri aşağıdaki çalışma düzenlerinde gerçekleştirilmiştir.

- Çalışma düzeni-1 (ÇD-1); Tüm kaynaklar aynı anda devrededir. Şebeke salınım barası olarak seçilmiştir. Dizel jeneratör, rüzgar türbini ve güneş pili invertörü gerilim kontrol modunda, doğalgaz jeneratörü ise sabit aktif/reaktif güç verecek şekilde çalıştırılmaktadır.
- Çalışma düzeni-2 (ÇD-2); Enterkonnekte şebeke devre dışı bırakılmış ve dizel jeneratör salınım barası olarak seçilmiştir.
- Çalışma düzeni-3 (ÇD-3); Dizel ve doğalgaz jeneratörleri devre dışı bırakılmıştır. Sistemde sadece güç elektroniği ara yüzü kaynaklar tip-4 rüzgar türbini ve güneş enerjisi bulunmaktadır.

Aşağıda bu 5 noktada gerçekleştirilmiş çeşitli arıza değerleri tablo halinde gösterilmiştir.

ARIZA ANALİZİ TABLOSU									
	ÇD-1 başlangıç kısa devre akımları I _k "			ÇD-2 başlangıç kısa devre akımları I _k "			ÇD-3 başlangıç kısa devre akımları I _k "		
	3F (kA)	2FPE (kA)	1FPE (kA)	3F (kA)	2FPE (kA)	1FPE (kA)	3F (kA)	2FPE (kA)	1FPE (kA)
ARIZA-1	11,6	-	-	-	-	-	-	-	-
ARIZA-2	65,6	74,71	70,95	17,5	28,18	22,83	2,9	2,89	2,92
ARIZA-3	19,1	12,67	15,28	11,3	10,1	10,95	3	2,91	2,94
ARIZA-4	1,9	1,4	1,63	1,9	1,38	1,6	1,2	0,947	1,05
ARIZA-5	1,1	0,754	0,878	1	0,749	0,869	0,778	0,6	0,677

Tablo-9

Arıza-1 orta gerilim barasında olduğundan ÇD-2 ve ÇD-3 e dahil edilmemiştir. Yine bu arıza için sadece 3 fazlı kısa devre akımı çalışılmıştır. Transformatörün orta gerilim tarafı üçgen sargılı olduğu için alçak gerilim tarafından gelen asimetrik akımlar bu arızaya etkimemektedir.

Tablodan görüleceği üzere ÇD-1 de tüm arıza noktalarında en yüksek kısa devre akım değerleri elde edilmiştir.

ÇD-2 çalışmasında şebeke devre dışına çıkarılmasına rağmen senkron makineler dizel ve gaz jeneratörleri sayesinde arıza akımlarındaki düşüş sınırlı olmuştur.

Çalışma düzeni 3 de ise tahmin edileceği üzere güç elektroniği ile dağıtım sistemine bağlanan kaynaklar sebebiyle oldukça düşük kısa devre akımları görülmüştür.

ÇD-1 ve ÇD-3 arasındaki dramatik kısa devre akım değişimleri elektrik dağıtım sistemlerinde çalışan tasarımcıları oldukça zorlamaktadır.

Bir sonraki başlıkta bu değişimin devre kesicilere ve kablo kesitlerine etkisi incelenecektir.

4.7. Analiz Sonuçlarına Göre Koruma Koordinasyonu

Bu çalışmada yukarıda tablo-9 ile özetlenen çalışma düzenleri ve arızalara göre koruma koordinasyonu gerçekleştirilmiştir.

Koruma koordinasyonu yapılması gereken çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

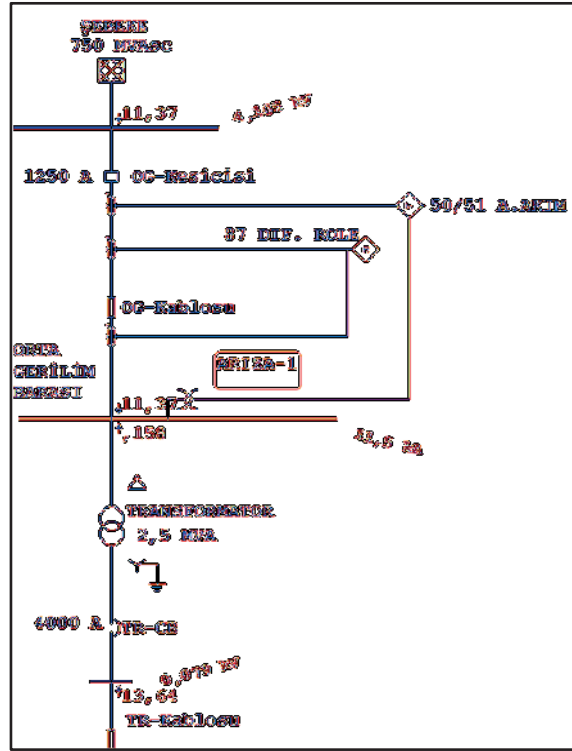
- a. Maksimum kısa devre akımına göre devre kesicilerin açma kapasitelerini belirlenmelidir.
- b. Minimum faz nötr kısa devre akımına göre kabloların adyabatic dayanım kontrolü yapılmalıdır. Adyabatic kontrol formülü $k \times S > I_k^2 \times t$ sağlanmadığı takdirde kablo kesitleri artırılmalı veya devre kesici açma karakteristikleri değiştirilmelidir.
- c. Minimum faz-toprak kısa devre akımına göre devre kesicilerin açma süreleri bulunur. Bu açma sürelerinin tesis topraklama tipine göre IEC 60364-4-41 de tanımlananlardan daha az olması gerekmektedir. Aksi durumda arıza tehlikeli elektrik şoklarına sebep olabilir.
- d. Devre kesiciler arasında seçicilik sağlanmalıdır.
- e. Arızaya en yakın devre kesicinin açmaması durumunda bir üstteki tepki verebilmelidir.

4.7.1 Arıza-1

Arıza-1 orta gerilimde oluşturulmuştur. Bu arızaya şebeke tarafında "OG-Kesicisi" yük tarafında ise "TR-CB" devre kesicileri tepki verecektir. Kısa devre akımında devre kesicilerin açma süreleri ve modelden bir görüntü aşağıda gösterilmiştir;

ARIZA-1 kesici açma süreleri			
Devre kesici adı	Kesici ve röle tipi	If-Sürekli kısa devre akımı (kA)	Hatanın Temizlenme Süresi (ms)
OG KESİCİSİ	Diferansiyel röle-87	12,51	66
	Aşırı akım rölesi 50	12,51	96
	Aşırı akım rölesi 51	12,51	401
TR-CB	4000A ACB LSI	13,568	451

Tablo-10



Şekil-23

Sonuçlardan görüleceği üzere transformatörün alçak gerilim tarafında bulunan TR-CB kesicisi 451ms de devreyi kesebilmektedir. Senkron makineler dizel jeneratör ve gaz jeneratörünün olmadığı durumlarda bu zaman dilimi daha da artacaktır. Bu sebepten OG-Kesicisi ile TR-CB kesicisi arasında aynı anda açmalarını sağlayacak bir karşılıklı kilitleme mekanizması kurulması gerekmektedir.

Modellenen OG-Kesici röleleri içerisinde kısa devre akımına en hızlı ve güvenli cevap veren röle diferansiyel röle olmuştur.

4.7.2 Arıza-2

Arıza-2 ana barada gerçekleştirilmiş ve en yüksek kısa devre akımına ulaşılmıştır. Ana barada gerçekleşen kısa devre akımında arızayı besleyen tüm kaynakların devreden çıkarılması istenir. Bu sebepten devre kesiciler elektrik dağıtım sistemini adyabatic hata ve elektrik şoklarına maruz bırakmadan arızaya cevap vermelidir.

Aşağıdaki tablo-11 de devre kesicilerin açma süreleri gösterilmiştir.

ARIZA-2 / ÇD-1 kesici açma süreleri			
Devre kesici adı	Kesici ve röle tipi	If-Sürekli kısa devre akımı (kA)	Hatanın Temizlenme Süresi (ms)
TR-CB	4000A ACB LSI	47,18	52,1
DG-CB	1600A ACB LSI	7,405	60
NGG-CB	1600A ACB LSI	9,486	60
OG Kesicisi	Aşırı akım rölesi 51	0,547	725
PV-Kuplaj-CB	1000 MCCB LSI	1,347	17866
PV-CB	1000 MCCB LSI	1,347	17866
WT-Kuplaj-CB	1250 MCCB LSI	1,557	21366
WT-CB	1250 MCCB LSI	1,557	21366

Tablo-11

Tablodan da görüleceği üzere şebeke 52,1ms ile dizel ve doğalgaz jeneratörleri ise 60ms içerisinde açan kesiciler ile devreden çıkarılmaktadır.

Fakat rüzgar ve güneş santralleri devre kesicilerinin nerede ise hataya duyarsız kaldıkları gözükmemektedir. Bu durum arızanın temizlenememesine bu sebepten can ve mal tehlikesine sebep olmaktadır.

Bu duruma çözüm olarak rüzgar ve güneş santralleri devre kesicilerinin diğer kaynakların kesicileri ile karşılıklı kilitlemeli olması gerekmektedir.

Yani şebeke, dizel ve doğal gaz jeneratörü devre kesicilerinde meydana gelecek açma durumlarında güç elektroniği ile sisteme bağlanan kaynakların kesicileri de açmalıdır.

ÇD-2 de şebeke devrede olmadığından kısa devre akımı düşmekte fakat yine de dağıtım sistemine direkt bağlı senkron jeneratörler sayesinde yüksek değerler elde edilmektedir. Sistemde kısa devreyi besleyen dominant kaynaklar bu jeneratörlerdir.

Dizel ve doğal gaz jeneratörlerinin düşük sıfır bileşen empedansları sebebiyle 2FN ve 1FPE kısa devreleri oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

4.7.3 Arıza-3

Arıza-3 analizi rüzgar türbinin çıkış barasında gerçekleştirilmiştir. Arıza temizleyen kesicilerin açma süreleri;

ARIZA-3 / ÇD-1 kesici açma süreleri			
Devre kesici adı	Kesici ve röle tipi	If-Sürekli kısa devre akımı (kA)	Hatanın Temizlenme Süresi (ms)
WT-Kuplaj-CB	1250 MCCB LSI	16,156	60
WT-CB	1250 MCCB LSI	1,637	18888

Tablo-12

WT-Kuplaj-CB ve WT-CB kesicilerinin set edilen röle değerleri;

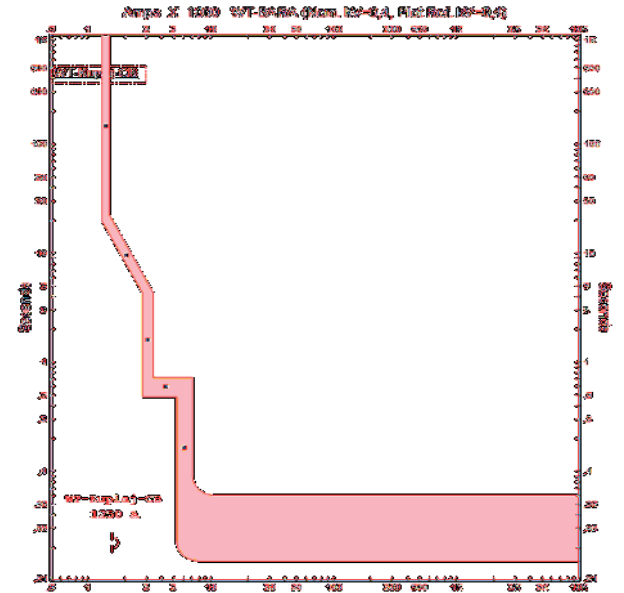
L=1250A; S=3125A (2,5); I=6250A (5)

Görüleceği üzere rüzgar türbinini elektrik dağıtım sisteminin geri kalanını ayıran “WT-Kuplaj-CB” kesicisi 60ms de devreyi ayırmaktadır. Böylece şebeke tarafından gelen kısa devreler engellenmiş olur ve arıza hatasız sistemden izole edilmiş olur. Türbin çıkış kesici WT-CB ise hatayı kabul edilemez kadar uzun bir süre beslemektedir. Bu süre elektronik açtırma rölesinin seçici kısa devre kesme akımı(S) ayarını daha düşük bir değere getirerek azaltılabilir fakat bu durumda seçicilik koordinasyonunu da dikkate almamız gerekmektedir

WT-Kuplaj-CB kesicisi üzerinden şebeke tarafından gelen 16,156kA kısa devre akımı geçerken bir önceki arıza analizinde görüleceği üzere türbinden şebekeye doğru ise 1,557kA kısa devre akımı akmaktadır. WT-Kuplaj-CB kesicinin röle açma değerlerinin 1,557kA kısa devre akımına hızlı tepki verecek şekilde ayarlanması durumunda anlık oluşabilecek aşırı akımlarda (motor katkı akımı sebebiyle vb.) istenmeyen açmalar olacaktır.

Bundan dolayı bu kesicilerin aşırı akım rölelerinin tek yönlü olarak (şebekeden türbine doğru) çalışması ayrıca ada çalışma engelleme koruma sistemi ve karşılıklı açtırma üniteleri ile donatılmaları gerekmektedir.

WT-Kuplaj-CB ve WT-CB kesicilerinin elektronik LSI açma eğrisi aşağıda şekil-24 de gösterilmiştir.



Şekil-24

4.7.4 Arıza-4 ve Arıza-5

Bu arızalar son kullanıcılarda meydana gelen arızalardır. Daha uzun kablo mesafeleri sebebiyle arıza-5 deki kısa devre akımları arıza-4 e göre daha düşüktür.

Bu noktalarda oluşan iki faz toprak (2FPE) ve faz toprak (1FPE) arızalarında kaçak akım röleleri 0,04-0,3 saniye arasında hatayı temizleyebilmektedir.

Fakat 3 Faz ve faz nötr (1FN) kısa devrelerinde kaçak akım rölesi gibi diferansiyel koruma röleleri tepki veremezler. Bu arızalarda aşırım akım röleleri ile devre kesilmelidir.

Tablo-12 de görüleceği üzere ÇD-2 de dizel ve doğal gaz jeneratörünün katkısından dolayı arıza akımı yüksek bir seviyede sürdürülebiliyorken ÇD-3 de kısa devre akımları oldukça düşmektedir.

ÇD-2 de yapılan koordinasyonda kesicilerin uygun sürelerde hatayı giderdikleri görülmüştür.

Fakat ÇD-3 çalışmasında çok düşük kısa devre akımları ve bunlarla ters orantılı uzun açma süreleri sebebiyle iletken de adyabatik hatalar tespit edilmiştir. Yine bu açma sürelerinin IEC 60364-4-41de tanımlanan açma sürelerini sağlayamadığı görülmüştür.

ARIZA-5 / ÇD-3 kesici açma süreleri			
Devre kesici adı	Kesici ve röle tipi	If-Sürekli kısa devre akımı (kA)	Hatanın Temizlenme Süresi (ms)
L-2.2-CB	63A MCCB TMA	0,628	8406

Tablo-13

Tablo-13 den de görüleceği üzere 3 fazlı kısa devre akımı 8406ms sonra giderilebilmektedir. Bu uzun süre sebebiyle 4x10mm N2XH besleme kablosunda adyabatik hata görülmüştür. Yine yukarıda belirtildiği üzere bu süre standartlardaki maksimum açma süresinin hayli üstündedir.

Ayrıca beslenen devre için yedekli koruma da “back-up” sağlanamamıştır. L-2.2-CB kesicisinde oluşacak bir arızan dolayı kısa devreyi temizleyememesi durumunda bir üst şalter hataya tepki verememektedir.

ETAP ile gerçekleştirilen örnek elektrik dağıtım modelinin sonuçları özetlenmiştir. Bu sonuçlardan görüleceği üzere güç elektroniği ara yüzü dağıtık üretim kaynaklarının ada çalışma durumunda düşük kısa devre katkı akımları sebebiyle koruma koordinasyonunda çok tehlikeli problemlere yol açtığı gözlemlenmiştir.

Bu kaynakların ada çalışmasını engellemek için “ada çalışma engelleme korumaları” (anti-islanding protection) kullanılmalıdır.

5. Ada Çalışma Koruma Sistemi

Güç elektroniği arayüzlü kaynakların düşük kısa devre katkı akımı sebebiyle bir çok ülkede ada çalışma standartlarla yasaklanmıştır. Bu koruma çoğunlukla düşük/aşırı gerilim ile düşük/aşırı frekans röleleri ile yapılmaktadır.

Fakat genel kullanımdaki eşik değerli rölelerinin yanında birçok standartta frekansın zaman ile değişme prensibine göre çalışan röle tipleri (ROCOF) de zorunludur. Ülkemizde dağıtım seviyesindeki uygulamalarda standart frekans ve gerilim röleleri kullanılırken ROCOF röleleri nadiren kullanılmaktadır. Oysaki ROCOF şebeke kaybına en güvenilir ve doğru şekilde tepki veren rölelerdir. Aşağıdaki tabloda Birleşik Krallık standardı G59/2, ve Avrupa standardı EN 5438 in ada çalışma koruma gereksinimleri karşılaştırılmıştır.

Parametreler	Birleşik krallık			Avrupa Standardı	
	G59/2		Açma Süresi	EN 50438	
	Ayarlar			Ayarlar	Açma Süresi
Düşük gerilim rölesi	Kademe1	≤200V	2,5 saniye	≤195,5V	1,5 saniye
	Kademe2	≤184V	0,5 saniye		
Aşırı gerilim rölesi	Kademe1	≥253V	1 saniye	≥264,5V	0,2 saniye
	Kademe2	≥264V	0,5 saniye		
Düşük frekans rölesi	Kademe1	≤47,5 Hz	2,5 saniye	≤47,5 Hz	0,5 saniye
	Kademe2	≤47 Hz	0,5 saniye		
Aşırı frekans rölesi	Kademe1	≥51,5 Hz	1 saniye	≥51 Hz	0,5 saniye
	Kademe2	≥52 Hz	0,5 saniye		
Kaynak kaybı (LOM) rölesi	Vektör kayması K1(a) x 6 der.		-	c	
	ROCOF K2(b) x 0,125 Hz/san		-		
Tekrar bağlantı zamanı	180 saniye			3 dakika (d) veya 20 saniye e	
a	K1=1 (düşük empedanslı şebekeler için veya 1,66-2,0 yüksek empedanslı şebekeler için				
b	K1=1 (düşük empedanslı şebekeler için veya 1,66 yüksek empedanslı şebekeler için				
c	EN 50438 Ek A ulusal standartlara referans verir				
d	Mekaniksel AC üretim için				
e	Inverter temelli sistemler için				

6. Sonuçlar

Bu bildiri kapsamında dağıtık üretim kaynakları arıza karakteristikleri tanımlanmış, koruma röleleri sınıflandırılmaları ve ETAP yazılımı ile örnek bir koruma koordinasyon çalışması yapılmıştır.

Çalışma sonucunda güç elektroniği ara yüzü kaynakların düşük kısa devre katkı akımları sebebiyle geleneksel röleler ile gereken korumanın sağlanamadığı gözlemlenmiştir. Adaptif röleler ile bu tip koruma sistemleri orta gerilim seviyesinde sağlanabilir de özellikle ciddi haberleşme sistemi yatırımı ve marketteki mevcut ürünler sebebiyle alçak gerilim seviyesinde yapılamamaktadır.

Alçak gerilim sistemlerinde bu tip DÜK lerin kullanılması durumunda standartlarda tanımlanan röleler (anti-islanding relay) ile ada çalışmanın önlenmesi gerekmektedir.

Özellikle alçak gerilim seviyesinde tam ada çalışmaya geçebilmesi için ar-ge çalışmaları devam etmektedir. Dolayısıyla bu alan ile ilgili uluslararası standartlar henüz geliştirilme aşamasındadır. Bu çalışmaların odaklandığı iki ana konu kesicilerde devrimsel bir değişim ile yük bankası, dinamik kesintisiz güç kaynağı vb. kaynaklar ile kısa devre akımını yükseltilmesidir.

7. Kaynaklar

- [1] N.Jenkins, J.B. Ekanayake, G. Strbac, "Distributed Generation", 2010.
- [2] Thomas Ackermann, Göran Anderson, Lennart Söder, "Distributed Generation: a definition", Electric Power Systems Research 57, 195-204, 2001.
- [3] ARUP, 5 minute guide, "Distributed Generation and Interconnection Standards", Haziran, 2011.
- [4] Galina Antonova, Massimo Nardi, Alan Scott, Michael Pesin, "Distributed Generation and Its Impact on Power Grids and Microgrids Protection", IEEE Protective Relay Engineers, 2012 65th Annual Conference, 10.1109/CPRE.2012.6201229, 2012.
- [5] Yrd.Doç.Dr.Mustafa Baysal, "Mikroşebekeler ve Uygulamaları", Yıldız Teknik Üniversitesi ders notları.
- [6] S. Chowdhury, S.P. Chowdhury and P. Crossley, "Microgrids and Active Distribution Networks". 2009.
- [7] ABB, Technical Application Papers No_10, "Photovoltaic plants", 2014.
- [8] Zhikang Shuai, Chao Shen, Xin Yin, Xnan Liu, Z.John Shen, "Fault Analysis of Inverter-Interfaced Distributed Generators with Different Control Schemes", IEEE Transactions on Power Delivery, Issue: 99, Page:1-1, 2017.
- [9] Frede Blaabjerg, Remus Teodorescu, Adrian V.Timbus, Marco Liserre., "Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation Systems", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Issue: 5, Pages: 1398 – 1409, 2006.
- [10] Irvin J.Balaguer, Qin Lei, Shuitao Yang, Fang Zheng Peng, Uthane Supatti "Control for Grid-Connected and Intentional Islanding Operations of Distributed Power Generation", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Issue: 1, Pages: 227, 2011.
- [11] Yıldız Teknik Üniversitesi ders notları, "Yenilenebilir Enerji Sistemleri"
- [12] E. Muljadi, V. Gevorgian, and M. Singh "Understanding Inertial and Frequency Response of Wind Power Plants", IEEE Power Electronics and Machines in Wind Applications, Pages: 1-8, 2012.
- [13] E. Muljadi and V. Gevorgian, N. Samaan, J. Li, S. Pasupulati "Short Circuit Current Contribution for Different Wind Turbine Generator Types", IEEE Power and Energy Society General Meeting, 10.1109/PES.2010.5589677, 2010.
- [14] E. Muljadi and V. Gevorgian "Short-Circuit Modeling of a Wind Power Plant", IEEE Power and Energy Society General Meeting, 10.1109/PES.2011.6039068, 2011.
- [15] ÅKE LARSSON "The Power Quality of Wind Turbines", Thesis for degree of doctor of philosophy, Department of Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, 2000
- [16] ARUP, 5 minute guide, "Connection of Medium Scale Wind Generators to Weak Rural Networks", Ağustos, 2015.
- [17] MTU Onsite Energy "Understanding Generator Set Ratings for Maximum performance and Reliability", 2013.
- [18] CATERPILLAR, "Understanding Generator Set Ratings", Ağustos, 2013.
- [19] Timothy A. Loehlein "Application of lean-burn gas generator sets in standby service", Power topic #9002, Technical information from Cummins Power Generation, 2009
- [20] ABB, "Switchgear Manual 12th edition", 2012.
- [21] www.fgwilson.com, "P1 OOP1/P11 OOE1"
- [22] www.fgwilson.com, "PG1250B2"
- [23] Juan M.Gers, Edward J. Holmes, "Protection of Electricity Distribution Networks", IET Power and Energy Series 47, 2005.
- [24] Hartmut Kiank, Wolfgang Fruth "Planning Guide for Power Distribution Plants", SIEMENS, 2011.
- [25] E.Lakervki, E.J.Holmes, "Electricity distribution network design. 2nd edition" IET Power and Energy Series 21, 1996.
- [26] John Hewitt ARD, "Understanding Power Supply Systems Module-5 Protection Part-3", ARUP Design Guides.
- [27] ABB "Electrical installation handbook. Protection, control and electrical devices". Sixth edition 2010
- [28] SIEMENS "Application Manual-Part:2 Draft Planning".
- [29] Schneider Electric, "Electrical installation handbook Part:F Protection against electric shocks", 2013.
- [30] Jacques Schonek, "Residual current devices in LV", Schneider Electric cahier technique no. 114, Şubat, 2006.
- [31] Benoît de Metz-Noblat, Frédéric Dumas, Christophe Poulain, "Calculation of short-circuit currents", Schneider Electric cahier technique no. 158, Eylül, 2005.
- [32] Sukumar M. Brahma, Jonathan Trejo, Jason Stamp "Insight into Microgrid Protection", 5th IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe, Issue: 1, Pages: 1-6, 2014.
- [33] Berkin Kara, Fatih Özveren, Ömer Usta "Aktif Dağıtım Şebekelerinin Diferansiyel Röle ile Korunması", Oturum SA-II, ELECO 2016.
- [34] J. A. Sa'ed, S. Favuzza, M. G. Ippolito, F. Massaro "Investigating the Effect of Distributed Generators on Traditional Protection in Radial Distribution Systems", PowerTech (POWERTECH), 2013 IEEE Grenoble,

DALI Protokolü ile Kontrol Edilebilen Enerji Tasarruflu LED Sürücü

Bünyamin SÖĞÜT^{1,2}

Burak FULİN^{1,2}

Fırat PARLAK¹

¹Ar-Ge Merkezi Akım Metal A.Ş., Tuzla, İSTANBUL

bsogut@akimmetal.com.tr

bfulin@akimmetal.com.tr

fparlak@akimmetal.com.tr

²Elektronik Mühendisliği Bölümü Sakarya Üniversitesi, SAKARYA

bunyamin.sogut1@ogr.sakarya.edu.tr

burak.fulin@ogr.sakarya.edu.tr

Özet

Bu projede, akıllı LED sistemlerinde, kullanılmak üzere DALI (Dijital Adreslenebilir Aydınlatma Arayüzü) protokolünü destekleyen enerji tasarruflu akıllı LED sürücüsü tasarımı bahsedilecektir. Geliştirilen bu sürücüsünün donanım kısmı; kontrol devresi ve güç devresi olarak iki farklı kart şeklinde tasarlanmış olup modüler bir yapı sağlanmıştır. Tasarlanan akıllı LED sürücüsü DALI protokolünün tüm standart gerekliliklerini yerine getirebilir niteliktedir, komut gelmediği zaman sürücüsü kendini uyku durumuna alır ve komut geldiğinde normal çalışma koşullarında komutları alır. Kısacası verilen komutlara uygun olarak ışığı açıp/kapatılabilen, aynı zamanda ışık şiddetini arttıran/azaltan veya kendine verilen senaryoları uygulayan ve bu komutlar olmadığı zamanlarda güç tüketimini azaltarak enerji tasarrufu sağlayan bir akıllı LED sürücüsü geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: DALI protokolü, LED sürücüsü, akıllı aydınlatma, enerji tasarrufu

Abstract

In this project, to be used in smart LED systems, design processes of an energy saving LED driver that supports DALI (Digital Addressable Lighting Interface) protocol are discussed. The hardware part of this developed driver; control circuit and power circuit as two different cards are designed as a modular structure is provided. At the same time, designed smart LED driver would be capable of carrying out all basic requirements of DALI protocol. In summary, a LED driver that would be able to turn on and off the light with the given commands, at the same that would be able control the intensity of the light or designate the given scenarios will be developed.

Keywords: DALI protocol, LED driver, armature, smart lighting, energy-saving.

1. Giriş

LED'lerin birçoğunun doğru akım ile çalışması tercih edilir. LED'lerin sabit akım ile çalıştırmak için AC yükünün, DC yüküne çevrilmesi gerekmektedir. AC'den DC'ye çevirme yapılırken kayıplar meydana gelmektedir ve bu kayıplar, LED sürücülere göre farklılık göstermektedir. Etkin bir LED aydınlatma sistemi tasarlamak için, yüksek verimli ve uzun ömürlü LED sürücüsüne ihtiyaç duyulmaktadır.

Enerjiyi üretiminin yanı sıra, önemli bir husus da enerjiyi verimli ve tasarruflu kullanmayı gerektirmektedir. Sınırlı enerjiyi daha kaliteli kullanmak ve işletmelere daha ekonomik bir yapı sağlamak için enerji verimliliği artırılmalıdır. Enerjiyi verimli kullanabilmek için ve bu noktada tasarrufu sağlamak için enerjiyi her yönüyle analiz edip kontrol etmek gerekmektedir. Örneğin; Şekil 1'de görüldüğü gibi LED lambalar, ampullere kıyasla bir hayli az enerji tüketmektedir, çünkü LED lambalar %90 daha az enerji harcayıp, daha fazla ışık üretmektedirler. Bu sayede enerji tasarrufu elde edilmesine yardımcı olmaktadır. [1]

60W (Şeffaf)	9W (LED)
	
710 lümen	806 lümen

Şekil 1: Halojen ampul ve LED ampul karşılaştırılması

Enerji verimliliği ve enerjinin tasarruflu kullanımı konusunda birçok otomasyon ve akıllı teknoloji çözümleri kullanılmaktadır. Aydınlatma sistemlerinin tasarruflu ve kalitesini arttıran konforlu kullanımı için akıllı hale gelmesi tercih edilmektedir. Akıllı aydınlatma sistemlerinin geliştirilmesi için en efektif çözüm; evrensel protokoller kullanılmasıdır. Bu protokollerden biri de DALI'dir (Digital Addressable Lighting Interface-Dijital Adreslenebilir Aydınlatma Arabirimi).

Aşağıdaki tabloda normal LED sürücülere göre DALI uyumlu LED sürücülerin üstünlüklerine yer verilmiştir [2].

DALI Uyumlu LED Sürücünün Normal LED Sürücülere Göre Üstünlükleri	
1	Arayüz kontrolü ile ışık seviyesi uzaktan kontrol edilebilmektedir.
2	DALI uyumlu sensörler takılarak ortamdaki aydınlığa göre ışık seviyesi ayarlanabilmektedir.
3	DALI uyumlu farklı üreticilerin LED sürücülerini aynı sistemde çalıştırabilmektedir.
4	Sürücüler tek tek veya gruplar halinde adreslenebilmektedir. Bu sayede birden fazla sürücünün kontrolü sağlanmaktadır.
5	LED armatürleri tamamen kapatmak için ilave kablolama, anahtar ya da röle bulunmamaktadır. Slave sürücüye gönderilen bir "KAPALI" komutu lambanın kapanmasını sağlamaktadır.
6	LED armatür arızası ve ışık çıkışı seviyesi gibi iki yönlü bilgi sorgulanabilmektedir.
7	Işık şiddetindeki artış ve azalışlar logaritmik olarak yapılmaktadır. Bu sayede insan gözü ışık seviyesi arasındaki geçişleri algılayamamaktadır.
8	Birçok özellik programlanabilmektedir. Örneğin, maksimum ve minimum çıkış seviyeleri yapılandırılabilir. Geçiş süresi, herhangi bir zamanda programlanabilmekte ve değiştirilebilmektedir.

Tablo 1 : DALI Uyumlu LED sürücünün Üstünlükleri

2. DALI (Dijital Adreslenebilir Aydınlatma Arabirimi)

DALI, IEC 62386 teknik standardına uygun ve aydınlatma sistemleri için geliştirilmiş bir iletişim protokolüdür. DALI protokolü ile çalışan cihazlar kablolu bir şekilde DALI hattı üzerinden birbirine mesaj gönderirler [3]. Master cihaz ve sürücü(slave) arasında iletişim için DALI protokolü kullanılır. Master cihaz, gelen verilere göre sürücüye bağlı armatürün kontrolünü (ışık seviyesi, kapatma, açma, ara yüzden gönderilen senaryoları uygulama, DALI uyumlu sensörler ile kumanda edilebilme...) sağlamaktadır [3]. DALI Uyumlu LED sürücü; DALI sistemlerine uygun, yüksek verim ve aydınlatma sistemlerinde enerji tasarrufu sağlamaktadır. Ülkemizin bu alanda bir çözümün eksik olması bu projenin önemli bir amacı olmuştur.

2.1. DALI Protokol Tanımı

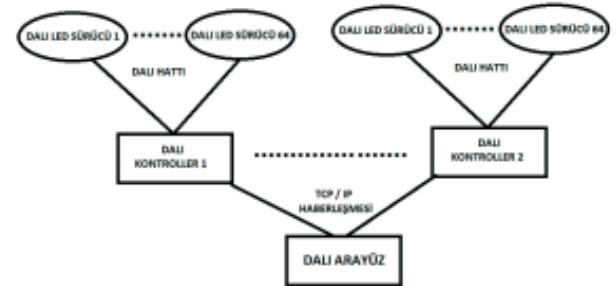
Basit bir DALI ağı en az bir master, en az bir adet DALI sürücü(slave) ve en az bir adet DALI güç kaynağından oluşmaktadır. Master; DALI hattındaki tüm aydınlatma ekipmanlarını tek tek, gruplar halinde veya "broadcast"

denilen yöntemle tümünü kontrol (ışık şiddetini kapatmak, açmak, azaltmak, arttırmak, istenilen senaryolar da kontrol) etmektedir. [3]

Tüm bu değerler değiştirebilirken hatta gönderdiği komutlarla bu aydınlatmaların güç seviyesi değerlerini, lambalarda arıza olup olmadığının bilgisini de alabilmektedir. Master ekipman bir bilgisayar yazılımı olabileceği gibi; duvar anahtarları ve algılayıcılar(sensörler) da birer master ekipmanı olabilir [3]. Örneğin ışık algılayıcısına düşen ışığın şiddetine göre algılayıcı bağlı olduğu DALI hattına direk müdahale ederek, ayarlanmış bir aydınlatma cihazı ya da bir grubu kontrol edebilmektedir.

DALI cihazların ayarları da yine DALI hattı üzerinden yapılmaktadır. Aydınlatma komutlarının yanında protokolüne tanımlı ayarlama komutlarıyla adresleme, ağa dahil etme, cihaz tarama işlevleri yerine getirilmektedir.

DALI ağında her bir aydınlatma cihazının 0 ile 63 arasında bir adresi vardır. Yani bir DALI master cihazı en fazla 64 sürücü cihazı kontrol edebilmektedir. Daha fazlası olursa ne yapacağız sorusunun cevabı ise; birden fazla master kullanılıp, her bir master ağını birbirinden izole edip, 64 master'a kadar aydınlatma ekipmanı kullanılmaktadır. [4 5]



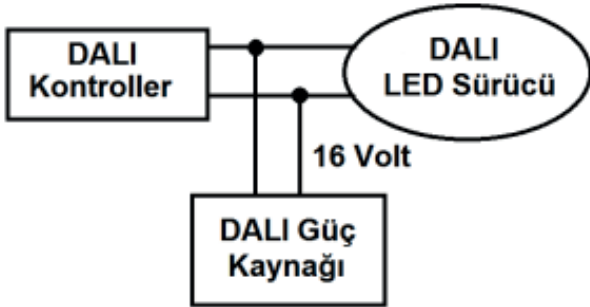
Şekil 2: DALI Master-Slave bağlantısı

DALI master cihazı ile aydınlatma ekipmanı arasında DALI haberleşmesi kullanılırken, DALI master cihaz ile otomasyon yazılımı tercihen TCP/IP ile haberleşmektedir. Ürünün tasarımına göre TCP/IP değil de farklı bir yöntem de seçilebilmektedir. 64 adet cihaz adresinin yanında, 16 adede kadar cihaz grubu yaratılabilmektedir. Cihaz grupları birden fazla aydınlatmanın aynı ortamda veya farklı ortamlarda olduğu durumlarda kullanılabilir. [4 5]

2.2. Elektriksel Özellikler

DALI master ile DALI sürücü(slave) arasında haberleşme çift kablo ile sağlanmaktadır. DALI hattında polarizasyon kısıtlaması yoktur ve data haberleşmesini sağlayan kablo için "+" veya "-" durumu yoktur. [6] Çoğu haberleşme protokollerinin aksine, hattaki haberleşme beslemesi cihazlardan değil ayrı bir güç kaynağı donanımından sağlanmaktadır.

DALI güç kaynağı hatta 16 – 22,5 Volt arası potansiyel fark oluşturmaktadır. 16 Volt'un altında okunan değerlerde haberleşme hattında bir kaçak ya da farklı bir problem olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin; 22,5 Voltluk bir güç kaynağı kullanılıyor ise, hatta ölçüm yapıldığında en fazla 2 volt kayba izin verilmektedir. (Yaklaşık 20,5 V) [7 8]



Şekil 3: DALI Blok Şeması

DALI cihazları hattı beslemediği için hattaki gerilim seviyesini "0" a çekebilmek için; DALI hattı kısa devre edilmelidir. DALI standartları gereği, güç kaynağı maksimum 250mA akım sağlamalıdır. Bu düşük akım ile sınırlanmasının amacı; DALI donanımları hattı kısa devre yoluyla anahtarlama yaptığında, fazla akım çekip kendi donanımlarına zarar vermemesidir.

DALI ağında tüm aydınlatma donanımları aynı hat üzerinden haberleşmektedir. Kablo hattının uzunluğu 300 metreyi geçmemelidir. Hat uzunluğuna göre kablo kalınlıkları Tablo 1'de verilmiştir. [7]

Hat Uzunluğu	Kablo Kalınlığı
0-100 metre	0,5 mm ²
100-150 metre	0,75 mm ²
150-300 metre	1.5 mm ²

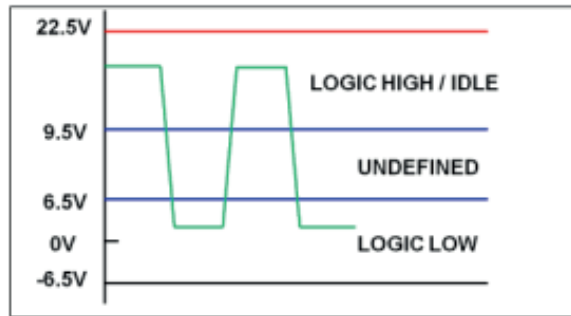
Tablo 2: Hat uzunluğu kablo kalınlıkları

Yukarıda belirtildiği gibi güç kaynağı maksimum 250 mA akım sağlamalıdır. Teorik olarak her bir DALI cihazı 2mA akım çekecek şekilde tasarlanmalıdır. Hat için kullanılan kablo 600V izole olmalıdır. Hat ne kadar asenkron haberleşme standartlarından biraz farklı da olsa, haberleşme ikili sayı sistemi (0-1) ile sağlanmaktadır, yani mantık

seviyeleri önemlidir. DALI'de kullanılan mantık değer tablosu aşağıda verilmiştir. [9]

Gerilim Aralığı	Mantık Değeri
0±6.5 V	0
16±6.5 V	1
6.5 V – 9.5 V	Tanımsız

Tablo 3 : Mantık Değer Tablosu

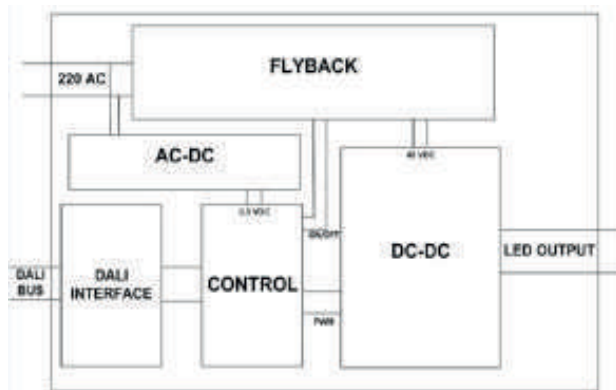


Şekil 4: DALI Elektriksel Özellikleri

3. DALI Uyumlu LED Sürücü

DALI uyumlu LED sürücü aydınlatmayı akıllı bir şekilde kontrolünü sağlamakta ve LED armatürleri, uzaktan bilgisayar ara yüzü, kumanda ve algılayıcılar yardımı ile kontrol edebilmektedir.

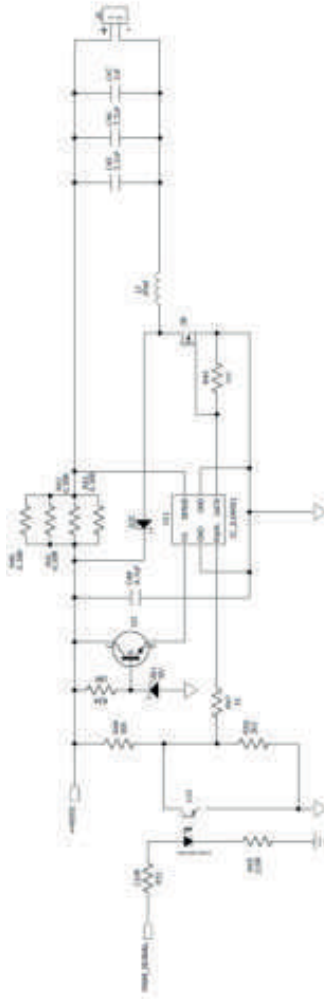
LED sürücü, ana güç aktarım devresinden bağımsız bir güç devresi ile beslenen bir mikrodenetleyici kontrolünde çıkış akım değerini değiştirerek sabit akım veren bir sürücü devresidir. Mikrodenetleyici bağımsız bir devre ile beslendiğinden dolayı, bekleme durumunda güç tasarrufu için ana güç aktarım devresini kapatabilmektedir. Bu sayede aydınlatma sistemlerinde enerji tasarrufunu sağlamaktadır. Aynı zamanda kontrol kartı çeşitli ara birimler ile dış dünyadaki haberleşme protokollerine bağlanabilmektedir.



Şekil 5: DALI Sistem Tasarımı

3.1. Flyback ve DC-DC Tasarımı

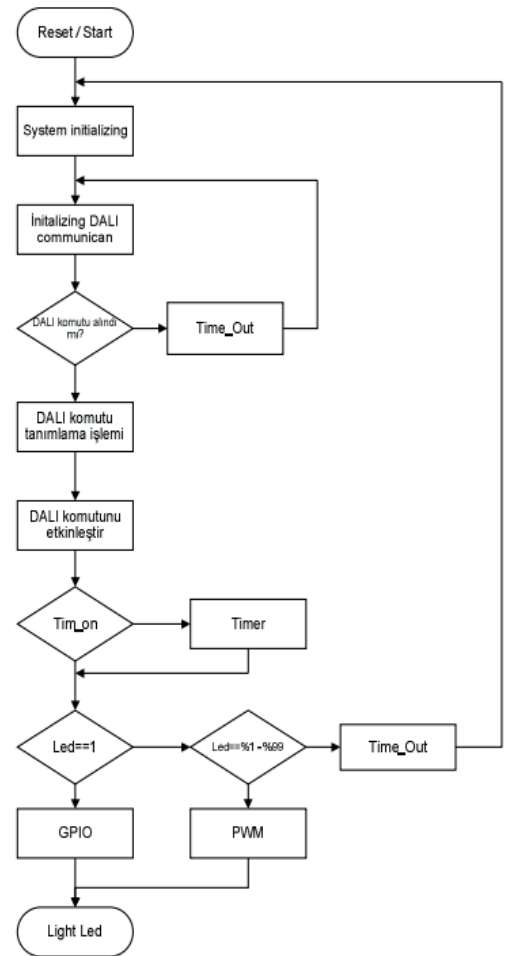
Flyback devresi karartma yeteneğine sahip DC/DC devresine izole edilmiş sabit bir gerilim sağlamaktadır. Ana güç aktarım devresinden gelen izole edilmiş sabit gerilimi kullanarak, düşük çıkış akımlarında bile kırışıma yapmayacak şekilde, sabit akım ile çıkışa bağlanan LED yükü beslenir.



Şekil 6: DC-DC Tasarımı

3.2. Mikrodenetleyici Kontrol Kartı Tasarımı

DALI hattından gelen komutlar mikrodenetleyicide işlenmekte ve verilen komuta göre ışık seviyesi azaltılıp artırılıp, açma, kapatma ve istenilen senaryo işlemleri yapılmaktadır. Kontrol kartının ayrıca bekleme durumunda iken ana güç aktarım devresini, güç tasarrufunu sağlamak amacı ile kontrol kartından gelen işaret ile kapatabilmektedir. Mikrodenetleyici bağımsız bir şekilde beslendiği için cihaz bekleme durumunda iken bile DALI hattından gelen işaretleri algılayabilmektedir.



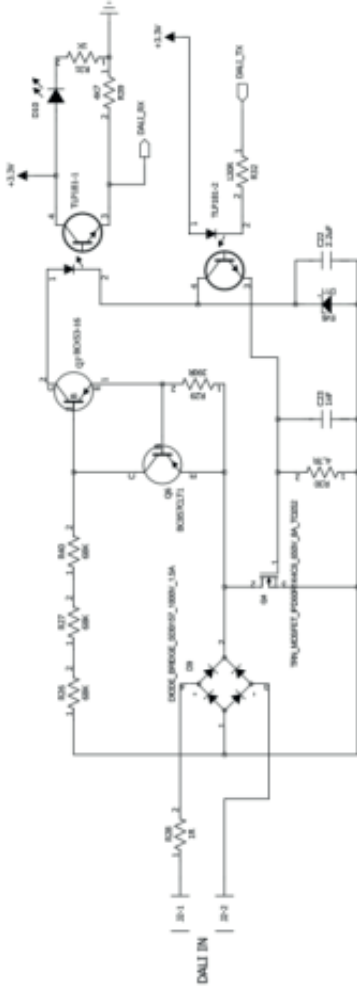
Şekil 7: Kontrol Sistemi Akış Şeması

3.3. DALI Donanım Kartı Tasarımı

DALI hattından gelen işaretler ile mikrodenetleyici arasında protokole uygun ve izoleli olarak bulunan donanım tasarımıdır.

3.3.1. Sistem Tanımı

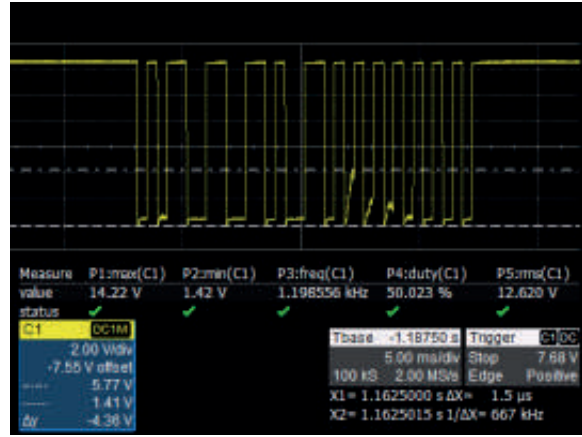
DALI hattından gelen komutlar mikrodenetleyicide işlenmekte ve verilen komuta göre ışık seviyesi azaltılıp artırılıp, açma ve kapatma işlemleri yapılmaktadır. Mikrodenetleyici bağımsız bir devre ile beslendiğinden dolayı bekleme durumunda güç tasarrufu sağlamak için ana güç aktarım devresini kapatmakta ve ana güç aktarım devresi kapalı durumda olsa bile DALI hattından gelen işaretlerini algılayabilmektedir. Detaylı olarak Şekil 8'de DALI hattı ile mikrodenetleyici arasındaki tasarıma yer verilmiştir. DALI hattı devreye iki yönlü bağlanabilmektedir. Bu sayede girişe köprü diyot konularak istenilen pozitif işaret seviyesinin devreye bağlanması gereken yer ayarlanmaktadır. DALI hattında bulunan işaret ile mikrodenetleyici arasında izolasyon olmak zorundadır. Bu izolasyon optokuplör yardımı ile sağlanmaktadır.



Şekil 8: DALI Donanım Ara yüz Devresi

4. Uygulama Sonucu

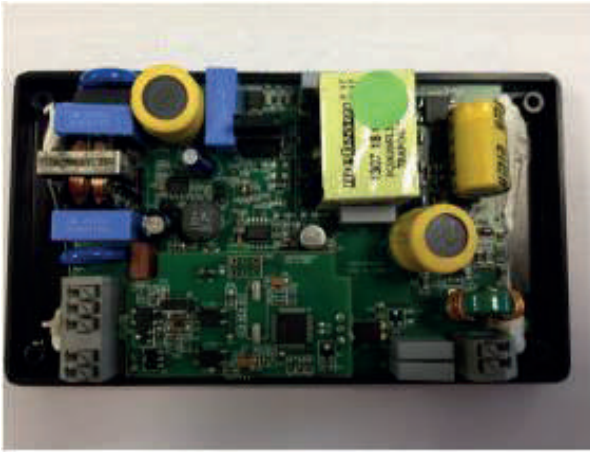
Deneysel ortamda çalışma yapılırken alınan osiloskop görüntüleri aşağıda verilmiştir. İşaret incelendiğinde gerilim seviyesinin maksimum 14.22 V olduğu, minimum değeri ise 1.42 V olduğu görülmektedir. İşaretin lojik sıfır olan tarafları imleç ile incelendiğinde imlecin maksimum noktası 5.77V olduğu görülmektedir. Bu da DALI standartlarına göre 6.5V altı sıfır, 9V üzeri bir işareti kabul edildiği için herhangi bir sorun teşkil etmemektedir. Yapılan donanım ve yazılım tasarımı sonrasında, DALI hattına bağlı cihazın verilen DALI komutlarını gerektiği gibi gerçekleştirebildiği görülmüştür. Bu sayede teorik olarak verilen bilgiler deneysel olarak doğrulanmıştır.



Şekil 9: DALI Haberleşme İşareti

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, DALI kontrollü enerji tasarrufu sağlayan bir LED sürücü sistemi tasarlanmış ve başarıyla deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Basit yapısı ve düşük maliyetine göre sistemin kararlı bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Tasarlanan devrenin, farklı markalara ait master cihazlar ile haberleştirilmesi sağlanmış ve DALI'nin gerekli standartlarını yerine getirdiği gözlemlenmiştir. Son olarak, yapılan deneyler sonucunda tasarlanan sürücünün, hem kullanılan malzemelerin düşük maliyeti ve tedarik kolaylığı, hem de sistemin kararlılığı nedeniyle pratik uygulamalarda güvenli bir şekilde kullanılabilceği anlaşılmıştır.



Şekil 10: DALI Uyumlu LED Sürücü

Karartma seviyesi	Giriş Gerilimi	Çıkış Gerilimi	Çıkış Akımı
100%	220 V	29,7	796 Ma
50%	220 V	23,2	335mA
5%	220 V	21,7	27mA

Tablo 4: Sürücü Giriş/Çıkış Değerleri

Kaynaklar

- [1] www.philips.com.tr/a-w/about/news/archive/standard/news/press/2015/20150730_Philips_ten_yanlis_bilinen_LED_gercekleri
- [2] <http://www.dali-ag.org/discover-dali/dali-applications>
- [3] DALI Manual, DALI AG of ZVEI, Division Luminares, 2001
- [4] Topalis.E, Orphanos.G, Koubias.S, apadopoulos.G, "Ageneric network management architecture targeted to supphome automation networks and home Internet connectivity," Consumer Electronics, IEEE Trans. vol. 46, no. 1, 2000.
- [5] Huadong Li, Mingguang Wu, Yufang Zhong, "Development and Research of Lighting System Based on DALI," IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2008, pp. 1302 – 1307, June 2008.
- [6] Yuejun Zhang; Ping Zhou; Mingguang Wu "Research on DALI and Development of Master-Slave module" IEEE Conference on Networking, Sensing and Control August 2006
- [7] C. Contenti, "Digitally Addressable DALI Dimming Ballast," IEEE Applied Power Elect. Conf., Dallas, Texas, March 2002.
- [8] Ma, Yuan, Wobschall, Darold, "A Sensor Network for Buildings Based on the DALI Bus," Sensors Applications Symposium, 2007. SAS '07. IEEE, pp. 1 – 3, 6-8 February 2007.
- [9] Microchip, Application Note, AN1465, Digitally Addressable Lighting Interface (DALI) Communication, Microchip Technology Inc. 2012.

DOĞUŞ HİMOTA İNSANSIZ DENİZ TAŞITI

Nuri Tüzel¹, Gürcan Şahin Akıncı¹, Dilek Tükel¹

¹Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü
Doğuş Üniversitesi
dtukel@dogus.edu.tr

Özet

İnsansız deniz araçları, insanlı araçlarla yapılamayacak askeri operasyonlarda veya insan hayatını riske eden görevlerde yer alabilmektedir. Projemizin hedefi Raspberry Pi 3 kullanarak insansız deniz aracı yapmaktır. Aracımız operatör tarafından manüel olarak veya önceden belirlenmiş yörüngeleri otomatik olarak takip edebilme yeteneğine sahiptir.

Abstract

Unmanned sea vehicles have the potential, and in some cases the demonstrated ability, to reduce risk to manned forces to accomplish military missions, perform tasks. Our project mission is to develop an unmanned sea vehicle that have onboard PC-based Raspberry Pi 3 controller. Dogus Himota USV can be operated manually or it can follow autonomously predetermined trajectories.

1. Giriş

IDA'lar (İnsansız deniz araçları) bir operatör olmadan seyir/sefer yapabilen otonom araçlardır. Günümüzde küresel konumlandırma sistemleri daha kompakt, etkili ve uygun fiyatlı hale gelmesi ve yüksek bant genişlikli kablosuz veri sistemleri sayesinde insansız deniz araçları daha yetenekli hale gelmiştir. İnsansız deniz araçlarının ilk İkinci Dünya Savaşı'nda[1] kullanıldığını görürken, 1990'lı yıllarda Corfield ve Young (2006) projelerin uygulamaların çoğaldığı görülüyor. Bu gelişmeler kısmen teknolojik ilerlemeye bağlı, aynı zamanda ABD Deniz Kuvvetleri'nin deniz savaşları ve terörle mücadele üzerine odaklanması ile sürüyor. İkinci Körfez Savaşı'ndaki IDA'ların başarıyla gerçekleştirilen misyonları bu alana ilgiyi arttırdı ve diğer ülkelerin modern deniz kuvvetleri de bunu takip etti. Günümüzde var olan IDA'lar küçük torpido büyüklüğündeki veri toplayıcılardan büyük insansız gemilere kadar değişmektedir.

İlk insansız deniz aracı (IDA), 1946 yılında, Amerikan donanmasında radyoaktif su örneklerinin toplanması ile başlamıştır. 1950'lerin başındaki ABD Deniz Kuvvetleri Maden Savunma Laboratuvarında, uzaktan kumandalı bir mayın temizleme botu yapmış ve test etmiştir. 1960 yılında, radyo kontrollü drone tekneler mayın temizleme işlemleri için

kullanılmıştır[2,3]. Bu tarihlerde yine füze ateşleme uygulamaları için uzaktan kumandalı "aviationrescue" teknelerine dayanan hedef drone teknelerini kullanıyordu. (Şekil 1)



Şekil 1 II. Dünya Savaşı sonrası kullanılan IDA'lar[4]

1985 yılında, ilk modern IDA "The Owl-Baykuş" , International Robotic Systems Inc tarafından jet-ski tabanlı etrafında tasarlanmıştır. Deniz gücünün askeri, ticari ve ulaşım uygulamalarında çok önemli bir faktör olması, askeri ve deniz tabanlı araştırma enstitülerinden insansız deniz araçlara büyük ilgi uyandırmıştır.

1995 Navtec A.Ş., radar tabanlı engel kaçınma sistemi ile birlikte küresel konumlandırma sistemi (GPS) ve pusula kullanarak tamamen otonom navigasyon sistemi geliştirilmiştir. Orta Doğu'da 1995 yılında, MK II , Dünya üzerinde ilk defa gerçek bir görevle konuşlandırılacak ilk IDA oldu. IDA'ların gelişimine katkıda bulunan pek çok akademik araştırma projeleri vardır. Bu projelerde, çeşitli katamaran tipi IDA'ları geliştirilmiş. Bu IDA'lara İtalyanların geliştirdiği katamaran IDA SESAMO'yı örnek verebiliriz . 2004 yılında, Plymouth Üniversitesi Deniz ve Endüstriyel Dinamik Analizi (MİDAS) Araştırma Grubu, çift gövde bir katamaran olan Springer tasarlanmıştır . Springer araştırma programında, yeni gelişmiş akıllı entegre navigasyon sistemi ve otomatik pilot (IINA) sistemini oluşturmayı amaçlanmıştır. IDA'lar da, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımı uzun görevler için

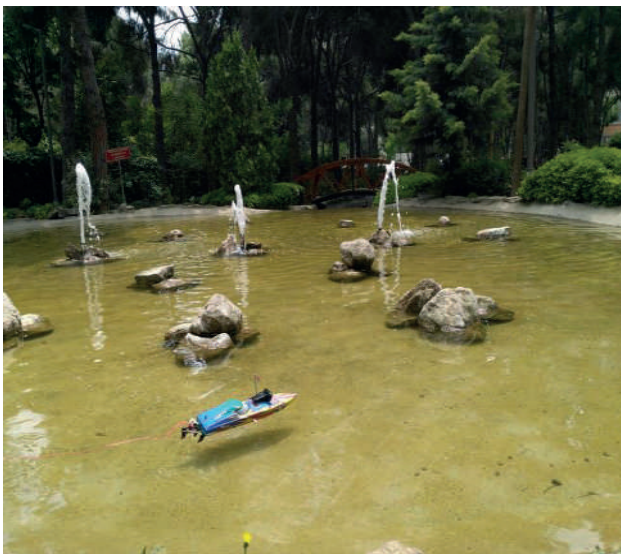
çok önemlidir. Pasifik okyanusunu geçen dalga enerjisi çalışan IDA "Wave Glider" bu yeteneğine sahipti. 2012 yılında, bugüne kadar bir IDA tarafından denen en uzun mesafe geçmiştir

Bugün IDA'lara üzerinde askeriye, üniversiteler ve şirketler çalışmaktadır. Bu çalışmalar başlıca haritalama, savunma ve genel robotik araştırmaları içerir. Doğu üniversitesinde 2012 yılında başlatılan projede keşif ve gözetim amaçlı açık denizde, merkeze dönmeden, mümkün olan en uzun süre kalabilecek İnsansız deniz aracı geliştirilmiştir. Uzaktan kumandalı sistemde, enerji kaynağı güneş enerjisidir. Şekil. 2'da, Doğu-USV'nin deneme çalışmaları görülmektedir.



Şekil 2 Doğu Üniversitesi insansız deniz taşıtı-2012 yılı Aydos göleti test çalışmaları[6]

Bu projenin devamı olarak, otonom çalışmaya üzerine yoğunlaşmış, denemelerde kolaylık sağlaması için bu proje kapsamında daha küçük boyutla bir sistem tasarlanmıştır.



Şekil 3: Kriton Curi Parkı testi

2. Sistem Elemanları

Doğu Himoto IDA hem uzaktan kumanda hem de otonom olarak çalışabilecek şekilde tasarlandı. Gövde seçiminden sonra kontrol sistemi olarak Raspberry Pi 3 seçildi. Sisteme aynı zamanda izleme görevi için gerekli olabilecek kamera ilave edildi.

2.1. Araç Gövdesi

Himoto Marka RC Tekne(Şekil 4) boyutundan dolayı projemiz için seçildi. Kullanılan elektronik araçlar tam olarak bu modele sığırdı. Teknemizin boyutlar Tablo 1'deki gibidir.

Tablo 1: Doğu Himoto Tekne boyutları

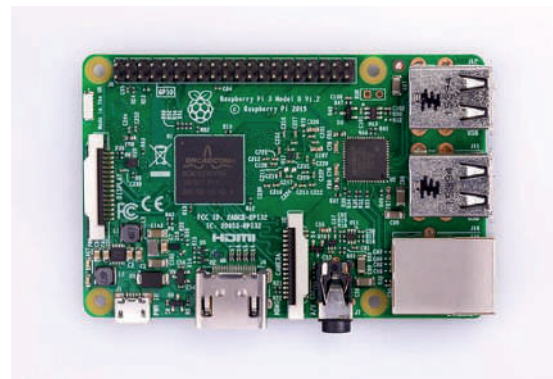
Araç boyutları	
Uzunluk:	480mm
Genişlik:	118.5mm
Yükseklik:	150mm



Şekil 4 Himoto Bot

2.1.1. Raspberry Pi ve Python

Raspberry Pi, Birleşik Krallık'ta Raspberry kuruluşu tarafından geliştirilen bir mini bilgisayardır[5]. Raspberry Pi, normal bir bilgisayara göre oldukça ucuz olduğu için okullarda temel bilgisayar eğitimi ve gelişmekte olan ülkelerde programlama için kullanılmaktadır. Raspberry Pi'de normal bir bilgisayarda ne yapabiliyorsanız aynıını yapabilmektesiniz. Projemizde kullandığımız model Raspberry Pi 3 an itibarıyla en güncel modeldir.



Şekil 5: Raspberry Pi 3

Python, Raspberry Pi için harika ve güçlü bir programlama dilidir. Python ile kod yazmak oldukça hızlı ve kolaydır.

2.2. Kamera:

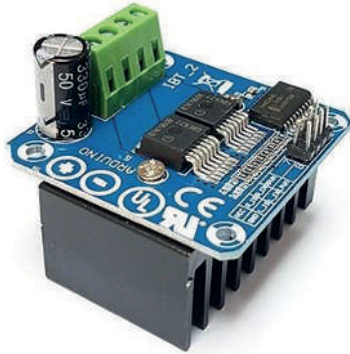
Projemiz için USB kamera (Şekil 6) seçildi. Bunun sebebi USB ile direkt olarak Raspberry Pi 3'e bağlanmasıdır, Kamera için yazılım ve konfigürasyon, bölüm 3.4 'de anlatılacaktır.



Şekil 4: Kamera

2.3. DC Motor Sürücüsü:

BTS7960B(Şekil 7) yüksek akımda çalışabilen çok güçlü bir motor sürücüdür. Raspberry Pi'yi oluşabilecek hasarlardan korur. 40 amperlik bir sürücüdür. PWM mantığı ile çalışmaktadır. Projemizde kullanılan motor çok güçlü olduğu için bu sürücü seçilmiştir.



Şekil 7: DC Motor Sürücüsü[7]

2.4. Servo Motor&Dc Motor:

Dümeni kontrol etmek için servo motor (Şekil 8) , tekneyi hareket ettirmek için DC Motor kullanılmıştır



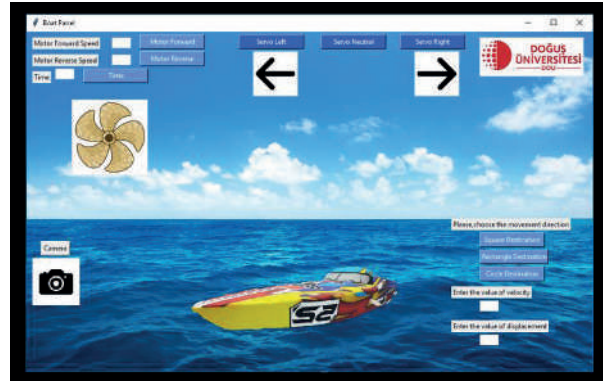
Şekil 8: DC ve Servo Motor

3. Çalışma Senaryosu

İnsansız deniz aracımız, kullanıcının kontrol cihazı(bilgisayar, telefon veya tablet) ile Raspberry Pi, Wifi ile haberleşerek verilen komutu gerçekleştirmektedir. Bu komutlar hız, süre ve yön gibi değerler içerirken aynı zamanda otomatik rotalar da içermektedir. Otomatik rotalar tek bir tuş ile gerçekleştirilmektedir.

Bu bölüm iki kısma ayrılmaktadır:

1. Kullanıcı Girişli Rota
2. Önceden Belirlenmiş Rota



Şekil 9: Kontrol Paneli

3.1. Kullanıcı Girişli Rota

Tekne,kullanıcı tarafından verilen hız ve süre gibi veriler ile ileri,geri,sol ve sağ hareketlerini yapabilmektedir. Şekil 8'de kullanıcı girişli buton ve alanlar görülmektedir.

Teknenin hız kontrolü PWM sayesinde gerçekleştirilmektedir. Tekne fazla duty cycle verildiğinde hızlı, az duty cycle verildiğinde yavaş hızda gitmektedir.

Servo kısmı dümen içindir. Servo da PWM sayesinde kontrol edilmektedir. 8.5 duty cycle servonun doğal durumudur. 12.5 duty cycle ise servo için sağ komuttur. 2.5 duty cycle ise servo için sola dönüş değeridir.

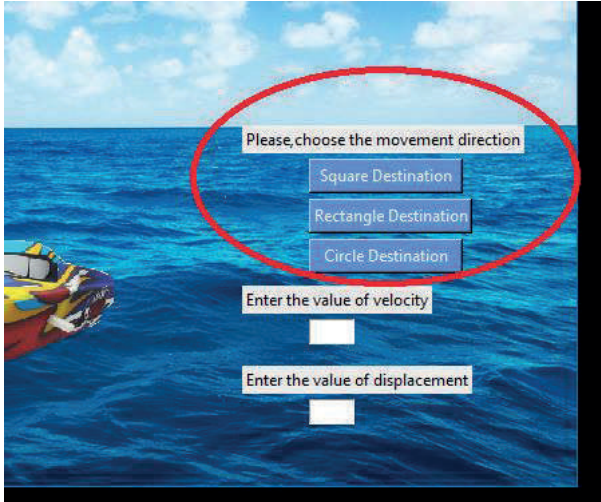


Şekil 10: Kullanıcı girişli kontrol kısmı

3.2. Önceden Belirlenmiş Rota

Aracımız önceden sisteme eklenmiş olan rotaları gerçekleştirebilmektedir.

Sisteme toplamda farklı geometric şekillerde yörüngeler izletilebilmektedir (Şekil 11).



Şekil 11: Önceden belirlenmiş rota kısmı

Kullanıcı rota butonlarından birine basarak, seçtiği rotayı gerçekleştirebilir. Örnek olarak, kullanıcı çember butonuna basarsa tekne bir çember çizer.

Bu kısmın avantajlarından birisi kullanıcıya aracı kontrol etmede rahatlık sağlamasıdır. Ayrıca sisteme hız, yer değiştirme ve çap gibi özellikler eklenmeye çalışılmaktadır.

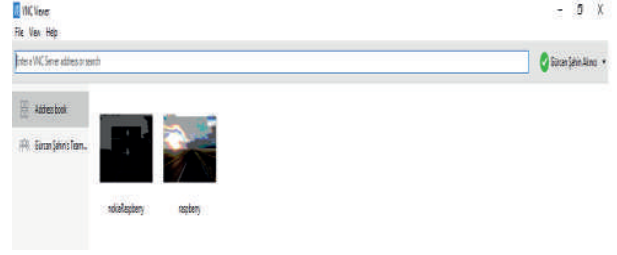
3.3. Raspberry Pi Haberleşmesi

VNC, grafiksel WIFI kontrol sistemidir. VNC sayesinde WIFI ile Raspberry Pi'yi bilgisayar veya mobil bir cihaz ile kontrol edebilirsiniz. VNC çok hızlı ve güvenli bir bağlantı sağlamaktadır. Bunun sebebi bağlantının Raspberry pi'nin özel IP'sine bağlanmasıdır. Projemizde kullanıcı, kontrol arayüzüne ulaşmak için özel IP adresini girmelidir (Şekil 12).

Bu komutlar Raspberry Pi'de terminal kısmına yazılır.

- sudo apt-get update
- sudo apt-get install realvnc-vnc-server realvnc-vnc-viewer

Bu komutlar sayesinde VNC, Raspberry Pi'ye yüklenir. Ayrıca Raspberry Pi'ye bağlanacak kontrol cihazında da VNC'nin bulunması gerekmektedir ve kontrolcü ile Raspberry Pi aynı ağa bağlı olmalıdır.



Şekil 12: VNC Server Giriş Ekranı

3.4. Kamera Haberleşmesi

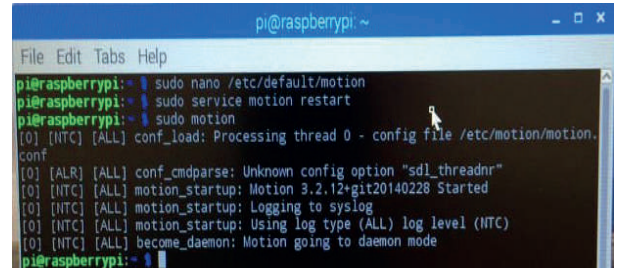
Kamera, Raspberry Pi'nin IP adresine internet aracılığı ile bağlanarak çalışmaktadır. Kameranın kurulumu için ilk olarak terminal kodlarının (Şekil 13) girilmesi gerekmektedir. Kamera servisi olarak Raspberry'de bulunan Motion programı kullanılmaktadır. Terminal bölümünden sonra ana programda python kodlarının yazılması gereklidir.

#Kamera URL.IP adresi internet sağlayıcısı tarafından değiştirilebilir. Bunu engellemek için internet sağlayıcısından statik IP alınabilir.

url = 'http://192.168.137.101:8081'

#Kamera Buton Fonksiyon

```
def OpenURL():
    webbrowser.open_new(url)
```



Şekil 13: Kamera Terminal Kısmı

3.5. Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (GUI)

Grafiksel kullanıcı arayüzü, kullanıcının elektronik elemanları grafiksel butonlarla kontrol etmesini sağlayan bir arayüz şeklidir.

Bu proje için son arayüz, Python programla dili ile yazıldı ve grafik arayüzü için Tkinter modülü kullanıldı. Bu sayede kolayca kameraya ulaşılabildi.

4. Denemeler

Aracın testleri, Kriton Curi Parkı'nda yapıldı. İnsansız deniz aracı, dalgalı ve durgun suda aldığı mesafeler test edildi ve bu testin sonuçları Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2: Ölçümleme Verileri

Hız (Duty Cycle)	Süre(saniye)	Su Durumu	Alınan Mesafe(cm)
35	3	Durgun	120
35	3	Dalgalı	170
50	3	Durgun	170
50	3	Dalgalı	220

Araç operatör tarafından ileri, geri, sağa dönüş ve sola dönüş komutları ile kumanda edilebilmiş. Otonom olarak da sistemde konum algılama sensörlerimiz olmadığı için ölçümlemeden elde edilen veriler kullanılarak, farklı geometrik şekillerden oluşan yörüngeler test edilmiştir.

5. Sonuç

Bu projede, RC bir tekne, insansız deniz aracı modeli olarak kullanıldı. Raspberry Pi 3 ile insansız deniz aracının kontrolü sağlandı bunun için Python programlama dili kullanıldı. İnsansız deniz aracımız ileri, geri hareketlerini, sol ve sağ dönüşlerini yapabilmektedir. Kullanıcı gidilecek hızı ve süreyi girebilmektedir. Ayrıca otomatik olarak çember, kare ve dikdörtgen rotalarını da hayata geçirebilmektedir. Son olarak kullanıcı aracın üzerinde bulunan kameraya internet aracılığı ile ulaşarak anlık görüntü alabilmektedir.

Teşekkür

Projenin temelleri atılırken bize verdikleri tavsiye ve yardımları için Yrd. Doç. Dr. Muhammed Emin BAŞAK, Yrd. Doç. Dr. Haydar BAYAR, Yrd. Doç. Dr. Eda TURAN'a ve Araştırma Görevlisi Kenan YİĞİT'e teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] J.Manley ,”Unmanned Surface Vehicles, 15 Years of Development” Battelle Applied Coastal and Environmental Services, OCEANS 2008 Sept. 2008
- [2] J.Haynes, “Unmanned Surface Vessels: From Concept to Service”, June 17, 2016.
- [3] Bertram, “Unmanned Surface Vehicles”, ENSIETA, 2 rue François Verny, F-29806 Brest, France.
- [4] E.Upton "Ten millionth Raspberry Pi, and a new kit - Raspberry Pi". 8 September 2016.
- [5] Samet Bati, Hamdi Atacan Ogul, Cengiz Karacizmeli and Dilek Tukul, "Human- Computer Interface for Dogus Unmanned Sea Vehicle”, The 5th International Robotic Sailing Conference, Cardiff, 2012
- [6] circuitbasics.com

Elektrik Dağıtım Şebekelerinin Korunmasında Yeni Gelişmeler

Recent Developments on Protection of Electrical Distribution Networks

Ömer Usta^{1,2}, Berkin Kara^{1,2}, Fatih Özveren¹, Cenk Göçer², Mustafa Özgür²

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği

ustao@itu.edu.tr, karaber@itu.edu.tr, ozveren@itu.edu.tr

² ENTES Elektronik

cgocer@entes.com.tr, hmozgur@entes.com.tr

Özet

Dağıtım şebekelerine bağlanan dağıtık elektrik santralleri, enerji depolama sistemleri ve elektrikli araba şarj sistemleri, elektrik dağıtım şebekelerinde yeni gelişmelere ve yapısal değişikliklere neden olmaktadır. Bu yapısal değişiklikler ve bu değişikliklerin yol açtığı işletme koşullarındaki gelişmeler önümüzdeki yıllarda da artarak devam edecektir. Bu durum, dağıtım sistemlerinin korunmasında zorunlu gelişimlere neden olmaktadır. Bu gelişmeler neticesinde ortaya çıkan “Entegre Koruma Sistemleri” ve diğer gelişmeler, bu makalede ele alınacaktır. Buna bağlı olarak, şebeke Entegre koruma çerçevesinde düşünülebilecek olan “Entegre Şebeke Koruma” yöntemi uygulamalı olarak ele alınacaktır.

Abstract

Today's distribution systems include increasing number of different types of embedded generation plants, energy storage systems and electric vehicles, in addition to traditional loads. These developments have changed the structure and the operating conditions of the electric distribution systems. They are now known as active distribution systems or micro-grids. It is expected that these developments and the changes in the distribution systems will be increasingly continuing. All these have also resulted in inevitable developments in the protection of power distribution systems. One of these developments is the integrated protection for distribution systems. Integrated protection systems can be divided into two groups such as “Integrated Over Current Protection” and “Integrated Unit /Network Protection”. This paper will focus on “Integrated Network Protection” of active distribution systems and includes computer simulation studies related to the unit protection of micro-grids.

1. Giriş

Aşırı akım temelli koruma sistemleri uzun yıllardan beri elektrik dağıtım şebekelerinin korunmasında yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır [1]. Radyal şebekelerin korunmasında, ölçülen akım bilgisi arıza algılamada ve röle açma/sayma zamanı ise röle koordinasyonu sağlamak için kullanılarak koruma yapılmaktadır. Çift yönlü yük akışının olduğu dağıtım şebekelerinde ise, bu bilgilere ek olarak akımın yön bilgisi kullanılarak koruma yapılmıştır [2]. Ancak son yıllarda dağıtım şebekelerine bağlanan ilişik (dağıtık) elektrik santralleri, enerji depolama sistemleri ve elektrikli araçlara ilişkin şarj sistemleri, dağıtım şebekelerinin yapısını tamamen değiştirmiştir. Dağıtım

şebekeleri aktif sistemlere, bir başka ifade ile mikro şebekelere dönüşmüştür. Dağıtım şebekelerinin bu yapıya dönüşmesi, adaptif aşırı akım koruma sistemlerinin kullanılmasını zorunlu kılmıştır [3]. Bu koruma sistemlerinde, şebekenin yapısına (konfigürasyonuna) bağlı olarak röle set/ayar değerleri otomatik olarak değiştirilmektedir. Böylece, şebekenin mevcut konfigürasyonuna göre ayar değerleri kullanılarak korumanın güvenilirliği artırılmıştır. Ancak, dağıtım sistemlerinin gittikçe daha karmaşık hale gelmesi koruma sistemlerini de daha karmaşık hale getirirken koruma güvenilirliğini de düşürmektedir.

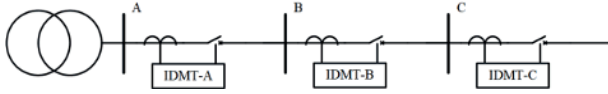
Veri iletişimi teknolojilerindeki gelişmeler ve bu gelişmelerin elektrik şebekelerine yansımaları, şebekenin farklı noktalarından alınan ölçüm değerlerinin başka noktalara ve “Koruma Merkezine” aktarılmasını mümkün hale getirmiştir. Bir noktada yerel ölçüm değerlerinin yanı sıra, bu noktaya başka bir noktadan aktarılmış/iletmiş ölçüm değerlerinin kullanılabilir hale gelmesi, koruma sistemleri kavramlarında önemli değişikliklere ve gelişmelere yol açmıştır. Bu amaçla geliştirilen IEC 61850 Veri İletişim protokolü, hem aynı şalt sahasında bulunan Akıllı Elektronik Cihazlar-AEC (Röleler, kontrolörler, şebeke analizörleri, veri toplama cihazları) arasında ve hem de farklı şalt sahaslarında bulunan AEC'ler arasında “veri/ölçüm”, “durum bilgisi” ve olay tabanlı “karar” iletişimini sağlamaktadır [4].

Bu makalede, bilgisayar ve iletişim teknolojilerine dayanarak koruma alanında oluşan ve oluşabilecek olan kavramsal gelişmeleri ve bu kavramların oluşturduğu çerçeve içerisinde kullanılabilir veya bu bağlamda geliştirilebilecek koruma teknikleri ele alınacaktır. Ayrıca, aşırı akım ve ünite koruma temelli yöntemlerin bu çerçevede mikro-şebekelerin korunmasında kullanılması uygulamalı olarak ele alınacaktır.

2. Aktif Dağıtım Şebekelerinin Korunması

Aşırı akım koruma röleleri dağıtım şebekelerinin korunmasında kullanılan temel koruma sistemleridir [5]. Aşırı akım röleleri, dağıtım şebekelerini, şebekede meydana gelebilecek kısa devre arızalarına veya aşırı yüklenme sonucunda oluşan aşırı genlikli akımlara karşı korurlar [6]. Bu röleler, kendi koruma bölgelerinden rölenin ayar değerinden I_s daha yüksek bir akım geçtiğini tespit ettiklerinde, ani olarak veya bir zaman gecikmesiyle (t_d) kesiciye açma işareti göndererek arızalı elemanı devre dışı bırakırlar [7]. Burada, röle akım ayar/eşik değeri I_s arızanın algılanması ve gecikme zamanı t_d ise röleler arası koruma koordinasyonu yapılması için kullanılmaktadır. Böylelikle, bir aşırı akım rölesi kendi koruma bölgesi için temel

koruma yaparken, akım akışı yönüne göre bir sonraki bölge için yedek koruma yapabilir. Şekil 2.1, IDMT aşırı akım rölesinin radyal bir dağıtım hattının korunmasında nasıl kullanıldığını göstermektedir.



Şekil 2.1: Tek yönlü dağıtım hatlarının klasik ters zamanlı AA rölesi ile korunması

Güç akışının çift yönlü olduğu hatlarda ve halka şebekelerde korumanın ve koruma koordinasyonunun sağlanması için, akımın ayar değeri I_s ve gecikme zamanına t_d 'ye ek olarak akımın yön bilgisine de ihtiyaç duyulmaktadır [2]. Bu sayede, çift yönlü akım akışının olduğu şebekelerin etkin korunması yapılır ve koruma güvenilirliği istenen seviyede tutulur. Bunun yanında, yönlü aşırı akım rölelerinden oluşan bir koruma sistemi, şebeke topolojisinin fazla değişiklik göstermediği dağıtım şebekelerini koruyabilir. Buna rağmen bu bilgileri içeren aşırı akım koruma sistemleri, çok noktadan beslenen mikro-şebekelerin (aktif dağıtım şebekelerinin) korunmasında yetersiz kalmaktadır.

Mikro şebekelerde, ilişik elektrik üretim sistemlerinin durumuna bağlı olarak şebeke konfigürasyonunun değişmesi, röle ayar değerlerinin değiştirilmesini gerektirmektedir [8]. Bu tip şebekelerin korunması ve koruma koordinasyonu için Adaptif Aşırı Akım Koruma sistemlerin kullanılmaktadır. Şebekenin farklı konfigürasyonlarına ilişkin farklı Set/Ayar değerleri belirlenir. Şebeke hangi konfigürasyonda çalışıyorsa, ona ilişkin koruma ayar değerleri geçerli kılınır. Konfigürasyon değiştiğinde koruma ayar değerleri de değiştirilir [3].

3. IEC61850 Protokolü Ve Entegre Koruma Sistemleri

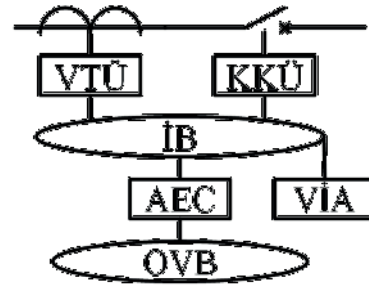
Elektrik şebekelerine yönelik uygulamalar için kullanılan çeşitli veri iletişimi protokolleri mevcuttur. Bu protokollerden birçoğu endüstriyel otomasyon için geliştirilmiştir ve elektrik şebekelerine yönelik uygulamalarda da kullanılmaktadır. Ancak IEC61850 protokolü doğrudan akıllı elektrik şebekelerine ilişkin otomasyon uygulamaları için geliştirilmiştir ve bu alanda en popüler olanıdır. IEC61850'nin ilk sürümü [9] şalt sahası içindeki akıllı elektronik cihazlar (AEC) arası haberleşme için geliştirilmiştir. Ölçüm, karar ve durum bilgilerinin şalt sahası içindeki bilgisayarlar (AEC'ler) arasında paylaşılmasını sağlamaktadır. "Entegre Aşırı Akım Koruma" kavramının gelişmesine yol açmıştır. IEC61850 yeni sürümü[10] farklı şalt sahasında bulunan bilgisayarlar (AEC) arasında veri iletişimi için geliştirilmiştir. Bu gelişme "Entegre Şebeke Koruma" kavramının doğmasına neden olmuştur.

Dijital iletişim teknolojilerindeki bu ilerlemeler, gittikçe karmaşıklaşan aktif dağıtım şebekelerinin korunmasında yeni koruma kavramlarının doğmasına önyak olmuştur. Bunlardan biri de Entegre (birleştirilmiş) koruma sistemleri kavramıdır [11]. Burada iki farklı entegre koruma sistemi ele alınacaktır. Birincisi, Şekil 2.1'de görülen "Ters zamanlı aşırı akım (IDMT) korumanın IEC61850 protokolünde tanımlanan "Veri Barası" yardımıyla geliştirilmiş bir şeklidir. "Entegre Aşırı Akım Koruma" olarak adlandırılabilir. İkincisi ise, yine aynı standartta tanımlanan "Ortak Veri Barası" kavramı yardımıyla tesis edilebilecek olan "Entegre Şebeke/Ünite Koruma" kavramıdır. Entegre Şebeke koruma, IEC6150 protokolü

üzerine oturtulmuştur ve koruma bölgesinin her iki ucundan da ölçüm alınmasını gerektiren koruma yöntemlerinden birini kullanır [12]. Bu ünite koruma yöntemleri; diferansiyel akım koruma, oransal akım koruma, yön karşılaştırmalı koruma, faz karşılaştırmalı koruma ve açma transferi şeklinde ifade edilebilir.

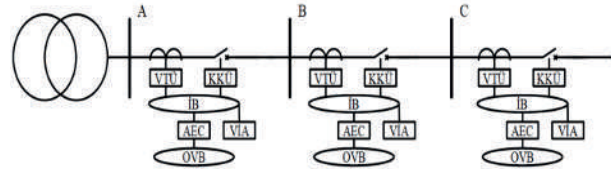
3.1. Entegre Aşırı Akım Koruma

Örnek bir Entegre Koruma Sisteminin (EKS) mimarisi Şekil 3.1'de görülmektedir. Söz konusu EKS'nin dağıtım hattına/barasına bağlantısı ise, Şekil 3.2'de verilmiştir. Akım ve gerilim trafoları vasıtasıyla, EKS'nin bağlı bulunduğu hattın her iki ucundan alınan akım ve gerilim işaretleri Veri Toplama Ünitesi (VTÜ) yardımıyla dijitale dönüştürülerek, İşlem Barasına (İB) aktarılır.



Şekil 3.1: Entegre AA Koruma Sistemi

Bu veriler, ayrıca başka amaçlar için de VTÜ tarafından paketlenilebilir. İB, söz konusu bilgileri Röleye (AEC) aktarır. Röle, uygulama programı algoritmasına bağlı olarak bu verileri değerlendirir. Her hangi bir arıza durumunda üretilen "açma işareti" Kesici Kontrol Ünitesi (KKÜ) üzerinden kesiciye aktarılır. SCADA ve işletmeye yönelik diğer bilgiler ise, Ortak Veri Barasına (OVB) aktarılır. Ölçülen arıza akımı, röle ani ayar değerinin üzerinde ise, kesiciye kontrol ünitesi üzerinden ani (gecikmesiz) "açtırma işareti" (trip) gönderilir. Eğer arıza akımı bu değer altında ve eşik değerinin üzerinde ise, ters zamanlı aşırı akım eğrilerine göre gecikmeli açma işareti gönderilir. Eğer haberleşme hattı mevcutsa EKS elde edilen yön bilgisini veri iletişim ara yüzü (VIA) aracılığı ile hattın diğer ucundaki EKS'ye iletir [11,12]. Ayrıca, eğer mevcut baraya bağlı tüm hatların akımları VTÜ'ler üzerinden entegre koruma sistemine aktarılmakta ise, eldeki veriler kullanılarak söz konusu baranın korunması da yapılabilir.

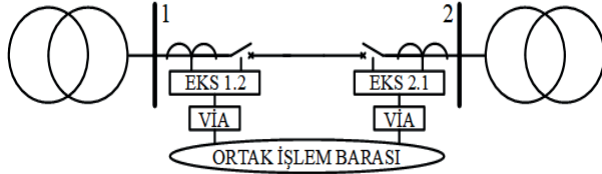


Şekil 3.2: Dağıtım hatlarının Entegre Koruma Sistemi ile korunması

Şekil 2.1'de gösterilen klasik aşırı akım fider koruma sistemi, IEC61850 haberleşme protokolü çerçevesinde yeniden ele alınarak geliştirilmiştir. Şekil 3.2'de görülen koruma düzeni şekline dönüştürülmüştür.

3.2. Entegre Şebeke Koruma

Entegre Şebeke Koruma, korunan bölgenin iki ucundan da akım ve/veya yön bilgisi gerektiren ünite koruma prensibine dayanır. Koruma bölgesinin her iki ucundan alınmış ölçümleri kullanan Entegre Şebeke Koruma, hiçbir kuşku duruma meydan vermeden arızalı hattın her iki ucundaki kesicilere gecikmesiz açtırma/trip işareti göndererek hattın çok kısa sürede devreden çıkarılmasını sağlar.



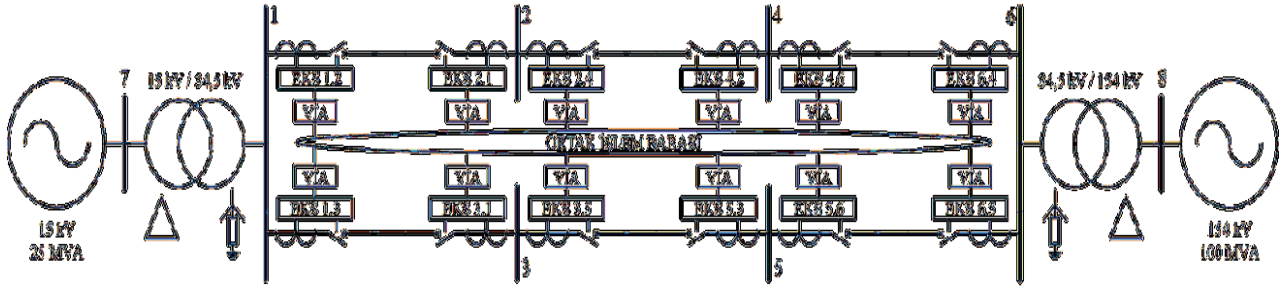
Şekil 3.3: Dağıtım hatlarının Entegre Koruma Sistemi ile Ortak İşlem Barası üzerinden korunması

Şekil 3.3'te görüldüğü üzere, eğer koruma için bir veri iletişim hattı mevcutsa, veriler VİA vasıtasıyla Ortak İşlem Barası (OİB) üzerinden hattın diğer ucundaki entegre koruma bölgesine gönderilir. Bu iletilmiş/aktarılmış veriler yerel ölçümlerle beraber entegre koruma için kullanılır. Bunun için yukarıda ifade edilen ünite koruma yöntemlerinden biri seçilebilir. Böylece uzun yıllardan beri elektrik ileti hatlarının korunmasında kullanılan yüksek hızlı ünite koruma yöntemleri, aktif dağıtım sistemleri, bir başka ifade ile mikro şebekeler, için de kullanılabilir.

4. Bilgisayar Simülasyon Çalışmaları

Ünite koruma temelli entegre koruma sistemlerinin performansını analiz etmek amacıyla Şekil 4.1'de görülen mikroşebeke analiz edilmiştir. Simülasyonlar MATLAB Simulink programı ile gerçekleştirilmiştir.

Mikroşebekede bir uca 15 kV'luk dağıtık üretim tesisi diğer



Şekil 4.1: Simülasyon çalışmalarında kullanılacak örnek şebeke ve entegre koruma sistemiyle korunması

uca ise şebekeyi temsilen 154 kV'luk bir kaynak yerleştirilmiştir. Halka şebeke olarak tasarlanan dağıtım şebekesine 4 adet 1600 kW gücünde yükler B2, B3, B4, B5 baralarına bağlanmıştır. Dağıtım sisteminde her bara arasında 10 km uzunluğunda dağıtım hatları bulunmaktadır. Her bir terminaldeki akım ve diğer bilgiler VİA yardımı ile OİB'na aktarılıp ilgili karşı uçtaki röle tarafından değerlendirilir. Böylece korunan bölgede bir arıza varsa ani açma işareti oluşturulur.

4.1. Dağıtım Şebekelerinde Oransal Akım Koruma

Oransal akım koruma yöntemi ile koruma gerçekleştirilirken her hat ayrı bir ünite kabul edilerek; hattın iki ucundaki akımların oranı ve akım fazörlerinin aralarındaki faz farkı dikkate alınır. Normal çalışma koşullarında hattın iki ucundan alınan akımların genliklerinin oranının 1, akım fazörlerinin arasındaki açının ise 180° olması beklenir. Ancak haberleşme devresinde oluşabilecek senkronizasyon gecikmeleri, akım transformatörlerinin karakteristikleri vb. gibi sebeplerden arıza olmayan durumda bile bu kriterler sağlanamayabilir. Bu sebeplerden dolayı aşağıda gösterilen Oran Fonksiyonu önerilmiştir [13].

$$OF = \frac{|I_y|}{|I_u|} - \left(a + m(|I_y + I_u|) \right) \quad (1)$$

Hattın iki ucundaki akımın genlik ve fazör değerleri kullanılarak denklem 1'in sonucu hesaplanabilir. Bu fonksiyondaki a ve m ayarlanabilen değişkenlerdir. Fonksiyonun doğru sonuç verebilmesi için denklemin ilk kısmında bulunan akımların genliklerinin oranının 1'den büyük olması gerekmektedir. Akımların fazör ve genlik değerleri denklemin yerine konduğunda eğer hat üzerinde bir arıza yoksa denklemin sonucunun negatif olması beklenir. Hattın içinde arıza olması durumunda iki uçtaki akımın genliklerinin birbirinden farklı olması veya akımların fazörlerinin arasındaki faz farkının artmasından dolayı akımların genliklerinin toplamının azalması oran fonksiyonunun pozitif olmasını sağlar. Böylece arıza tespit edilmiş olur [14].

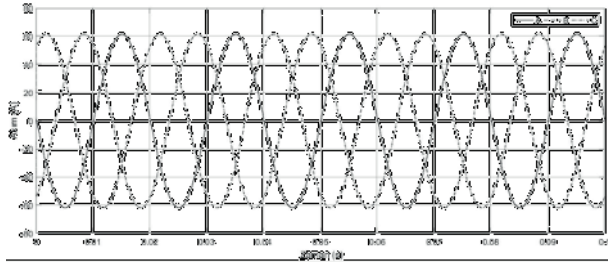
4.2. Entegre Koruma için Performans Analizi

Performans analizi yapılırken öncelikle Şekil 4.1'de belirtilen dağıtım şebekesinin B3-B5 baraları arasındaki normal çalışma koşulları incelenecek, ardından B3-B5 baraları arasında gerçekleşecek 3 Fazlı, Faz-Faz, Faz-Toprak arızaları incelenecek, son olarak da B5-B6 baraları arasında gerçekleşen

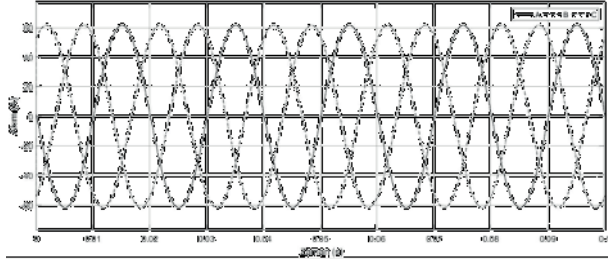
harici 3 Faz ve Faz-Faz arızaları incelenerek rölenin performansı sunulacaktır.

4.2.1. Normal Çalışma Koşulları

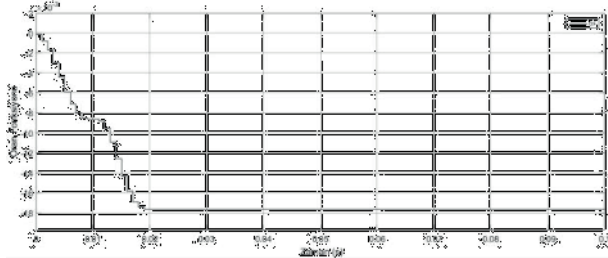
Bu kısımda dağıtım sisteminde herhangi bir arıza olmaması durumunda "Entegre Şebeke Koruma" Sisteminin (EŞKS) bu duruma cevabı incelenecektir. Şekil 4.2a ve 4.2b'de korunan bölgenin iki ucundaki akım değerleri görülebilir. Şekil 4.2c'de görüldüğü üzere oran fonksiyonu akım genlikleri ve fazörlerine göre hesaplanmış ve sistemde arıza olmadığı için negatif kalmıştır.



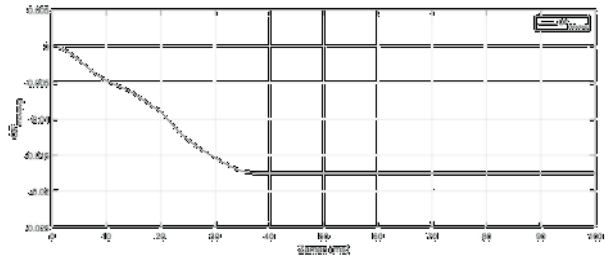
a) B3 Barasındaki 3 fazlı akımın ani değeri



b) B5 Barasındaki akımın ani değeri



c) Oran fonksiyonunun zamana göre değişimi

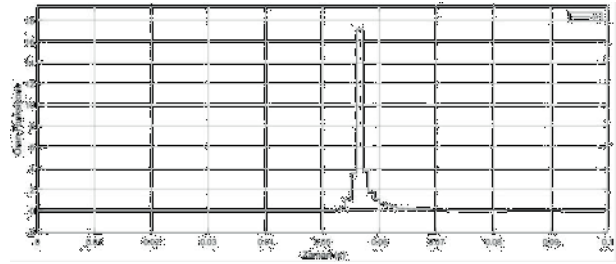


d) Yürüyen ortalaması alınmış oran fonksiyonu

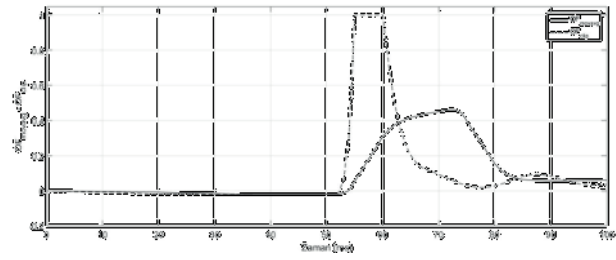
Şekil 4.2: Normal çalışma koşullarında EŞKS'nin cevabı

4.2.2. Dahili Arızalar Durumu

Bu kısımda sırasıyla Şekil 4.1'de tek hatta gösterilen koruma bölgesindeki dahili arızalara ilişkin performansı incelenecektir. Şekil 4.3a'da görüldüğü üzere EKSS arıza 50 ms'de başladıktan sonra kısa süre içerisinde arızayı tespit etmiştir. Ancak OF'nin ani biçimde artması hatalı açmalara sebep olabileceği için değerinin sınırlandırılması ve yürüyen ortalamasının alınması gerekmektedir. Şekil 4.3a'da 1 değerinde sınırlandırılmış ve yürüyen ortalaması alınmış OF görülmektedir. EKSS'nin 3 Fazlı, Faz-Faz, Faz-Toprak ve yüksek empedanslı arızalara verdiği cevaplar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

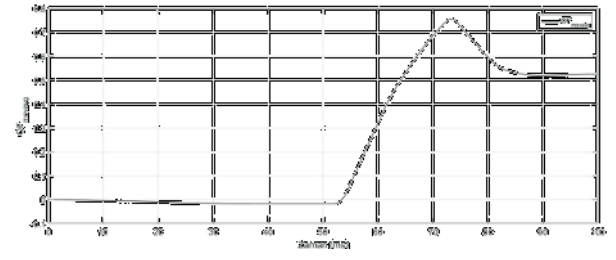


a) Oran fonksiyonunun zamana göre değişimi

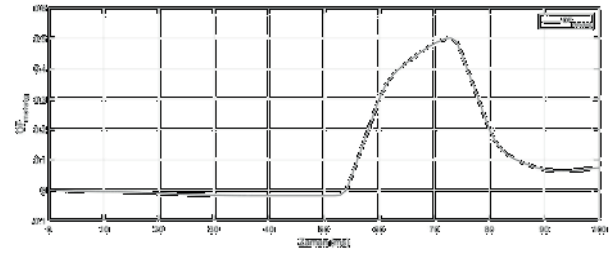


b) Yürüyen ortalaması alınmış oran fonksiyonu

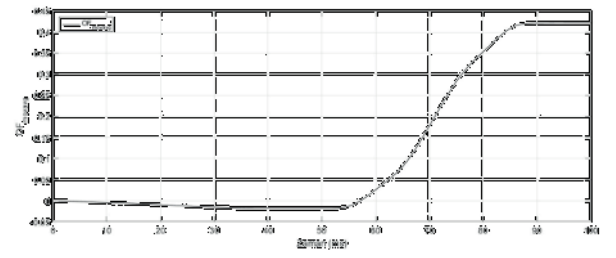
Şekil 4.3: Dahili 3 faz arıza koşullarında EŞKS'nin cevabı



Şekil 4.4: Dahili faz-faz arızada EŞKS'nin cevabı



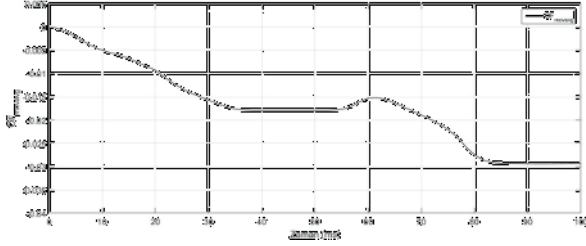
Şekil 4.5: Dahili faz-nötr arızada EŞKS'nin cevabı



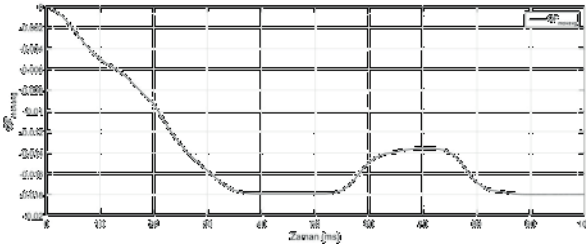
Şekil 4.6: Yüksek empedanslı arızada EŞKS'nin cevabı

4.2.3. Harici Arızalar Durumu

Ünite koruma temelli entegre koruma sistemi, koruma bölgesi dışında gerçekleşecek arızalarda, korunan hattın iki ucundan geçen akımlar eşit olduğundan dolayı OF'nu negatif kalmaya devam edecek ve açma sinyali oluşmayacaktır. Aşağıdaki şekillerde harici 3 faz ve Faz-Faz arızalarda EKSS'nin kendi koruma bölgesi dışındaki arızayı tespit etmeyerek, yanlış açmaya sebep vermediği görülmüştür.



Şekil 4.7: Harici 3 faz arıza koşullarında EŞKS'nin cevabı



Şekil 4.8: Harici faz-faz arızada EŞKS'nin cevabı

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, IEC61850 tabanlı koruma sistemlerindeki gelişmeler ele alınmıştır. Halka şebekeler için düşünülmüş olan entegre koruma sistemleri ve bunların halka şebekelerin korunmasında gösterdiği performanslar bilgisayar ortamında incelenmiştir.

Bilgisayar simülasyon çalışmaları EŞKS'nin:

Yüksek empedanslı arızalar dahil, koruma bölgesinde oluşan arızaları sorunsuz algıladığı ve bunun yaklaşık 30ms sürdüğü (10 ms haberleşme için ve 20ms arıza algılama için), görülmüştür. Beklendiği gibi, EŞKS'nin koruma bölgesi dışında oluşan arızaları algılamadığı anlaşılmıştır.

IEC 61850 standardının sağladığı veri iletişimi olanakları yardımıyla, şimdiye kadar iletim hatlarının korunmasında kullanılan ünite koruma yöntemlerinin entegre koruma çerçevesinde, dağıtım hatlarının korunmasında da kullanılabileceği gösterilmiştir. Bu sonuç, dağıtım hatlarının korunmasında kullanılan geleneksel aşırı akım korumanın neden olduğu belirsizliklerin ortadan kaldırıldığını göstermektedir.

6. Kaynaklar

- [1] Keil, T. ve Jager, J., "Advanced coordination method for overcurrent protection relays using nonstandard tripping

characteristics", *IEEE Transactions on Power Delivery*, cilt 23, sayı 1, sf. 52-57, 2008.

- [2] ABB, "Relay coordination and selective protection", *Distribution Automation Handbook*, bölüm 8.2, 2011.
- [3] Al-Harbawi, Y. Z., *An introduction to the digital protection of power systems*, Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Polonya, 2013.
- [4] Sun, X. and Redfern M. A., "An investigation into the design of an IEC 61850 based protection relay", *IEEE Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2009 Proceedings of the 44th International*, 2009.
- [5] Vishwakarma, D. N. ve Moravej, Z., "ANN based directional overcurrent relay", *IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition*, sf. 29-64, 2001.
- [6] Karthik, P. ve Brearley, B. J., "Micro grid protection using digital relays", *IJAREEIE*, cilt 4, sayı 5, sf. 268-275, 2006.
- [7] Tan, J. C. ve McLaren P. G., "Software model for inverse time overcurrent relays incorporating IEC and IEEE standard curves", *CCECE*, sf. 37-41, 2002.
- [8] Özveren, F., "Mikroşebekelerin aşırı akım rölesi ile adaptif ve entegre korunması", *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Elektrik Mühendisliği Bölümü, 2015.
- [9] IEC 61850 Communication networks and systems in substations, IEC Standartları Bölüm 1 - 10, 2002.
- [10] "IEC61850" International Electrotechnical Commission, Switzerland, 2008.
- [11] Bo, Z., Caunce, B., et al., "An integrated protection scheme for distribution systems based on overcurrent relay principle", *CIGRE*, Mayıs 21-24, 2007.
- [12] Wu, J., Dostanov D., Redfern M., "Fault passage protection based on IDMT relaying with IEC61850-90 inter-substation communications", 2014.
- [13] Dambhare, S., Soman, S., et al., "Adaptive current differential protection schemes for transmission-line protection", *IEEE Transactions on Power Delivery*, cilt 24, 2009.
- [14] Kara B., Özveren F., Usta Ö., "Aktif dağıtım şebekelerinin diferansiyel röle ile korunması", *ELECO 2016*, Bursa.

Endüstriyel Otomasyon Kontrol Sistemleri Güvenliği (Siber Güvenlik) Industrial Automated Control Systems Security (IACS) (Cybersecurity)

Halil Satılışığı
Elektronik Mühendisi/Proje Yöneticisi/Danışman
halil@tamsis.com
halil.satilusagi@gmail.com

Tema Makina Otomasyon Ltd.
www.tamsis.com

Özet

Endüstriyel kontrol sistemleri siber güvenliği, teknolojinin hızlı gelişmesi, iletişim teknolojilerinin yaygınlaşması, bilgiye kolay erişim ve kişilerin bilgisayar bilgi seviyesinin yükselmesi nedeni ile oldukça önemli bir hale gelmiştir. Zira, kitleleri ilgilendiren, temiz su yönetimi, atık su yönetimi, metro, elektrik şebeke sistemleri gibi sistemleri endüstriyel kontrol sistemleri yönetmektedir. Bu tip sistemler, toplumsal ilgi uyandırmak isteyen, topluma zarar vermek isteyen kişiler, terörist gruplar, uluslar arası siber savaşlar yapan gizli servislerin veya ajanların hedefi haline gelmiştir. Biraz daha ileri giderek, ülkeler kendi siber savaş ekiplerini kurmuşlardır. Bu sunumun amacı, biz mühendislere, endüstriyel kontrol sistemlerini tasarlayan, kurulumunu yapan ve yöneten kişiler olarak bilgi güvenliği konusunda farkındalık yaratmaktır.

Abstract

In today's world, cyber security of industrial control systems has become crucial due to rapidly developing internet and information technologies, easy access to information and improving computer literacy of individuals. Likewise, the critical infrastructures such as water management, sewage management, railway systems, power distribution systems that are directly related to citizens, are managed by industrial control systems. These type of systems are targeted by terrorist groups and/or individuals, secret services or agents who are fighting in international cyber wars, with the purposes of drawing attention and/or harming wide masses. Furthermore, nations have founded their own cyber war team. The goal of this article is raising awareness about information security among us engineers who design, install and control industrial control systems.

1. Gündem Özeti

- Mevcut durum analizi,
- İletişim ve donanım sistemlerinin gelişimi,
- Endüstri 4.0 talepleri,
- Bu gelişimin yarattığı kötüye kullanım fırsatları,
- Endüstri standartları,
- Tasarım aşamasında ve mevcut sistemlerde nelere dikkat edeceğiz,
- Teknoloji geleceği nereye doğru gidiyor,
- Gerçekleşmiş saldırılar,
- Kanunlarımız,
- Soru ve cevaplar.

2. Mevcut Durum Analiz

Geçtiğimiz yıllar öncesine kadar kapalı devre, sonsuz döngüde çalışan ve nerede ise dış dünyaya kapalı DCS, SCADA, PLC, RTU ve gömülü sistemler ile çalıştık ve hatta hala da çalışmaya devam ediyoruz.

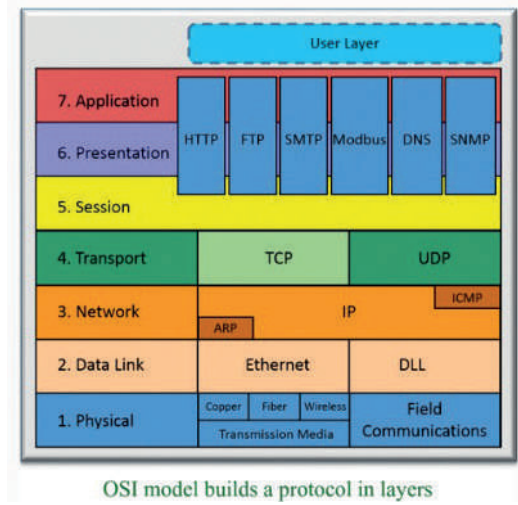
Endüstriyel kontrol sistemlerinin kendi aralarındaki iletişim haberleşme protokollerinde ise sadece aşına olduğumuz ve en çok kullanılanlar ModBus, ModBus, ProfiBus, ProfiNet, ProfibusDP, FieldBus, DNP-3 olmak üzere 20 adedin üzerinde protokol mevcuttur. Nerede ise her bir marka kendi haberleşme protokolünü yayınladı ve kullandı.

Durum bu şekilde olunca, biz mühendisler farklı marka sistemleri haberleştirmek için oldukça fazla enerji harcadık ve nerede ise kendi çözümlerimiz ile alternatif yollar yarattık. Bazı durumlarda ise sistemleri kendi haline bırakmanın daha az maliyetli ve kolay olduğuna karar verdik.

SCADA sistemlerimize farklı markaları entegre hiç de kolay olmadı. Neyse ki imdadımıza OPC (Ole for Process Control) server yetiştirdi eğer kullandığımız donanımın sürücüsü (driver'ı) var ise. Ancak hala doğru bir çözüm değildir zira sistemler arasında ilave bir sistem çalışmaktadır ve zaman zaman da gerekli register ayarlarını yapmak fazlaca araştırma ve zaman gerektirmektedir.

3. OSI (Open Systems Interconnection)

ISO (International Organization for Standardization) tarafından geliştirilen bu 7 katmanlı iletişim protokolü içerisinde kalmak şartı ile donanım geliştiriciler kendi protokollerini kullanmaya devam ettiler. Bu durum bize aslında en azından bazı avantajlar sağladı, örneğin protokol dönüştürücüler (protocol converters) geliştirirken bizlere rehber oldu.



Ancak hala bizlerin talep ettiği esneklik ve kolaylığı sağlamadı.

4. IEC-61850 İletişim Sistemleri Standardizasyonu

Dünyada bu gelişmeler devam ederken, 1995 yılında, 14 ayrı ülkeden toplam 60 mühendis IEC 61850 protokolünün geliştirilmesi için çalışmaktı ve 2004 yılı içerisinde, bu protokol tüm dünyaya tanıtılmış ve fiili olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bu protokolün asıl amacı, enerji otomasyonunun belli koşul ve şartlarda farklı sistemlerin arasında haberleşmeyi sağlamak, yukarı bahsettiğimiz, ethernet katmanında, tak ve çalıştır (plug and play) mantığı ile tüm ihtiyaçlara yanıt verebilecek ve gerekli esnekliği sağlayacak bir sistem olmasıdır. Günümüzde sadece enerji otomasyonunda değil diğer sistemler için de kullanılmaktadır. Özellikle, dağıtım ve trafo merkezi ekipmanları arasındaki haberleşmede esnek ve geleceğe yönelik avantajlar sağlamıştır. Bu sayede, sistemlerin tasarlanmasından, kalite, test, uygunluk ve devreye alma işlemlerine kadar aşamaların standart olması sağlanmıştır.

Başlıca avantajları:

- Tek bir haberleşme protokolü,
- Tüm enerji otomasyonu fonksiyonlarını (izleme, kumanda ve koruma) kapsamaktadır.
- Gelecekte yapılacak genişletmeler veya ilaveler yapılabilecek olup, yatırım korunur,
- Mevcut ekipmanlar kullanılabilir,
- Kalite ve çevre gereksinimleri tanımlanır,
- Tüm imalatçı cihazları aynı protokol üzerinden haberleşebilir,

- Özellikle koruma röleleri farklı imalatçılar olsa bile haberleşme ve kilitleme yapılabilir. (XML) dir.
- Endüstri standardı, yapılandırma dili eXtensible Markup Language (XML) dir.
- Cihaz isimlendirme standardı, tüm sistemler tarafından tanınmaktadır.

İndirici Merkez Yapılandırma Dili (Substation Configuration Language: SCL) standart 4 dosya üzerinde tanımlanır:

- SSD (System Specification Description) sistem belirleme tanımı bütün sistemin tanımı yapılır,
- SCD (Substation Configuration Description) indirici merkez yapılandırma tanımı yapılır,
- ICD (IED Capability Description) akıllı cihazların tanımı yapılır,
- CID (Configured IED Description) tüm yapılandırılmış IED cihazlarının tanımını yapar.

Bu ilgili dosyalar, standartlarda hazırlanmış, üretilen firmalardan tarafından hazırlanmış yazılımlar tarafından, standart bir şekilde XML dosya formatında oluşturulur.

Böylelikle tüm cihazların kendi arasında haberleşmesi, standart ethernet üzerinden TCP/IP katmanında sağlanmış oldu. İhale dökümanlarında, fazlaca IEC 61850-5-104 haberleşme protokolüne uygun deyimini göreceğiz.

5. Endüstriyel Kontrol Sistemlerinin Teknolojik Gelişimi

Artık bugün tüm PLC, DCS, SCADA sistemleri ethernet uyumlu ve TCP/IP protokolü üzerinden haberleşmektedir. Bununla beraber, enerji kontrol sistemlerinin ihtiyaçlarını karşılayacak, bir çok haberleşme protokolünü kullanan RTU (Remote Terminal Unit) PLC de içeren, dış dünyaya açık sistemler de geliştirilmiştir. Dahası dış dünya ile kolay iletişim kurabilen gömülü sistemler ve endüstriyel PC'ler de geliştirilmiş ve hala da geliştirilmeye devam etmektedir. Öyle ki bir kredi kartı büyüklüğünde endüstriyel PC bulmak artık günümüzde mümkündür. Bu sistemler üzerinde Linux, Windows CE veya Android işletim sistemleri çalışmaktadır. Teknolojinin bu denli gelişimi akıllı sistemlerin IED (Intelligent Electronic Device) hızlandırmış internet üzerindeki nesnelere IoT (Internet of Things) adını verdiğimiz cihazların yaygınlaşmasını sağlamıştır. 2023 yılında 50 milyar IoT cihazının olması tahmin edilmektedir. Öyle ki çok basit sistemlere adapte edilebilen algılayıcılar (sensors), ölçü aletleri IMS (intelligent metering systems), kameralar, modemler vs. günümüzde bulmak mümkündür.

6. Endüstriyel Kontrol Sistemleri Teknolojik Devrimi

Yukarıdaki tüm anlattığımız teknolojik gelişmelere ilave olarak, yazılım geliştirme dillerinde hem kolaylık hem de

kolay öğrenme ve yaygın ulaşılabilir dökümantasyon nedeni ile sistemlere olan hakimiyet bilgisi ve ilgili kişi sayısını arttırdı. Paralel olarak, artık nerede ise hepimizin elinde Linux, Android ve Windows CE sistemler mevcut hale geldi ve hatta artık çocuklar bile nerede ise sistemlere erişebilir hale geldi.

Tüm bu gelişmeler, endüstri 4.0 endüstri devrimine oldukça elverişli bir ortam da hazırladı. Zira endüstriyel sistemlerin sürekli ürettiği değerli veriye erişilebilir hale geldi, artık bu verinin işlenmesi, depolanması, uzaktan erişilebilir olması ve daha da önemli işlenerek karar mekanizmalarının içerisinde kullanılması gerekiyordu. Biraz daha ileriye gidersek, artık bu toplanan veri otonom sistemler ve robotik sistemler tarafından kullanılabilir olacaktır.

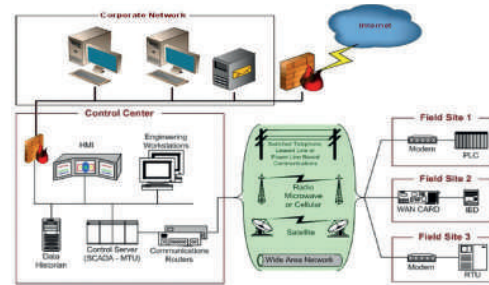
Tam bu noktada, işte, nerede ise her şeyin bir birine bağlı olduğu siber bir dünya için tüm yapı hazır hale geldi.



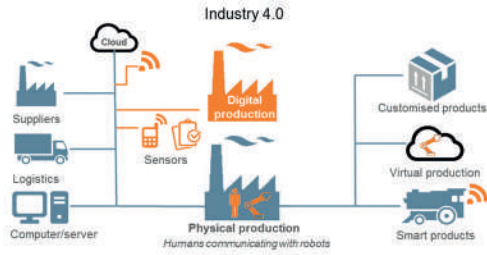
7. İletişim Teknolojilerinin Gelişimi

İletişim teknolojileri, özellikle kablosuz teknolojiler oldukça hızlı gelişmiştir, RF (Radio Frequency), kablosuz (wireless), mobil (GSM, 3G-4G-5G), Bluetooth, NFC (Near Field Communication) iletişim teknolojileri endüstriyel PC'lere gömülü olarak satılmaktadır. Bunun yanı sıra, iletişim sistemlerinin veri taşıma kapasitesi de megabit'ler seviyesinden gigabit'ler seviyesine ulaşmıştır.

İletişim teknolojilerinin bu denli gelişimi bizlere siber dünyaya daha fazla yaklaştırmıştır. Diğer bir kavram, bulut bilişim (cloud computing) mümkün ve artık hepimiz tarafından kullanılmaktadır.



8. Otomasyon Dünyası Ne Talep Ediyor?



- Kolay programlanabilen sistemler,
- Hız daha fazla hız, daha fazla nokta-node kontrolü,
- Açık iletişim teknolojileri ve diğer sistemler ile kolay iletişim,
- Günlük tutma (Logging),
- Gerçek zaman damgası (real time clock, time stamp),
- İşlem verisi kaydetme,
- Veri işleme ve analizi,
- Kendi kendine karar verebilen otonom sistemler.

Açıkçası talepler bizlere endüstri 4.0 sanayi devrimini tarif ediyor.

9. Endüstri 4.0 Sanayi Devrimi

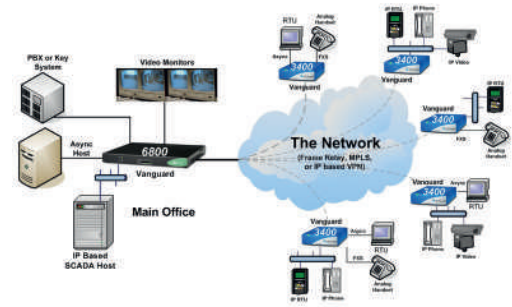
Endüstri 4.0 sanayi devrimi ne beklemektedir?

- Tüm sistemlerin entegrasyonu ile üretim,
- Üretimin tüm aşamalarının gerçek zamanlı izlenmesi,
- İşlem verisinin analizi ve karar verme,
- Akıllı cihazlar ve kendi kendine karar verme,
- Talebe göre üretimin kişiselleştirilmesi.



10. Endüstriyel Kontrol Sistemleri ve Entegrasyon

Tüm bu anlattıklarımızdan da anlaşılacağı gibi, bizlerden işin özünde, kendi dünyasında çalışan kontrol sistemlerinin PC tabanlı sistemler ile entegrasyon talep edilmektedir. Esasen bu sistemlerin ürettikleri veriye sahip olup, işlemek durumundayız.



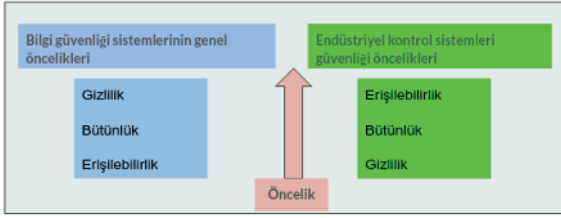
11. Ticari Baskıların Getirdiği Sonuçlar



Gelişmiş ekonomilerin ve dev şirketlerin pazardan daha fazla pay alabilmesi adına verilen ödünler vardır ve tamamen güncel ihtiyacı karşılamaya yönelik çözümlerdir. Hepimiz biliriz ki örneğin üzerinde işletim veya yazılım barındıran bir cihaz, üretici tarafından piyasaya sürülür, ilerleyen zamanda ise yazılıma dair güncellemeler yayınlanır. Aşağıdaki sebepler ile bilgi güvenliği üretim, tasarım, kurulum ve işletme aşamasında gözardı edilmektedir:

- Tüketicinin talep ettiği ürün tasarımında bilgi güvenliğinin daha sonraya bırakılması,
- Proje tasarımında bilgi güvenliğinin dikkate alınmaması,
- Bilgi güvenliği özelliğinin opsiyon olarak satılması,
- Eğitimsizlik,
- Maliyetlerin düşürülmesi, maksimum karlılık,
- Teslim sonrası ilave iş ile kazanç sürekliliğinin sağlanması,
- Açık kaynak kodlu (open source software) yazılımların gelişimi ile bir çok sistemleri analiz etme, kırma (hacking), bilgi toplama, zararlı yazılım gönderme ve şifre deneme gibi yazılımlara ücretsiz erişim.

12. Bilgi Güvenliği Ve Endüstriyel Kontrol Sistemleri Güvenliği Öncelikleri Farklıdır



Şekilden de görüleceği üzere, bilgi güvenliğinin felsefesinde birincil öncelik gizlilik iken, kontrol sistemlerinde ise erişilebilirliktir, yani sistemlerin sürekli çalışması (up & running) her zaman birinci önceliklidir.

13. İnternetin Sağladığı Kolaylıkların Kötüye Kullanımı

Şimdiye kadar anlatmış olduğumuz piyasa talepleri, teknolojik gelişim, bilgiye kolay erişim, açık kaynak kodlu yazılımların sağladığı kolaylıklar, ücretsiz bir çok yazılıma kolay erişim, yeni neslin bilgisayara dayalı teknolojilerdeki bilgi seviyesinin artması ve yanlış/eksik/bilgisiz yapılan sistem kurulumları internet sahtekarlarına yeni çalışma alanları doğurmuştur.



Öyle ki küçük bir bedel ödeyerek www.sohodan.io internet sitesinden, internet üzerinden erişilebilen, kameralar, endüstriyel kontrol sistemleri, modemler, televizyonlar veya IoT'ler bir liste halinde alınabilir. Tesbit ettiğiniz cihazlara dair kurulum (default password) şifrelerinin listesine ulaşabilirsiniz.

Biraz daha meraklı ve bilgisayar bilginiz biraz daha fazla ise Google tarafından oluşturulan sistemlerin zafiyet, eksiklik, açık noktaları veya giriş yollarının listelendiği hacker veri tabanına ulaşarak daha detaylı denemeler yapabilirsiniz www.exploit-db.com.

Kali Linux (www.kali.org) kurulumu kolayca bir flash memory üzerine kurabilirsiniz, uygun bir bilgisayarı USB port üzerinden Linux ile boot edip çalıştırabilirsiniz, sistem başlar başlamaz, otomatik olarak MAC adresinizi değiştirip, izlenebilirliği yok edebilirsiniz. Bu sistem tamamen

sistemlerin zaafiyetlerini test etmek (penetration testing) için tasarlanmış olup, işletim sistemi ile birlikte bir çok yazılım kurulu gelmektedir veya çok az bir ücrete satın alınabilmektedir.

İnternet üzerinde, bir çok sistemi anlatan veya sistemleri kurmak için yapılması gerekenleri anlatan bir çok dökümana erişmek oldukça kolaydır ve hatta video ile anlatımları da mevcuttur.

Merakınızı daha da arttırmak için derin internet (Dark/Deep web) Tor browser www.torproject.org dünyasına girebilir, sınırsız bir çok dökümana erişebilirsiniz.

Son zamanlarda basından da izlediğimiz sahtekarların en çok tercih ettiği yöntemlerden birisi, yemleme (phishing) veya sosyal mühendislik uygulamalarıdır yani biz iyi niyetli insanların zayıf yönlerini tesbit ederek kullanmak.

14. Hangi Cihazlara Erişilebilmektedir?

Bir çok farklı yazılım kullanılarak şu anda internet üzerinde RTU, SCADA, HMI, DVR, Historian DB, EngStation vs. cihazların yanısıra aşağıdaki cihazlara çoğunlukla erişilebilmektedir:

- Trafik yönetim sistemleri,
- Trafik ışıkları kontrol sistemleri,
- Metro kontrol sistemleri,
- Enerji şebeke yönetim sistemleri,
- Güneş enerjisi/rüzgar türbinleri,
- Akıllı bina yönetim sistemleri (HVAC/AC),
- Su/atık su yönetim sistemleri.



15. Dünya Bu Konuda Ne Yapıyor?

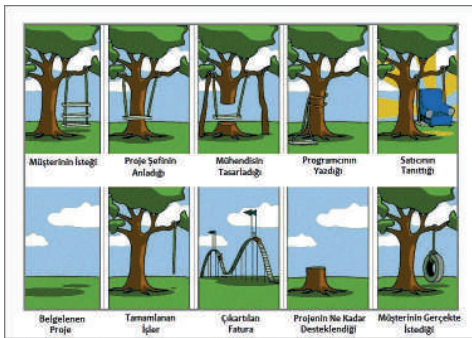


Dünya bu konunun çok önce farkında ve bir çok bu tip sahtekarlıkların veya kötüye kullanımın önüne geçmek adına her standardizasyon, hem konular hem de uluslar arası anlaşmalar açısında bir çok çalışmalar yapmakta ve uygulamaktadır. Özellikle endüstriyel kontrol sistemlerine yönelik aşağıdaki başlıca standartlar kabul görmektedir:

- The National Institute of Standards and Technology (NIST) 800-82 guide to industrial control systems (ics)security
<https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-82/archive/2011-06-09>
- The International Society of Automation ISA99 Industrial Automation and Control Systems Security
<https://www.isa.org/isa99/>
- The International Electrotechnical Commission-IEC 62443
- ISO27000
www.tse.org.tr/icerikdetay/2311/6890/ts-isoiec-27001-bilgi-guv--yonetim-sistemi-asp

Ülkemiz bu konuda bir karar alarak, EPDK enerji dağıtım ve yönetim şirketlerinde ISO 27000 serisi bilgi güvenliği yönetim sistemi standardını zorunlu hale getirmiştir.

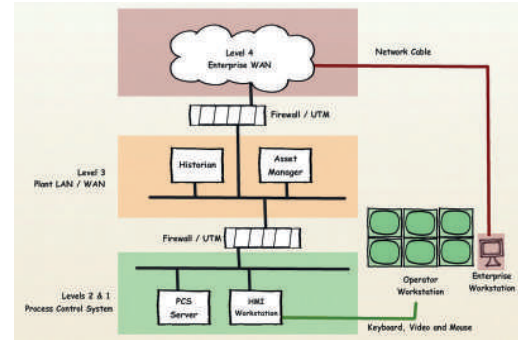
16. Endüstriyel Kontrol Sistemleri Tasarım Aşamasında Hangi Hususlar Değerlendirilmelidir?



- Operatör: sistemlerin işletme aşaması için gereksinimler, sistem güncelleme, firmware, software, işletim sistemi, sistem şifresi, yedekleme, felaket önleme gibi unsurlar.

- Geliştirme-Development: Eğer yazılım geliştirme yapılacak ise test, geliştirme, pilot ve canlı ortam değişiklik yönetimi tanımlanmalıdır.
- Yönetmel/Süreçler: Şirket prosedür ve talimatları tanımlanmalıdır, yok ise tamamlanması talep edilmelidir veya kurulan sistemler için gerekli prosedürler hazırlanmalıdır.
- Üretici firmalar: Üretici firmaların tüm tasarladığı, kurduğu, değiştirdiği işlemlerin aşamaların son hali ile döküman olacak şekilde teslim almak için ve test etmek için gereksinimler tanımlanmalıdır.
- Teknik gereksinimler: Standartların uygulanması için teknik gereksinimler örneğin tüm cihazlar ethernet/TCP/IP IEC 61850 5-104 haberleşme protokolünü kullanacaktır, ilave olarak isimlendirme, numaralanadırma, IP adres vs. standartları tanımlanmalıdır.
- Lokasyonlar: Şube veya lokasyonların sistemler açısından sınırları, aralarındaki veri alışverişi, trafik açısından açıklanmalıdır.
- Müteahhitler: Taşeron ve müteahhit firmalardan beklenen standartlar, belgeler tanımlanmalı ve mutlaka iş öncesi eğitim verilmelidir.

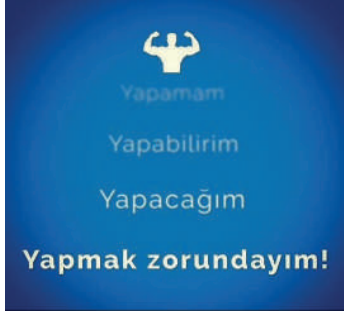
17. Basit Tasarım Gereksinimleri



- Bölge tanımlanmalı-defining zones
- Bölge ağ olarak ayrılmalıdır-network segmentation,
- Cihazlar arasında hangilerinin kendi aralarında haberleşmesi gerektiğine karar verin- trusted, untrusted devices,
- Uzaktan erişimler mutlaka firewall üzerinde VPN ile sonlanmalıdır,
- Ağ üzerinde yönetilebilir yönlendiriciler switch/router kullanılmalıdır,
- Böylelikle katmanlı güvenlik garantilenmiş olur.
- Zorunlu olmadıkça kablosuz-wireless ekipmanlar kullanmayın, kullanılacak ise hem kurulum, hem de tasarım aşamasında sıkı bilgi güvenliği gereksinimlerini tanımlayın.

18. Mevcut Sistemler İçin Yapılması

Gerekenler Nelerdir?



Öncelikle vurgulamak gerekirse, kararlılık ve isteklilik her işte olduğu gibi bilgi güvenliği çalışmalarını için başlıca unsurlardır. Zira unutmayalım ki çalışan ve yönetenlerin iş yapma şekillerini değiştirerek, konfor alanlarına müdahale etmekteyiz. Hiç kimse konfor alanının değişmesini istemez ve doğal bir tepki gösterir. Basit olarak aşağıdaki işlemler uygulanmalıdır:

- Risk analizi-risk assesment,
- Protokol, cihaz, yazılım, işletim sistem, veri tabanı vs. envanteri listelenmelidir,
- Tüm ağ aktivitesi günlük-network activity log izlenmeli ve kontrol edilmelidir,
- Kullanıcı hesabı yönetimi-account management,
- Uzaktan erişimler tespit edilmeli ve firewall üzerinde VPN ile sonlanmalıdır, erişilecek kişi/firma IP sabit adresleri üzerinden erişime izin verilmelidir trusted ip list,
- Kritik sistemler yedeklenmeli ve gerekli hot standby yapılmalı, senaryolar zaman zaman test edilmelidir,
- Cihazların fabrika ayarlı şifreleri mutlaka değiştirilmelidir,
- İşletim sistemi, firmware veya uygulamalar güncel olmalı ve gerekli yama/güncelleme yapılmalıdır.
- Siber güvenlik konusunda ilgili personel, müteahhit mutlaka eğitilmelidir,
- Sistemler üzerinde yapılan değişiklikler mutlaka kayıt altına alınmalıdır,
- Yedekleme USB flash memory/hard disk üzerine kesinlikle yapılmaz,
- Alınan yedekler haftalık olarak farklı bir lokasyonda yer alan anti-statik kasalarda saklanmalıdır,
- Tüm ekranlar ekran koruyucu ve kendi kendine kilitlebilir olmalıdır,
- Her operatör, müteahhit tanımlı kendi hesabı ile sistemlere girmelidir,
- Kullanılmayan portlar veya protokoller mutlaka kapatılmalıdır - port security,
- Firewall/Managable Switch kullanılarak ağ tasarlanmalı ve katmanlı yönetim kurulmalıdır VLAN.
- Cihazlara fiziksel erişim önlenmelidir,

- Ağ izleme sistemi üzerinden anormal ağ aktiviteleri izlenmelidir network monitoring.
- Çalışan sistemler üzerinde yapılacak değişiklikler uygulamadan önce eşlenik test ortamında test edilmelidir.

19. Ülkemizde İnternet Kullanımı İstatistikleri TÜİK-2015

- İnternet kullanan bireylerin oranı %55,9 oldu,
- On hanenin yedisi internet erişim imkanına sahip,
- Hanelerin %96,8'inde cep telefonu var,
- Hanelerin 2015 yılı Nisan ayında %96,8'inde cep telefonu veya akıllı telefon bulunurken, sabit telefon bulunma oranı %29,6 oldu. Aynı dönemde hanelerin %25,2'sinde masaüstü bilgisayar, %43,2'sinde taşınabilir bilgisayar ve %20,9'unda İnternete bağlanabilen TV bulunmaktadır.
- İnternet kullanım amaçları arasında sosyal medya ilk sırada yer aldı,
- İnternet en çok evde kullanıldı,
- Bunu %42,5 ile işyeri, %37,7 ile akraba, arkadaş evleri, %29,2 ile alışveriş merkezi, havaalanı, vb. kablosuz bağlantının yapılabildiği yerler takip ederken, internet kafede kullanım oranı %10,6 oldu.

Bu istatistik bizlere gösteriyorki yaygın kullanım, kötüye kullanım ve sahtekarlar için basit ve kullanışlı bir ortam oluşturmanın yanısıra bol miktarda da malzeme sunmaktadır.

20. İnternet Teknolojileri ve Geleceğe Bakış

- Hızlı tüketim toplumundayız (hızlı yemekler, hızlı inceleme, okumaktan ziyade göz gezdirme),
- Mobil cihazlar daha da gelişecek ve yaygınlaşacak,
- Veri iletişimi hem bant genişliği artacak hem de da da hızlanacaktır,
- Bir çok şeye kolay ulaşılabilirlik mümkün olacak,
- Giyilebilir teknolojiler artacak (saatler, kıyafetler, ayakkabılar vs.)
- Nesnelerin internetini yaşayacağız,
- Bilen değil, bilgiye hızlı erişen ve onu hızlı işleyen kazanacak,
- Sosyal medya kullanımı hayatımıza daha çok müdahale edecek (sağlığımız, pişirdiğimiz yemekler, alışverişimiz, eğitimimiz, sağlığımız vs.),
- Bilgi daha fazla merkezileşecek (bulut bilişim),
- Büyük veri kitlelerini analiz etme ihtiyacı daha fazla artacak (big data),
- Makina öğrenme (machine learning) gelişimi ile otonom sistemler hayatımıza girecek,

- Endüstride kullanılan robot sayısında hızlı bir artış olacak.



21. Genel Bir Hootsuite İstatistiği

Hootsuite ile tüm sosyal medya hesaplarınızı tek bir merkezden kolayca yönetebilirsiniz. Bu hesaplar: Facebook, Twitter, LinkedIn, Google+ gibi birçok sosyal medya hesabınızı yönetebilirsiniz. www.hootsuite.com



Bu istatistiğe göre, toplam dünya nüfusunun nerede %50'si sosyal medya kullanıcısı olup, mutlaka bir internet erişimi var ve bir çoğu da akıllı mobil cihazlar üzerinden erişim yapmaktadır.

22. Gerçekleşmiş En Kapsamlı Saldırıları

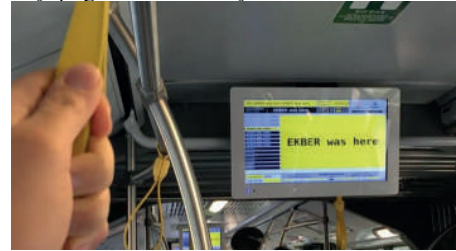
- SWIFT sistemini hedef alan saldırıyla 81 milyon dolar çalıntı, ülkemizde Akbank bu saldırıdan etkilenmiştir. Finans sektörü tarafından yoğunlukla kullanılan SWIFT sistemine yapılan saldırı da 2016 yılının en önemli siber saldırıları arasında yer alıyor. 2016'nın Şubat ayında Bangladeş'teki bir bankanın zayıf güvenlik sisteminden dolayı SWIFT sistemine sızan siber suçlular, 81 milyon doları kendi hesaplarına transfer ettiler.
- Oracle MICROS sistemi saldırısı. 2017 Ağustos ayında ise 180'i aşkın ülkede 330 binden fazla yazarkasada kullanılan MICROS POS sistemine de sahip olan Oracle'da önemli bir güvenlik açığı

ortaya çıktı. Rus siber saldırganlar, MICROS sisteminin müşteri destek portalındaki sistemlere yerleştirdikleri zararlı yazılımla, kullanıcı bilgilerini ele geçirmeye çalıştılar.

- Kaspersky Lab'ın 2016 Saldırıya uğrayan endüstriyel bilgisayarların oranı Temmuz 2016'da %17 iken, Aralık 2016'da %24'e yükseldi. Söz konusu bilgisayarlara zararlı yazılımların en çok bulaştığı 3 yol; internet, taşınabilir depolama birimleri ve zararlı e-posta eklerinin yanı sıra e-posta gövdelerine gömülü kodlardı.
- Rusya ile ABD arasında patlak veren diplomatik krizde, Washington Moskova'yı, 'ABD seçimlerini manipüle edebilecek ölçüde' bir siber saldırı düzenlemekle suçladı,
- <http://map.norsecorp.com/> ,
- <http://www.digitalattackmap.com> ,
- <https://threatmap.checkpoint.com> Dünya genelinde yapılan ataklar ve raporları bu sitelerden izlenebilir,



- 21 Mart 2016, sabah saatlerinde İstanbul'da toplu taşıma kullananlar ve İETT'nin web sitesine girenler "Ekber was here" yazısıyla karşılaştılar. Saat 7.20'de başlayan ve 9'a kadar süren hack'i kimin, neden yaptığı henüz bilinmiyor.



23. Bireysel veya Kurumsal Olarak Nerelere Başvurmalıyım?



Öncelikle, sistemlere dair anormal bir durum ile karşılaşırsanız mutlaka bilgi teknolojileri departmanınızı bilgilendirin, bilgisayarınızın ağ bağlantısını kapatın ve teknik destek gelmesini bekleyin.

Bireysel olarak eğer toplumu etkileyecek, dolandırıcılık, çocuk istismarı, kumar, müstehcenlik, sağlık ile ilgili tehlikeli madde, uyuşturucu, kumar veya Atatürk'e hakaret içeren bir içerik ile karşılaşırsanız iseniz,

www.ihbarweb.org.tr , <http://www.masak.gov.tr/> internet sitelerinden ilgili birimleri haberdar edebilirsiniz.

24. Birey Olarak Bilgi Güvenliğinden Ne Kadar Sorumluyum?



Bilgi akışında aşağıdaki konulardan herhangi birisinde iseniz sorumlusunuz demektir:

- Bilginin sahibi,
- Bilgiyi kullanan,
- Bilgi sistemini yöneten.

Açıkça bilgi güvenliğinin sağlanmasından herkes sorumludur.

25. Bilgi Güvenliği İçin Kanunlarımız



5651 sayılı kanun, İnternet Ortamında Yapılan Yayınların Düzenlenmesi Ve Bu Yayınlar Yoluyla İşlenen Suçlarla Mücadele Edilmesi Hakkındaki Kanundur. Bu kanun uyarınca Oteller, Restaurantlar, Alışveriş Merkezleri, Kafeler, İnternet Kafeler, Üniversiteler, KOBİ'ler, fabrikalar gibi interneti kablolu ya da kablosuz kullanıma sunan tüm işletmeler yani internet toplu kullanım sağlayıcılar, Kendi iç ağlarında dağıtılan IP adres bilgilerini, kullanıma başlama ve bitiş tarih ve saatini ve bu IP adreslerini kullanan bilgisayarların MAC adresini gösteren bilgileri elektronik ortamda sistemlerine kaydetmekle yükümlüdür. Bu bilgilerin doğruluğunu, bütünlüğünü ve oluşan verilerin dosya bütünlük değerlerini zaman damgası (hash) ile birlikte günlük olarak bir yıl süre ile saklamak ve gizliliğini temin etmekle yükümlüdür.



5237 sayılı Türk Ceza Kanunu: ONUNCU BÖLÜM – Bilişim Alanında Suçlar

Bilişim sistemine girme:

MADDE 243. – (1) Bir bilişim sisteminin bütününe veya bir kısmına, hukuka aykırı olarak giren ve orada kalmaya devam eden kimseye bir yıla kadar hapis veya adli para cezası verilir.

(2) Yukarıdaki fıkrada tanımlanan fiillerin bedeli karşılığı yararlanılabilen sistemler hakkında işlenmesi hâlinde, verilecek ceza yarı oranına kadar indirilir.

(3) Bu fiil nedeniyle sistemin içerdiği veriler yok olur veya değişirse, altı aydan iki yıla kadar hapis cezasına hükmolunur.



5237 sayılı Türk Ceza Kanunu:Sistemi engelleme, bozma, verileri yok etme veya değiştirme:

MADDE 244. – (1) Bir bilişim sisteminin işleyişini engelleyen veya bozan kişi, bir yıldan beş yıla kadar hapis cezası ile cezalandırılır.

(2) Bir bilişim sistemindeki verileri bozan, yok eden, değiştiren veya erişilmez kılan, sisteme veri yerleştiren, var olan verileri başka bir yere gönderen kişi, altı aydan  yıla kadar hapis cezası ile cezalandırılır.

(3) Bu fiillerin bir banka veya kredi kurumuna ya da bir kamu kurum veya kuruluşuna ait bilişim sistemi üzerinde işlenmesi halinde, verilecek ceza yarı oranında artırılır.

(4) Yukarıdaki fıkralarda tanımlanan fiillerin işlenmesi suretiyle kişinin kendisinin veya başkasının yararına haksız bir çıkar sağlamasının başka bir suç oluşturmaması hâlinde, iki yıldan altı yıla kadar hapis ve beşbin güne kadar adli para cezasına hükmolunur.

26. Kaynaklar

- ABB Elektrik Otomasyon zmleri,
- Honeywell Industrial Cyber Security Lab,
- Moxa endüstriyel ağ zmleri,
- Fortinet endüstriyel sistemler güvenlik zmleri,
- Siemens enerji otomasyon zmleri

Enerji Dağıtım Sistemleri İçin Düşük Kayıplı Düşük Maliyetli Enerji Kalitesi Düzenleyicisi Tasarımı ve Benzetimi

Design and Simulation of Low Cost Low Loss Energy Quality Regulator for Energy Distribution Systems

Ahmet Eren ¹, Ahmet Mete Vural ²

¹Endoks Enerji Dağıtım Sistemleri
ahmet.eren@endoks.com.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Gaziantep Üniversitesi
mete.vural@gaziantep.edu.tr

Özet

Bu bildiri enerji dağıtım sistemleri için bir Enerji Kalitesi Düzenleyicisinin (EKD) tasarımı ve benzetim çalışmaları sunulmuştur. Şebekeye paralel bağlı EKD, reaktif güç kompanzasyonu, dengesiz ve doğrusal olmayan yüklerin nötr akım kompanzasyonu ve 3-5-7 gibi düşük dereceli akım harmoniklerini temizleme yeteneğine sahiptir. EKD'nin güç katında 2 seviye, orta noktası nötr noktasına bağlı ayırık kapasitör topolojisine dayalı bir gerilim kaynaklı evirgeç kullanılmıştır. Evirgeç uzay vektör darbe genik modülasyon yöntemi ile anahtarlanmıştır. Anahtarlama sinyallerini oluşturmak için gerekli olan referans gerilimleri, Senkron Referans Çatı akım kontrolcüsü ve Tekrarlamalı Kesikli Fourier Dönüşümü yöntemi kullanılan referans akım jeneratörü ile üretilen akımlar kullanarak oluşturulmuştur. EKD'nin performans analizleri PSCAD benzetim ortamında yapılmış ve EKD'nin nötr akımını dengelediği, akım dalga formunu sinüse yaklaştırdığı ve sistemin bir güç faktöründe çalışmasını sağladığı gösterilmiştir. Daha sonraki aşamada yapılacak olan deneysel çalışmanın yürütülmesinde benzetim çalışmalarının sonuçları baz alınacaktır.

Abstract

In this paper the design and simulation studies of an Energy Quality Regulator (EQR) for energy distribution systems are presented. EQR which is connected to the utility in parallel has the following capabilities such as reactive power compensation, neutral current compensation of nonlinear and unbalanced loads, and the mitigation of low order current harmonics such as 3, 5, 7. A two-level, neutral point clamped voltage source inverter based split capacitor topology is used in the power stage of the EQR. The inverter is switched using space vector pulse width modulation method. Reference voltage which is required for producing switching signals is obtained via reference current generator using Recursive Discrete Fourier Transform method and Synchronous Reference Frame current controller. The performance analysis of EQR is realized in PSCAD simulation environment and it is shown that the EQR is able to balance neutral current, approach the current waveform to the sinusoid and

operate the system at unity power factor. In The results of the simulation studies will be used to conduct the experimental study which will be carried out in the next step.

1. Giriş

Güç elektroniği alanında ve yarı-iletken teknolojisinde yaşanan gelişmeler, dağıtım sistemine bağlı yüklerin karakteristiklerinin de belirgin bir biçimde değişmesine neden olmuş, konvansiyonel yüklerin yerini güç elektroniği sistemine dayalı ve doğrusal olmayan yüklerle (motor sürücüler, AA/DA güç kaynakları vb.) bırakması, dağıtım/iletim sistemi operatörlerinin ve kullanıcıların yaşadıkları güç kalitesi problemlerinin artmasına neden olmuştur. Çözüm alternatifi olarak pasif filtreler düşük maliyetleri sebebi ile geniş bir uygulama alanında tercih edilmektedir. Ancak pasif filtrelerin birçok dezavantajı bulunmaktadır. Pasif filtrelerin harmonikleri filtrelemedeki yetersiz performansları ve rezonansa sebep olma gibi dezavantajları sebebiyle aktif filtreleme yöntemleri tercih edilmekte, buna bağlı olarak Aktif Güç Filtreleri (AKF) geliştirilmektedir. AKF, güç elektroniği tabanlı ileri teknoloji kompanzasyon sistemleridir. Etkin ve dinamik harmonik filtreleme özelliklerinin yanı sıra AKF'ler reaktif güç kompanzasyonu, dengesizlikler, gerilim dalgalanması ve gerilim kırışması gibi birçok güç kalitesi probleminin giderilmesi için kullanılmaktadırlar. Literatürde farklı yük durumları ve kompanzasyon stratejileri için birçok AKF topolojisi geliştirilmiştir ve bu konudaki çalışmalar halen devam etmektedir [1]. Bu bildiri önerilen Enerji Kalitesi Düzenleyicisi (EKD), 2 seviye, orta noktası nötr noktasına bağlı ayırık kapasitör topolojisine dayalı bir gerilim kaynaklı evirgeç tabanlı olup, yüke ortak bağlantı noktasından pasif bir filtre üzerinden paralel olarak bağlanmaktadır. Bu gerilim kaynaklı evirgeç yapısı sistemin ihtiyaç duyduğu kompanzasyon akımlarını etkin bir şekilde üretebilmektedir.

Gerilim kaynaklı evirgeç yapısının yarı-iletken anahtarlama ve kontrolü için literatürde histerezis akım kontrolü, sinüsoidal darbe genlik modülasyonu (SPWM) ve uzay vektör darbe genlik modülasyonu (UVDGM) gibi başlıca yöntemler bulunmaktadır [2]-[6]. UVDGM tekniği kartezyen koordinat

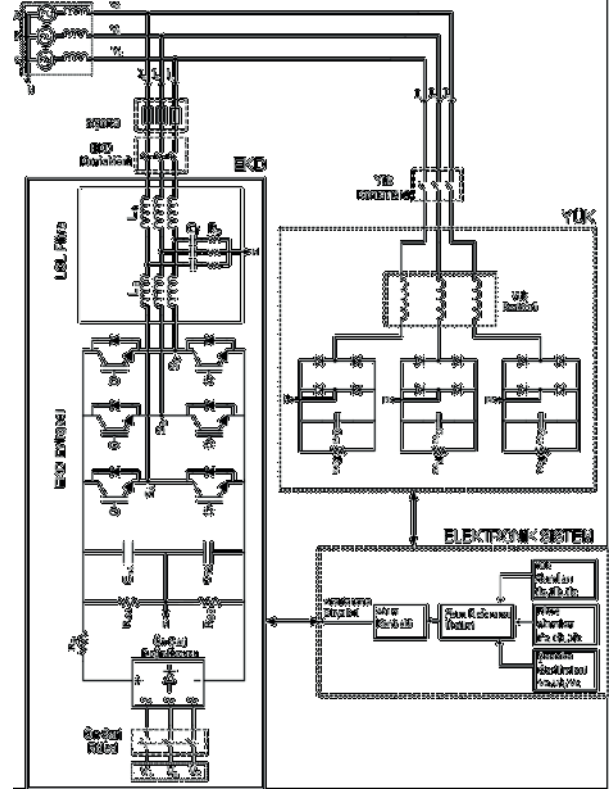
düzleminde evirici geriliminin uzay vektör gösterimine dayandırılır ve geleneksel modülasyon yöntemlerine göre oldukça fazla avantajları vardır ancak gerçekleştirilmesi daha zordur. Bu avantajlardan dolayı bu çalışmada UVDGM tercih edilmiştir. UVDGM'nin avantajları şu şekilde sıralanabilir: 1) Evirici çıkışında histerezis akım kontrolü ve SPWM gibi diğer anahtarlama yöntemlerine göre daha düşük harmonik bozulması elde edilir, 2) Aynı değerdeki DA gerilimden histerezis akım kontrolü ve SPWM gibi diğer anahtarlama yöntemlerine göre daha yüksek çıkış gerilimi üretilir ve bu sayede DA kaynak geriliminin daha verimli kullanılmasını sağlar, 3) UVDGM'de kendiliğinden 3. harmonik ilaveli dalga genlik modülasyonu olduğundan histerezis akım kontrolü ve SPWM gibi diğer anahtarlama yöntemlerine göre daha geniş bir doğrusal modülasyon aralığına sahiptir, 4) Bir anahtarlama durumundan diğerine geçişte yapılan düzenleme ile anahtarlama sayısı ve buna bağlı olarak anahtarlama kayıpları azaltılabilir [4].

Modülasyon sinyallerinin üretilebilmesi için uygun bir akım kontrolünün yapılması gerekmektedir. 3 faz 4 telli dağıtım sistemine bağlı dengesiz ve doğrusal olmayan yükler nötr telinden akım akmasına, harmonik bileşenler ortaya çıkmasına ve sistemin reaktif güç ihtiyacına neden olacaktır. Bu ihtiyaçların karşılanması için literatürde çeşitli referans akım üretim teknikleri uygulanmaktadır [1]. Harmonik eliminasyon için literatürde zaman alanlı (Senkron Referans Çatı dq0, Anlık Güç Teorisi p-q) ve frekans alanlı (Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT), Tekrarlamalı Kesikli Fourier Dönüşümü (RDFT)) gibi referans akım üretme yöntemleri mevcuttur [1]-[7]. RDFT yöntemi FFT yöntemi ile kıyaslandığında işlem yükü oldukça azalmakta ve kayan pencere sayesinde her örnekleme zamanında DFT alınabildiğinden sistemin tepki süresi diğer frekans alanlı yöntemlere nazaran daha düşüktür. Seçilmiş harmonik eliminasyon yapılmak istenildiğinden ve yukarıda sayılan özelliklerinden dolayı RDFT yöntemi EKD'de harmonik referans akım üretim tekniği olarak kullanılmıştır. Sistemin reaktif güç kompanzasyonunun yapılabilmesi için literatürde incelenen yöntemler arasında Senkron Referans Çatı yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışmada Senkron Referans Çatı yöntemi, kontrol alanında sunduğu kolaylıklar, referans çıkartımı için gerilim bilgisinden faz-kilitlemeli döngü dışında yararlanmıyor olması ve ileride yapılacak deneysel çalışma için işlemci uygulanabilirliği açısından tercih edilmiştir. Belirtilen yöntemler sadece harmonik eliminasyon ve reaktif güç kompanzasyonunda kullanılmayıp aynı zaman da nötr akım kompanzasyonu ve yük dengeleme referans akım çıkarımları için de kullanılmaktadırlar. EKD'nin performans analizi PSCAD ortamında yapılmış ve sistemin dinamik performansına dair çıktılar ve ani yük değişimlerine karşı verdiği tepkiler analiz edilerek çıktılar Benzetim Çalışmaları kısmında paylaşılmıştır.

2. EKD Modeli

3 faz, 4 telli EKD topolojisi Şekil 1'de gösterilmiştir. 2 seviyeli, orta noktası nötr noktasına bağlı olan ayrıık kapasitör topolojisine dayalı gerilim kaynaklı evirgeç yapısı kullanılan sistem ortak bağlantı noktasına bir LCL ara yüz filtresi ile bağlanmıştır. Şekil 1'deki gösterimde V_A , V_B , V_C ortak bağlantı noktası gerilimlerini I_{la} , I_{lb} , I_{lc} yük akımlarını, I_{fa} , I_{fb} , I_{fc} ise filtre akımlarını göstermektedir. C_{T1} ve C_{T2} DA bağ kapasitörleri gerilim kaynaklı evirgecin giriş gerilimlerini verilen referans değerinde sabit tutabilmek için kullanılmıştır.

Sistem modellemesinde kullanılmayan ön şarj sistemi DA bağ kondansatörlerinin sistem çalışmadan önce şarj edilmesini ve çalışmaya hazır halde bekletilmesi için kullanılmaktadır.

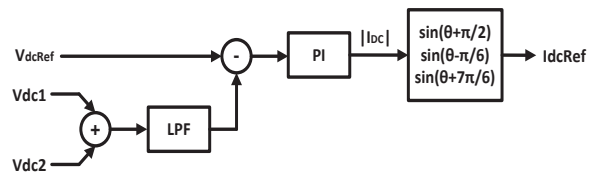


Şekil 1: 3 faz 4 telli EKD devre yapısı

3. Kontrol Algoritması

3.1. DA Bağ Kontrolü

DA bağ gerilimi kontrolü Şekil 2'de gösterildiği gibi PI kontrolcü kullanılarak gerçekleştirilmekte ve akım referansı elde edilmektedir. Gerilim kaynaklı evirgeç yapısında bulunan ayrıık kapasitörlerin üretim toleransları dikkate alındığında iki kondansatörün kapasitans değerlerinin birbirlerinden farklı olma ihtimaline karşın ayrıık kapasitörlerden gerilim bilgisi C_{T1} ve C_{T2} için V_{dc1} ve V_{dc2} ayrı ayrı alınarak kontrol döngüsünde bir alçak geçirenli filtreden geçirilip referans değerle karşılaştırılmıştır. PI çıkışı kalibrasyon amacı ile simülasyonun 0-0.3 sn aralığında $\sin(\theta+\pi/2)$ ile 0.3-0.6 sn arasında $\sin(\theta-\pi/6)$ ile 0.6-1 sn aralığında $\sin(\theta+7\pi/6)$ ile çarpılmıştır.



Şekil 2: DA Bağ Gerilim Kontrolü

3.2. Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Nötr Akım Kompanzasyonu

Senkron Referans Çatı yönteminde 3 faz akım/gerilim sinyalleri ve gerilim sinyalleri kullanılarak faz kilitlemeli döngü (PLL)'den elde edilen açısız frekans bilgisi ile Park Dönüşümü kullanılarak senkron referans çatının direct (d) ve quadrature (q) bileşenlerine dönüştürülür. Bu yöntem ile birbirine 90° farkla oluşturulmuş d ve q eksenleri PLL'den elde edilen açısız frekans ile döndürülür. Bu sayede, PLL'den elde edilen açısız frekansa sahip 3 faz akım/gerilim sinyalleri DA d ve q sinyallerine dönüştürülür. Dönüşümde kullanılan açısız frekansa sahip olmayan 3 faz akım/gerilim sinyalleri ise AC d ve q sinyallerine dönüştürülür. Bu yöntemde, d bileşeni aktif komponenti, q bileşeni ise reaktif komponenti belirtir. Dönüşüm sırasında PLL'den elde edilen açısız bilgi ile dönüşüm eksenleri pozitif yönde döndürerek gerçekleştirildiğinde pozitif sequence d ve q bileşenleri, dönüşüm eksenleri negatif yönde döndürerek gerçekleştirildiğinde ise negatif sequence d ve q bileşenleri elde edilir [1]. Senkron referans çatıda algılanan akımlar Denklem 1'de verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} i_{lq} \\ i_{ld} \\ i_{l0} \end{bmatrix} = C \times \begin{bmatrix} i_{la} \\ i_{lb} \\ i_{lc} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dönüşüm matrisi C Denklem 2'deki gibidir:

$$C = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta + 2\pi/3) \\ \sin(\theta) & \sin(\theta - 2\pi/3) & \sin(\theta + 2\pi/3) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (2)$$

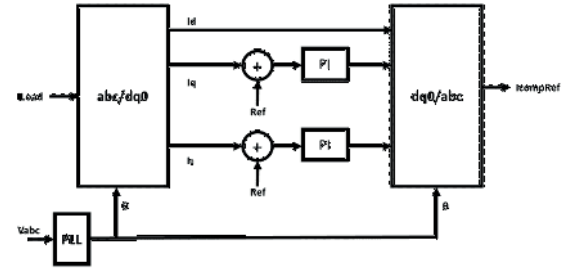
Elde edilen PI çıkışları ve akımın d bileşeni ters dönüşüm bloğuna sokularak modülasyon bloğuna gönderilir. Ters dönüşüm bloğu Denklem 3 ve 4'te verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} V_{ma} \\ V_{mb} \\ V_{mc} \end{bmatrix} = C^{-1} \times \begin{bmatrix} u_q \\ u_d \\ u_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$C^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta - 2\pi/3) & \sin(\theta - 2\pi/3) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta + 2\pi/3) & \sin(\theta + 2\pi/3) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Sistemin nötr akım kompanzasyonu yapabilmesi için şebekeye bağlanacak olan EKD modelinin senkron referans

çatı dönüşümünde 0 eksen bileşeninin dikkate alınması gerekmektedir. Şekil 3'te reaktif güç kompanzasyonu ve nötr akım kompanzasyonu için referans akım üretme şeması gösterilmiştir. Sistemin bir güç faktöründe çalışması için Iq bileşeninin de kullanılan PI kontrolcüsünün referans değeri 0 seçilmiştir. Icompref yük akımının senkron referans çatıda ortak bağlantı noktasından alınan Va, Vb ve Vc gerilimlerinin PLL aracılığı ile oluşturduğu θ faz açısıyla dönmesi sonucunda elde edilen d, q ve 0 bileşenlerinden q bileşeninin ve 0 bileşeninin 0 referanslı bir PI kontrolcüsü ile referans değerlerine yaklaştırılması sonucunda reaktif güç kompanzasyonu ve nötr akım kompanzasyonu yapılmıştır.



Şekil 3: Reaktif Güç Ve Nötr Akım Kompanzasyon Kontrolü

3.3. Harmonik Akım Kompanzasyonu Ve Yük Dengeleme

Bu yöntemde, sabit veri uzunluğuna sahip ve her yeni veri/veri seti ile birlikte kayan bir pencere kullanılarak DFT işlemi gerçekleştirilmektedir. Yöntemde eski pencere ile yeni pencere arasındaki tek fark ilk ve son veridir/veri setidir. Bu sebeple yeni veri setinin DFT' sinin alınmasında eski pencerenin fourier vektörleri kullanılabilir [7]. k'nci örnekleme zamanındaki DFT aşağıdaki gibi Denklem 5'te verilebilir:

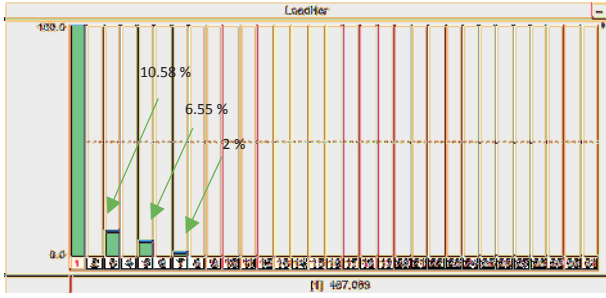
$$X_h(k) = \sum_{i=0}^{N-1} \chi(k-i)W^{-hi} \quad W = e^{-j2\pi/N} \quad (5)$$

Yeni veri/veri seti ile kayan pencerenin, eski pencerenin fourier vektörleri kullanılarak DFT' sinin alınması ise Denklem 6'da gösterilmiştir:

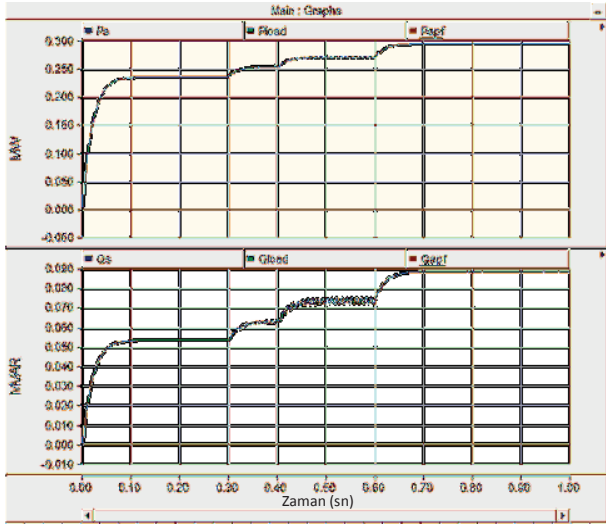
$$X_h(k) = \chi(k) - \chi(k-N) + W^h X_h(k-1) \quad (6)$$

Iharref harmonik bileşen referans akımı sadece temel bileşen, 3., 5. ve 7. harmonik bileşen çıkartımı için kullanılmıştır. Dengesizlik referansını üretmek amacıyla RDFT yöntemi ile elde edilen temel bileşen ve harmonik bileşenlerden sadece temel bileşen kullanılmaktadır. Bu aşamada kaynak akımının ve yük akımının her fazına ait pozitif, negatif ve sıfır bileşenleri bulunmalıdır. Denklem 7'de temel bileşenin (I_{fun}) pozitif (I_{poz}), negatif (I_{neg}) ve sıfır (I₀) bileşeni bulunmuştur.

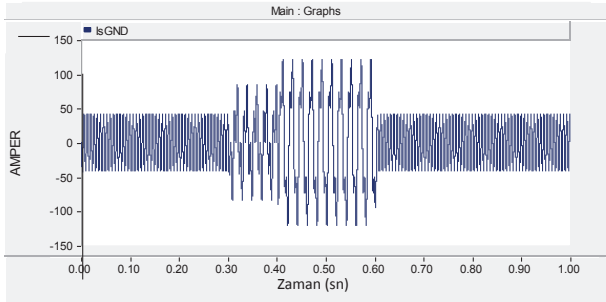
$$I_{apoz} = \frac{1}{3} \times \left(I_{afun} \sin(\alpha) + I_{bfun} \sin\left(\beta + \frac{2\pi}{3}\right) + I_{cfun} \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \right)$$



Şekil 7: Şebeke Akımı Harmonik Spektrumu



Şekil 8: Aktif – Reaktif Güç Akışı (MW – MVAR)

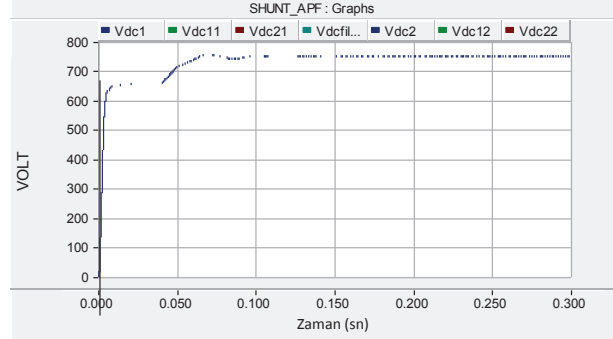


Şekil 9: Nötr Akımı "A"

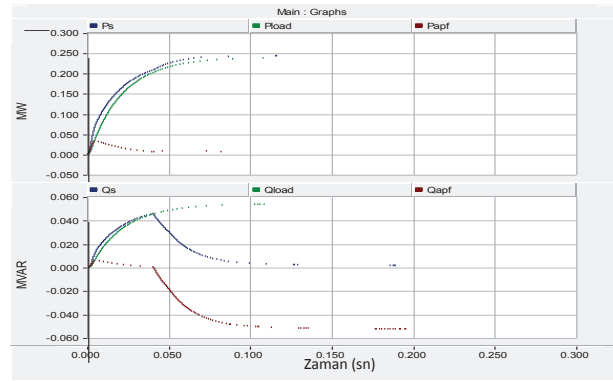
4.1. Yük Dengeli, Harmonik İçeren, Reaktif Güç Çeken ve Nötr Telinden Akım Geçen Durum

Simülasyonun 0-0.3 sn süresi boyunca süren dengeli yük, harmonik üreten, reaktif güç çeken ve nötr telinden akım geçen senaryoda DA bağ kondansatörü referans değeri olan 750 V değerinde Şekil 10'da gösterildiği gibi tutulabilmıştır. EKD algoritması simülasyonun 40. ms.sinde devreye girmektedir. Şekil 11'de gösterildiği üzere EKD reaktif güç kompanzasyonuna başladığı 40. ms'den sonra yaklaşık olarak 50 ms içinde reaktif güç değişimine tepki vererek Şekil 12' de görüldüğü gibi güç faktörünü 1'de tutabilmektedir. Nötr telinden geçen 50A tepe değerindeki akım EKD devreye girişi

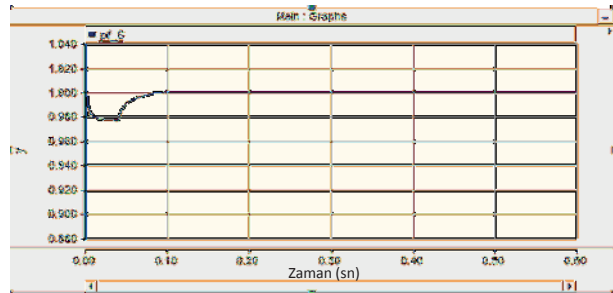
ile beraber Şekil 13'te gösterildiği gibi yaklaşık olarak 60 ms. içinde dengelenmektedir. Bu senaryo süresi boyunca 10,58% oranında 3. harmonik, 6,55% oranında 5. harmonik ve 2% oranında 7. harmonik akımlar Şekil 14'te gösterildiği gibi sırasıyla %0, %0.8 ve %0.7 değerine çekilebilmiştir.



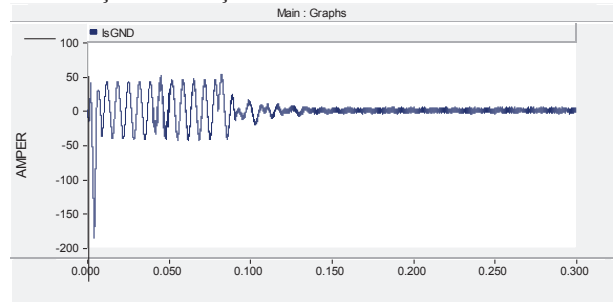
Şekil 10: DA Bağ Gerilimi "V" Filtre Devrede



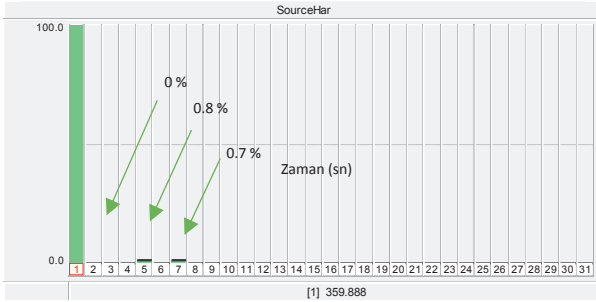
Şekil 11: Aktif – Reaktif Güç Akışı (MW – MVAR) Filtre Devrede



Şekil 12: Güç Faktörü "PF" Filtre Devrede



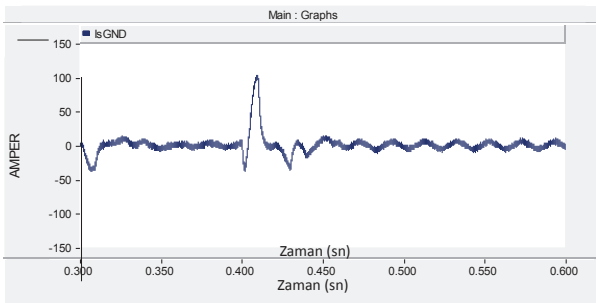
Şekil 13: Nötr Telinden Akan Akım Filtre Devrede



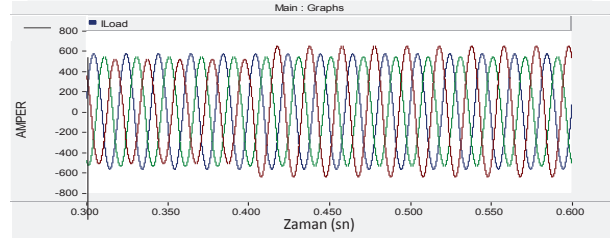
Şekil 14: Şebeke Akımı Harmonik Spektrumu Filtre Devrede

4.2. Yük Dengesiz, Harmonik İçeren Reaktif Güç Çeken ve Nötr Telinden Akım Geçen Durum

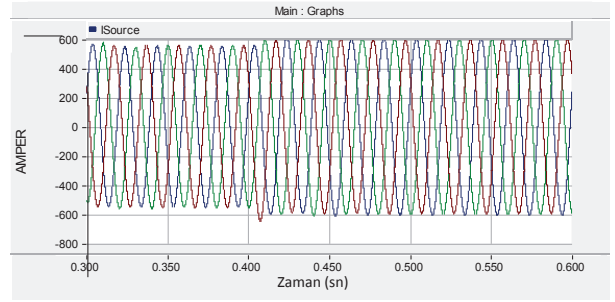
Benzetimin 0.4 sn. sinde oluşturulan bu senaryo da yüklerin dengesizleştirilmesiyle nötr telinden geçen akımın tepe değeri 100 A değerine anlık olarak çıkmaktadır fakat sistem bu değişime Şekil 15'te gösterildiği gibi 30 ms. gibi bir sürede tepki vererek nötr akım kompanzasyonu yapmaya devam etmektedir. Benzetimin 0.4 sn'sinde yüklerin dengesizleştirilmesiyle beraber yük dengeleme algoritması devreye girmektedir 600 A tepe değerinde dengelenen şebeke akımları ve dengesizlik algoritması çalışmadan önceki durum sırasıyla Şekil 16 ve Şekil 17'de verilmiştir. Sitemde baskın olarak bulunan ve benzetim süresi boyunca sisteme enjekte edilen 10,58% oranında 3. harmonik, 6,55% oranında 5. harmonik ve 2% oranında 7. harmonik akımlar dengeli yük durumunda başarılı bir şekilde kompanze edilirken yük dengesizliği durumunda barada %2 oranında 3. harmonik akım bileşeni kaldığı Şekil 18'de gösterilmektedir. Yüklerin dengesizleştiği bu durumda Şekil 19'da gösterildiği gibi DA bağ gerilimi referans değer olan 750 V'ta %5 civarında salınmaya başlamış ve dengesizlik durumu boyunca devam etmiştir.



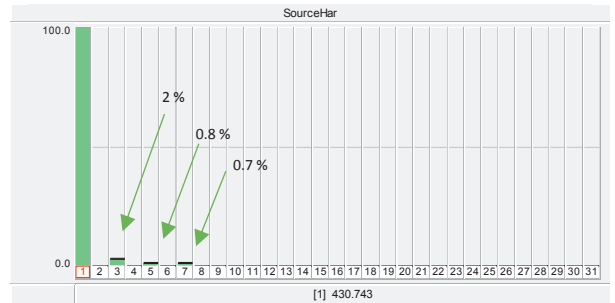
Şekil 15: Nötr Telinden Akan Akım "A" Filtre Devrede



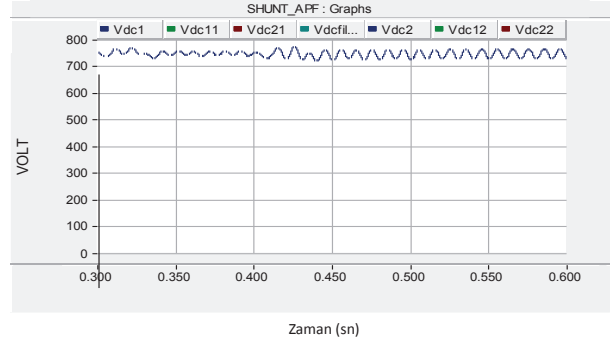
Şekil 16: Yük Akımı "A"



Şekil 17: Şebeke (Besleme) Akımı "A" Filtre Devrede

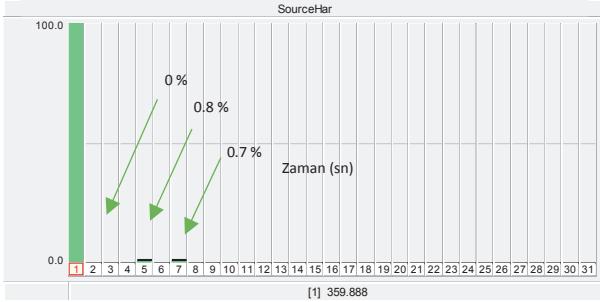


Şekil 18: Şebeke Akımı Harmonik Spektrumu Filtre Devrede



Şekil 19: DA Bağ Gerilimi "V" Filtre Devrede

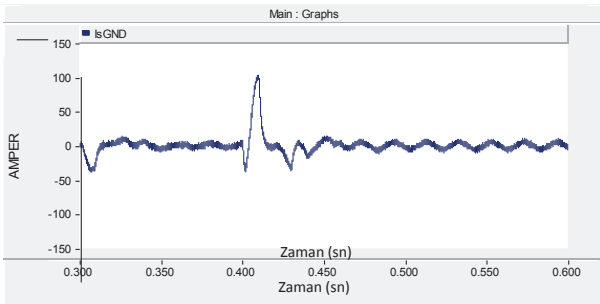
Şekil 13: Nötr Telinden Akan Akım Filtre Devrede



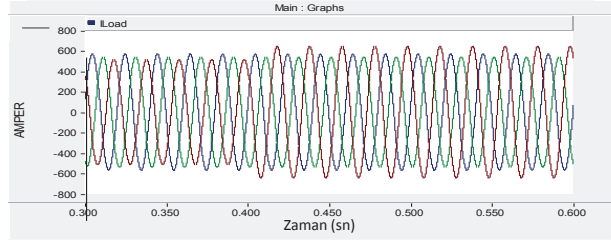
Şekil 14: Şebeke Akımı Harmonik Spektrumu Filtre Devrede

4.2. Yük Dengesiz, Harmonik İçeren Reaktif Güç Çeken ve Nötr Telinden Akım Geçen Durum

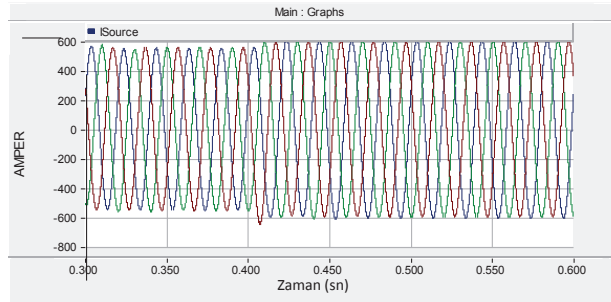
Benzetimin 0.4 sn. sinde oluşturulan bu senaryo da yüklerin dengesizleştirilmesiyle nötr telinden geçen akımın tepe değeri 100 A değerine anlık olarak çıkmaktadır fakat sistem bu değişime Şekil 15'te gösterildiği gibi 30 ms. gibi bir sürede tepki vererek nötr akım kompanzasyonu yapmaya devam etmektedir. Benzetimin 0.4 sn'sinde yüklerin dengesizleştirilmesiyle beraber yük dengeleme algoritması devreye girmektedir 600 A tepe değerinde dengelenen şebeke akımları ve dengesizlik algoritması çalışmadan önceki durum sırasıyla Şekil 16 ve Şekil 17'de verilmiştir. Sitemde baskın olarak bulunan ve benzetim süresi boyunca sisteme enjekte edilen 10,58% oranında 3. harmonik, 6,55% oranında 5. harmonik ve 2% oranında 7. harmonik akımlar dengeli yük durumunda başarılı bir şekilde kompanze edilirken yük dengesizliği durumunda barada %2 oranında 3. harmonik akım bileşeni kaldığı Şekil 18'de gösterilmektedir. Yüklerin dengesizleştiği bu durumda Şekil 19'da gösterildiği gibi DA bağ gerilimi referans değer olan 750 V'ta %5 civarında salınmaya başlamış ve dengesizlik durumu boyunca devam etmiştir.



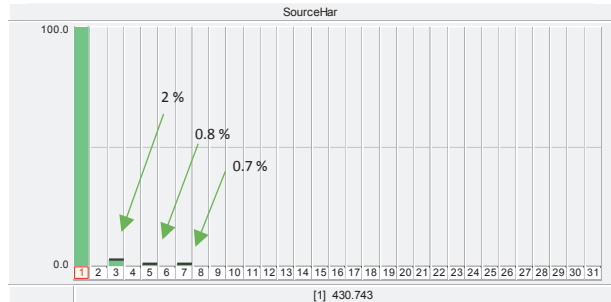
Şekil 15: Nötr Telinden Akan Akım "A" Filtre Devrede



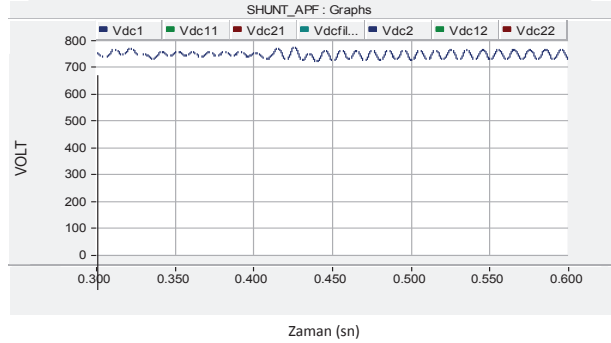
Şekil 16: Yük Akımı "A"



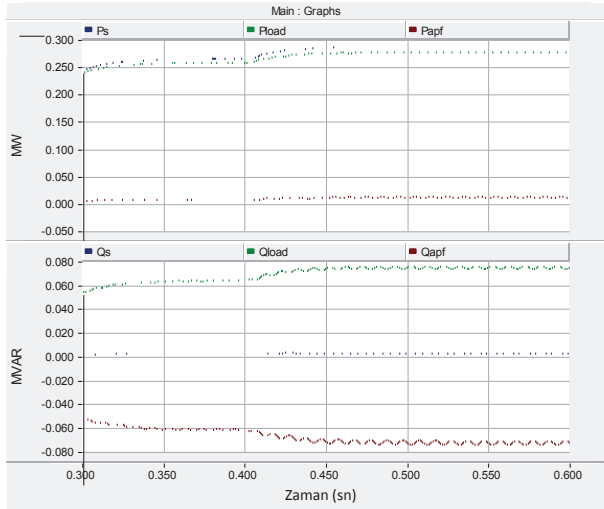
Şekil 17: Şebeke (Besleme) Akımı "A" Filtre Devrede



Şekil 18: Şebeke Akımı Harmonik Spektrumu Filtre Devrede



Şekil 19: DA Bağ Gerilimi "V" Filtre Devrede



Şekil 20: Aktif – Reaktif Güç Akışı (MW – MVAR) Filtre Devrede

5. Sonuçlar

Sisteme paralel bağlı EKD'nin reaktif güç kompanzasyonu, nötr akım kompanzasyonu, düşük dereceli harmonik akım kompanzasyonu ve yük dengeleme performansı farklı senaryolar oluşturularak test edilmiş ve EKD'nin sistem değişimlerine tepki verdiği DA bağ gerilimini referans değerinde tutabildiği gösterilmiştir. Sistemin dinamik değişimlere verdiği tepkiler ayrıca incelenmiştir. Geleneksel filtreme ve kompanzasyon sistemleri ile karşılaştırıldığında sistemin bir birinden farklı ihtiyaçları tek başına karşılayabilme yeteneği olduğu simülasyon sonuçlarında anlatılmıştır. Yapılacak olan deneysel çalışmada baz alınacak olan bu kontrol döngüsü ve simülasyon çalışması çıktuları deneysel çalışmada kullanılacak olan kontrol sistemini oluşturacaktır.

6. Kaynaklar

- [1] Mitigation of power quality problems using distribution static synchronous compensator: a comprehensive review, Mohammed Barghi Latran, Ahmet Teke, Yeliz Yoldas, IET Journals, 2015.
- [2] Deniz, E., Altun, H., 2007. Beş Seviyeli İzole DC Kaynaklı Kaskat İnverterin SPWM Tekniği İle Kontrolü, SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(1), 1-9.
- [3] Hasan Hüseyin Mutlu, Harmonic and Reactive Power Compensation by Using DSP Based Parallel Active Power Filter, 2011
- [4] Rathnakumar, D., Perumal, J.L., Srinivasan, T., 2005. A New Software Implementation of Space Vector PWM, IEEE Southeast Conference, India, 8-10 April, 131-136.
- [5] Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonu Kullanan Üç Seviyeli H-Köprü Evirgeci Tabanlı DStatkom'un Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi, Erkan Deniz, Aralık 2010
- [6] M. Saeedifard, H. Nikkhajoei, and R. Iravani, "A space vector modulated statcom based on a three-level neutral point clamped converter," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 22, no. 2, pp. 1029–1039, April 2007
- [7] Cengiz, Çağın Barış, "3 Phase 4 Wire Parallel Active Power Filter Design and Implementation", 2014

- [8] S. Iyer, A. Ghosh, and A. Joshi, "Inverter topologies for DSTATCOM applications—a simulation study," Electric Power Systems Research, vol. 75, no. 2-3, pp. 161–170, 2005.
- [9] B. Singh, P. Rastgoufard, B. Singh, A. Chandra, and K. Al-Haddad, "Design, simulation and implementation of three-pole/four-pole topologies for active filters," IEE Proceedings -Electric Power Applications, vol. 151, no. 4, pp. 467–476, July 2004.
- [10] B. Singh, P. Rastgoufard, B. Singh, A. Chandra, and K. Al-Haddad, "Design, simulation and implementation of three-pole/four-pole topologies for active filters," IEE Proceedings -Electric Power Applications, vol. 151, no. 4, pp. 467–476, July 2004.
- [11] Geddada, Nagesh, Srinivas Bhaskar Karanki, and Mahesh K. Mishra. "Synchronous reference frame based current controller with SPWM switching strategy for DSTATCOM applications." Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), 2012 IEEE International Conference on. IEEE, 2012.

Ev Tipi İndüksiyon Ocaklar İçin Çok Bobinli AC-AC Dönüştürücü Tasarımı Multi-Coil AC-AC Converter Design for Household Induction Hobs

Metin Öztürk

Elektrik Makinaları ve Güç Elektroniği ABD
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
metinytu@gmail.com

Nihan Altıntaş

Elektrik Makinaları ve Güç Elektroniği ABD
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
naltin@yildiz.edu.tr

Özet- Kullanıcı emniyeti, verimli ısıtma, kolay temizleme, hızlı ısıtma ve akıllı tasarım nedenlerinden ötürü, indüksiyon ısıtma teknolojisi ev tipi ısıtma ve pişirme uygulamalarında oldukça popülerdir. İndüksiyon teknolojisi için geliştirilen teknik gelişme ve çalışmalar, manyetik tasarım, güç elektroniği ve kontrol teknikleri alanlarında görülebilir. Teknik çalışmaların amacı, toplam sistem maliyetini arttırmadan indüksiyon ısıtmanın gelişimi üzerine odaklanmaktadır. Bunun yanı sıra güç elektroniği uygulamalarındaki gelişmeler kontrol teknikleriyle birlikte düşünülmelidir. Bu çalışma, ev tipi indüksiyon ısıtmalı ocaklar için yeni çok çıkışlı AC-AC dönüştürücü ve bu dönüştürücü için yeni bir kontrol yöntemini tanımlamaktadır. Yeni geliştirilen dönüştürücü, mevcut çözümler ile de karşılaştırır. Verimlilik, sistemde kullanılan yarı iletken miktarı, toplam sistem maliyeti ve kontrol esnekliği, karşılaştırma için ana konuları oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler— Kontrol yöntemi, AC-AC dönüştürücü, çoklu bobin, indüksiyonlu pişirme sistemleri, Rezonans dönüştürücüler, ev tipi pişiriciler, indüksiyon ısıtmalı ocak, yarım köprü evirici, Kısmi Rezonans evirici.

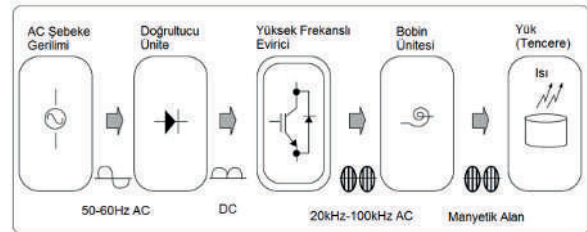
Abstract- Due to user safety, efficient heating, easy cleaning, fast heating, and smart design reasons, induction heating technology is many popular in home appliances. The technical developments for the induction technology can be seen in magnetic design, power electronic, and control techniques. The technical developments focus on developing induction heating futures without increase total system cost. Improvements in power electronic part should be considered with control techniques. This paper describes a new control method for multiple output ac-ac converter for induction cooker. Also compares the available solutions with the proposed one. Efficiency, semi-conductor quantity, total system cost, and control flexibility are main topics for comparison.

Index Terms—Control method, ac-ac converter, multiple coil, induction cooking systems, resonant converters, home appliances, induction cookers, single ended converters, half bridge converters.

Bu çalışma Mamur Teknoloji A.Ş. tarafından desteklenmektedir.

I. Giriş

İndüksiyonlu ısıtma sistemleri (IH), yüksek performansı nedeniyle birçok endüstriyel, evsel ve tıbbi uygulamalarda tercih edilen bir teknolojidir [1][2]. İndüksiyonla ısıtma sistemlerinin temel bileşenleri, genellikle alternatif gerilimli şebekenin doğrultulmasını sağlayan doğrultucu ünite ve rezonanslı evirici ünitesidir [2][3]. İndüksiyonla ısıtma için güç akış çevrimi Şekil 1'de gösterilmiştir.



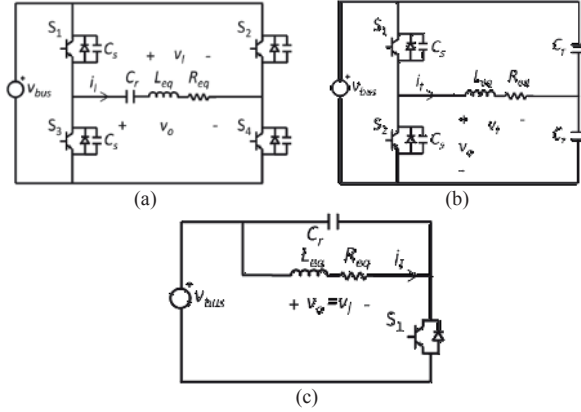
Şekil 1 İndüksiyonla ısıtma için Güç Akış Çevrimi

İndüksiyonla ısıtma amacıyla tasarlanan uygulamaların maliyet, çıkış gücü, performans ve boyut beklentilerine göre farklı güç elektroniği topolojileri önerilmiş ve uygulama alanı bulmuştur. [4].

Ev tipi ve endüstriyel kullanım amacıyla geliştirilen indüksiyonla ısıtma teknolojisi, özellikle son on yılda yumuşak anahtarlama teknikleri ve güç elektroniği devreleri sayesinde ilerleme kaydetmiştir. Bundan sonraki çalışmalar ise daha verimli ve düşük maliyetli çalışmalar üzerine olacaktır[5][6].

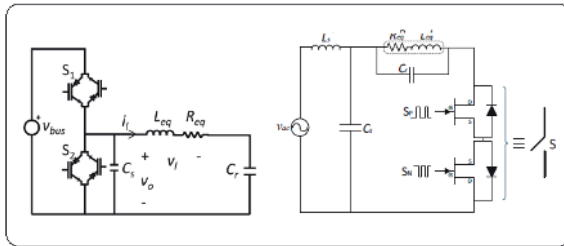
Her bir uygulamada değerlendirilmesi gereken maliyet ve performans arasındaki dengeye bağlı olarak farklı rezonanslı devre topolojileri önerilmiştir [7]. Sıklıkla kullanılan topolojiler tam köprü, yarım köprü ve kısmi rezonans evirici devreleridir. Eşdeğer devre şemaları Şekil 2'de gösterilmektedir.

Yarım köprü evirici devresi, genellikle yüksek güçlü ev tipi uygulamalarda tercih edilirken, kısmi rezonans evirici yapıları düşük maliyetli ve düşük güçlü ev tipi uygulamalarda tercih edilmektedir



Şekil 2 (a) Tam Köprü Seri Rezonans Evirici, (b) Yarım Köprü Seri Rezonans Evirici (c) Tek Anahtarlı Kısmi Rezonans Evirici

AC-AC dönüştürücü içeren evirici devreleri, toplam devre elemanı sayısındaki azalma nedeniyle özellikle son dönemde birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır [3][7]. Bu durum sadece devre elemanı sayısının azalmasına değil aynı zamanda da verimlilik ve güvenilirlik açısından iyileşmeye neden olmaktadır. [7]. AC-AC Rezonans dönüştürücü örnekleri Şekil. 3'de gösterilmektedir.



Şekil. 3 AC-AC Rezonans Dönüştürücü

Son zamanlarda, çoklu bobin içeren ve tek kaynak ile birden fazla bobinin kontrol edilebildiği induksiyonla ısıtma yöntemleri geliştirilmiştir [1]. Çok bobinli tasarımların temel amacı, ısı dağılımını iyileştirmektir [9].

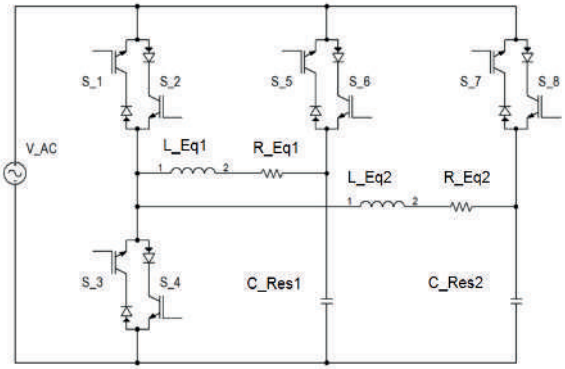
Bu çalışmada, induksiyon ocak için çok çıkışlı AC-AC dönüştürücüsü için yeni bir kontrol yöntemi anlatılmıştır. Ayrıca mevcut çözümler, önerilen çözüm ile karşılaştırılmıştır. Verimlilik, yarı iletken miktarı, gürültülü çalışma, toplam sistem maliyeti ve kontrol esnekliği, karşılaştırma için ana konuları oluşturmaktadır.

II. ÖNERİLEN AC-AC DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN TANIMI

Kullanılan yarı iletken sayısı ve performans beklentisine göre IH' de yaygın olarak kullanılan evirici yöntemleri Tam Köprü Evirici, Yarım Köprü Evirici ve Kısmi Rezonans Evirici devreleridir. Tek kaynaktan tek bobin besleyebilen evirici topolojilerine ek olarak, modern tasarımlarda ısı dağılımlarını

iyileştirmek için tasarlanmış çok bobinli sistemler de göze çarpmaktadır [9].

Hemen hemen tüm induksiyon ile ısıtma/pişirme yöntemleri, güç tüketimini ayarlamak için değişken frekans kontrolü kullanılmaktadır. Bunun sonucu olarak, iki veya daha fazla evirici, aynı zaman diliminde farklı anahtarlama frekanslarıyla çalıştırıldığında duyulabilir gürültüye neden olur. Bu gürültü, düşük frekanslı harmoniklerin bir sonucudur. Duyulabilir gürültü, özellikle ev kullanıcısı için rahatsız edici bir unsurdur. Güç kontrolü için değişken frekans uygulamasından çok sabit frekans kontrolü kullanmak, duyulabilir gürültünün önüne geçebilmek için uygulanan yöntemlerden en bilinenidir [10]



Şekil 4 Önerilen Dönüştürücü İçin Eşdeğer Devre Şeması

Bu çalışmada, induksiyon ocak için çok çıkışlı AC-AC dönüştürücüsü için yeni bir kontrol yöntemi anlatılmıştır. Şekil 4 önerilen yöntemde kullanılan eşdeğer devre şemasını göstermektedir. Rezonans devresi, eşdeğer direnç ve endüktans [7] olarak modellenir. Isıtılmak amacıyla kullanılan tencerenin ve tencereye ısı aktarmak için kullandığımız bobinin eşdeğeri olarak R_Eq ve L_Eq gösterilmektedir. Klasik uygulamalardan farklı olarak, bu çalışmada önerilen dönüştürücü, ters paralel çalışabilen iki yarı iletken oluşmaktadır [2].

Şekil 4'te önerilen güç dönüştürücü hem yarı köprü hem de kısmi rezonans dönüştürücü olarak çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Önerilen dönüştürücü tasarımında, yarı köprü ve tek anahtarlı kısmi rezonans kontrol teknikleri kullanılabilir. İstenilen güç ve bobin yükü gibi sistem taleplerine göre, rezonans tekniği kontrolör tarafından seçilebilir.

Önerilen tasarımdan istenen performansın elde edilebilmesi için, modülasyon ve kontrol algoritmaları, güç dönüştürücüsünü doğru bir şekilde kontrol etmelidir [9]. Önerilen devrenin hangi rezonans tekniği kullanılarak çalıştırılacağı, öncelikli olarak, toplam sistem verimliliği ve duyulabilir ses kistaslarına bağlıdır. Örneğin, birden fazla bobinin çalıştırılması gereken durumlarda, duyulabilir sesi önlemek için yarı köprü çalışma tercih edilirken, bağımsız bobin çalışma durumlarında, esneklik amacıyla, kısmi rezonans çalışma seçilebilir. Bu sayede hem tek olarak bobinler çalışabilirken, hem de çoklu çalışma durumlarında duyulabilir sesin önüne geçilmiş olacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışmanın ana konusu, tek bir dönüştürücü devresi kullanılarak sistem taleplerine göre farklı güç topolojilerinin uygulanabilmesidir. Önerilen devrenin tüm çalışma koşulları PSpice programı yardımıyla test edilmiştir.

III. ÖNERİLEN AC-AC DÖNÜŞTÜRÜCÜ İÇİN YARIM KÖPRÜ ÇALIŞMA ARALIĞI

Yarım köprü topoloji, iki yarı iletken devre elemanı ve seri rezonans devresinden oluşmaktadır. Yarı iletken devre elemanları uygun sırayla, belirlenen frekansta, dönüşümlü olarak çalışırlar [11]. Yarım köprü çalışmada, devrede bulunan yük veya yükler iki yarı iletken güç elemanı kullanılarak, aynı frekansta ve eş zamanlı olarak çalıştırılırlar.

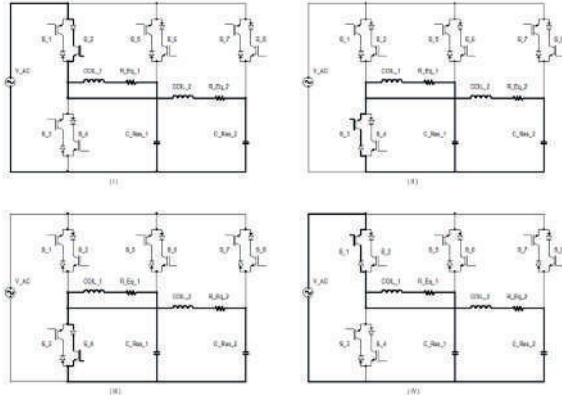
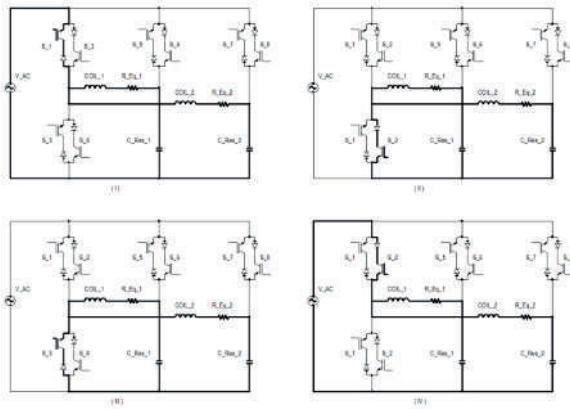


Fig. 5 Pozitif Alternans Yarım Köprü Çalışma



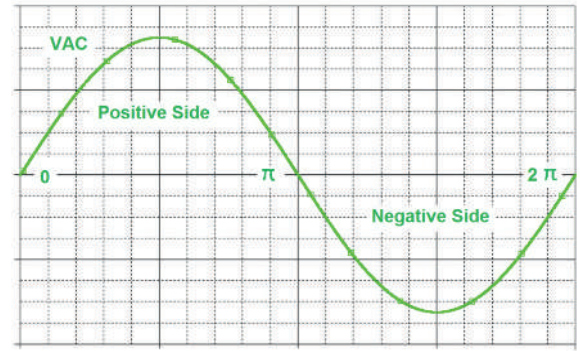
Şekil 6 Negatif Alternansta Yarım Köprü Çalışma

Dönüştürücüde kullanılan anahtarlama frekans aralığı duyulabilir ses, yüke (tencere) aktarılacak güç ve devre elemanının çalışabileceği en fazla anahtarlama frekansları ile sınırlanmıştır. Bu değerlerin pratik karşılığı da 20kHz-100kHz aralığıdır. Dönüştürücüde kullanılan anahtarlama frekansının, giriş şebeke frekansından çok daha yüksek olduğu düşünüldüğünde (örneğin 20kHz/20Hz), Şekil 4'te önerilen AC-AC dönüştürücü analizi, sabit bir pozitif besleme gerilimi VS varsayılarak basitleştirilebilir ve negatif şebeke gerilimi için de tümeleyici sonuçlar elde edilir [2] [3].

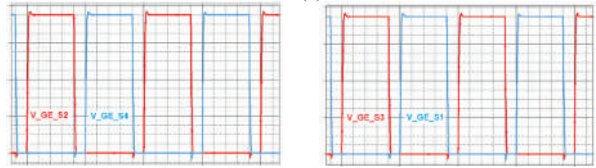
Fig. 5'de pozitif alternans yarım köprü çalışma aralıkları, dört farklı durum için gösterilmiştir. Durum I' den Durum IV'e kadar olağan yarım köprü çalışma işlemi gerçekleşir. Durum I de akım, S₂ yarı iletkeni yardımıyla indüksiyon yüklerine aktarılır. Benzer şekilde Durum III de, S₄ yarı iletkeni, ters rezonans

devre akımı için devreye girecektir. S₁ ve S₃ yarı iletken elemanları, yarım köprü çalışması için diyot görevi yapar. S₁ yarı iletkeni Durum IV için, S₃ yarı iletkeni de Durum II için diyot gibi çalışır.

Şekil 6'da görülen negatif alternanstaki çalışma durumu için S₁ ve S₃ yarı iletkenleri kontrol edilir ve bir anahtar olarak işlev görür. S₂ ve S₄ anahtarları, yarım köprü çalışması için diyot görevi yapar. Bununla birlikte, ulaşılan sonuçlar pozitif alternans aralığında elde edilen sonuçlarla aynıdır.

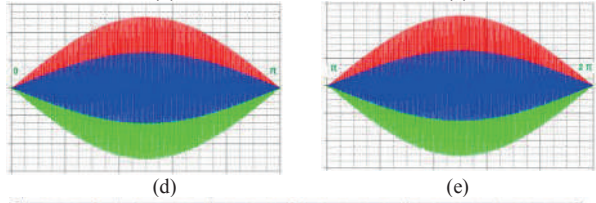


(a)



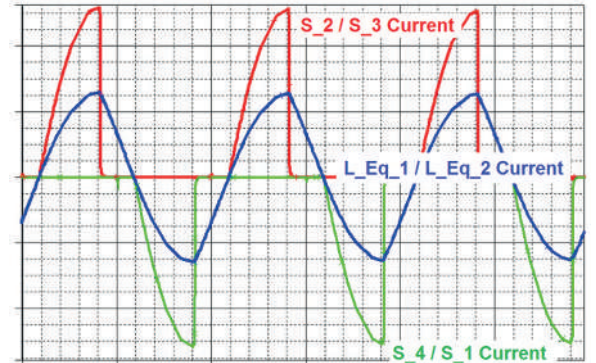
(b)

(c)



(d)

(e)



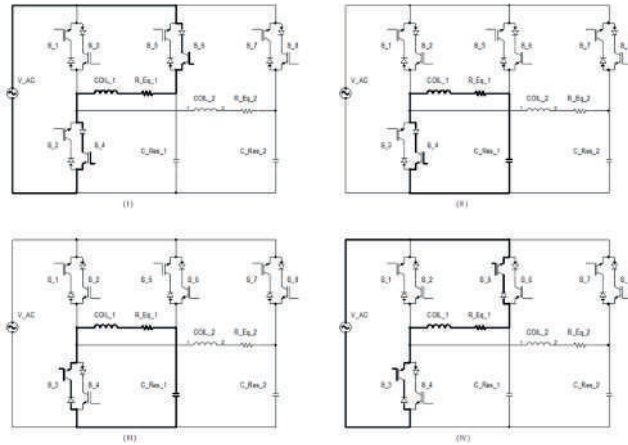
(f)

Şekil 7 Önerilen Dönüştürücü İçin Yarım Köprü Çalışma Anı Dalga Şekilleri: (a) Ana Şebeke Gerilimi, (b) Pozitif Alternans İçin Kapı Sürme Sinyalleri, (c) Negatif Alternans İçin Kapı Sürme Sinyalleri, (d) Pozitif Alternans İçin Yarıiletken ve Bobin Akımları, (e) Negatif Alternans İçin Yarıiletken ve Bobin Akımları, (f) Yarıiletken ve Bobin Akımı Detayı

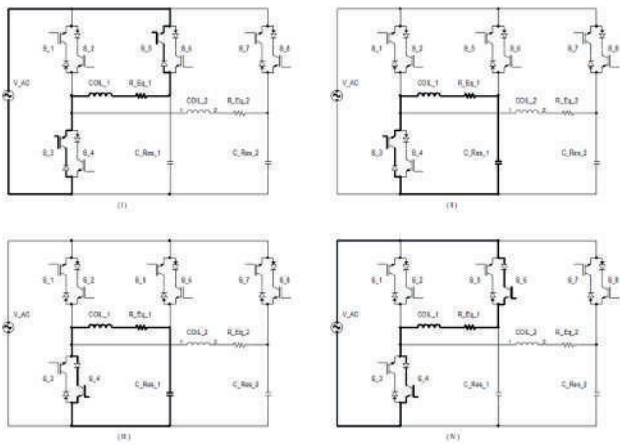
Önerilen dönüştürücünün yarı köprü çalışmasının temel yararı birden fazla bobinin beslendiği durumlarda duyulabilir sesin önüne geçilmesidir. Devreden beslenen tüm indüksiyon yükleri iki yarı iletken yardımıyla kontrol edilerek aynı frekansta çalıştırılabilir. Ayrıca indüksiyon yüklerinin miktarı sistem taleplerine göre artırılabilir.

IV. ÖNERİLEN AC-AC DÖNÜŞTÜRÜCÜ İÇİN KİSİMİ REZONANS ÇALIŞMA ARALIĞI

Şekil 8'de gösterildiği gibi, önerilen dönüştürücü, kısmi rezonans dönüştürücü olarak kullanılabilir. S_1 ve S_2 yarı iletkenleri, kısmi rezonans çalışmada daima kesimde tutulurlar. S_3 ve S_4 anahtarları toplam yük akımlarını taşır. Besleme geriliminin yönüne bağlı olarak, kısmi rezonans çalışma için S_5, S_6, S_7 ve S_8 anahtarları kullanılır.



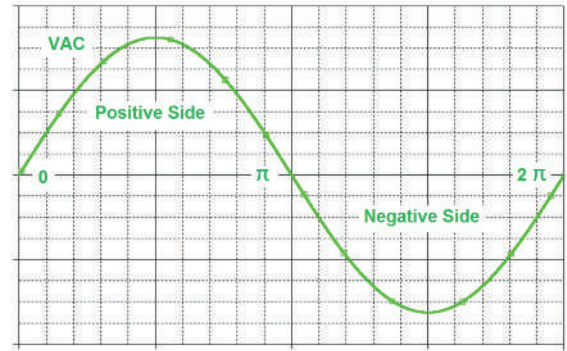
Şekil 8 Pozitif Alternans Kısmi Rezonans Çalışma



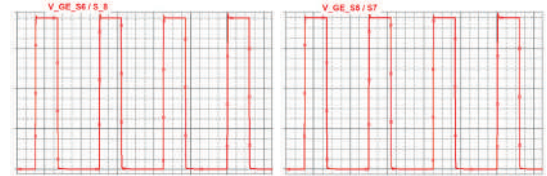
Şekil 9 Negatif Alternans Kısmi Rezonans Çalışma

Negatif alternans kısmi rezonans çalışması için S_5 anahtarı Coil_1 (L_Eq_1) yükünü besler. Durum I' den Durum IV' e kadar, S_3, S_4 ve S_6 yarı iletkenleri sürekli iletimde tutulmalıdır. Bu durum, Coil_2' yi (L_Eq_2) sürmek için

kullanılan S_7 anahtarı için de aynıdır. S_3, S_4 ve S_8 yarı iletkenleri sürekli iletimde tutulmalıdır.

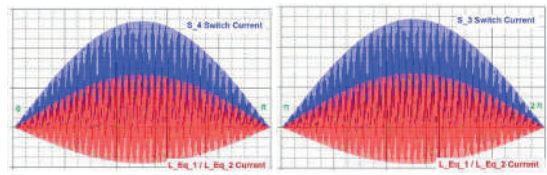


(a)



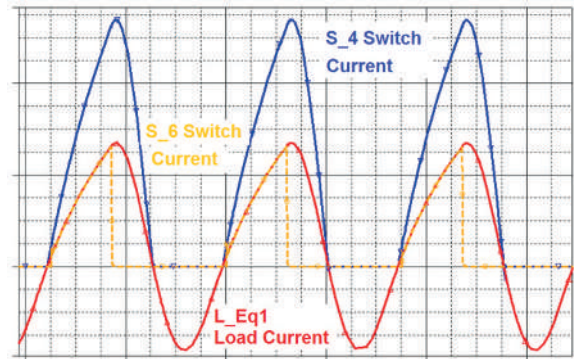
(b)

(c)



(d)

(e)



(f)

Şekil 10 Önerilen Dönüştürücü İçin Kısmi Rezonans Çalışma Anı Dalga Şekilleri: (a) Ana Şebeke Gerilimi, (b) Pozitif Alternans İçin Kapı Sürme Sinyalleri, (c) Negatif Alternans İçin Kapı Sürme Sinyalleri, (d) Pozitif Alternans İçin Yarıiletken ve Bobin Akımları, (e) Negatif Alternans İçin Yarıiletken ve Bobin Akımları, (f) Yarıiletken ve Bobin Akımı Detayı

Pozitif alternans kısmi rezonans çalışması için S₆ anahtarı Coil₁ (L_{Eq_1}) yükünü besler. Durum I'den Durum IV'e kadar, S₃, S₄ ve S₅ yarı iletkenleri sürekli iletimde tutulmalıdır. Bu durum, Coil₂'yi (L_{Eq_2}) sürmek için kullanılan S₈ anahtarı için de aynıdır. S₃, S₄ ve S₇ yarı iletkenleri sürekli iletimde tutulmalıdır.

Önerilen dönüştürücü tasarımı ile tüm indüksiyon yükleri, kısmi rezonans yöntemiyle bağımsız olarak kontrol edilir. Bu durum, özellikle çoklu bobin uygulamalarında yararlı olabilir. Bobinlerden biri kullanılabilir, diğeri kullanılmaz. Veya bir bobin yüksek güç için çalıştığı zaman, diğeri düşük güç için kullanılabilir.

İndüksiyon bobin (yük) sayısı, sistem taleplerine göre arttırılabilir. Bununla birlikte, yük miktarı S₃ ve S₄ yarı iletkenlerinin akım dayanımıyla sınırlanır, çünkü bu anahtarlar toplam yük akımlarını taşır.

V. GELENEKSEL DÖNÜŞTÜRÜCÜLER İLE KARŞILAŞTIRMA

Önerilen dönüştürücü, toplam yarıiletken miktarı ve aktif bileşen miktarı açısından geleneksel dönüştürücülerle karşılaştırılabilir.

Hesaplamaya devrelerde kullanılan toplam yarı iletken sayısı ve toplam aktif yarı iletken sayısı eklendiğinde, önerilen AC-AC dönüştürücüsünün bazı avantajları ortaya çıkmaktadır. Örneğin, önerilen dönüştürücünün yarım köprü çalışma anı için, aktif yarı iletken sayısı diğer dönüştürücülerden daha azdır. Bu durum, toplam sistem verimliliğinin artmasına, toplam kart boyutlarının ve maliyetin düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca çoklu yük koşullarında duyulabilir sesi önlemek için aynı frekansla çalışan birden fazla bobin kullanılabilir.

Öte yandan, önerilen dönüştürücünün kısmi rezonans çalışma aralığında, tüm indüksiyon yükleri bağımsız olarak kontrol edilir. Bobinlerden biri kullanılırken diğeri kullanılmaz veya bir bobin yüksek güç için çalıştığı zaman, diğeri düşük güç için kullanılabilir.

VI. SONUÇLAR

Bu çalışmada; ev tipi indüksiyon ısıtmalı ocaklar için yeni çok çıkışlı AC-AC dönüştürücü ve bu dönüştürücü için yeni bir kontrol yöntemi verilmiştir. Önerilen güç dönüştürücüsü hem yarım köprü hem de kısmi rezonans dönüştürücü olarak çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışma, teorik ve sistematik olarak yapılmış, verim, maliyet, boyut ve kontrol kolaylığı gibi yönler üzerinde durulmuştur.

Ayrıca mevcut çözümler önerilen çözüm ile karşılaştırılmıştır. Verimlilik, yarı iletken miktarı, duyulabilir gürültü, toplam sistem maliyeti ve kontrol esnekliği, karşılaştırma için ana konuları oluşturmaktadır.

Hesaplamaya devrelerde kullanılan toplam yarı iletken sayısı ve toplam aktif yarı iletken sayısı eklendiğinde, önerilen AC-AC dönüştürücüsünün bazı avantajları ortaya çıkmaktadır.

Diğer taraftan, bu çalışmanın ana konusu, aynı dönüştürücü ile farklı güç topolojilerinin uygulanabilmesidir.

VII. KAYNAKLAR

- [1] François Forest, Sébastien Faucher, Jean-Yves Gaspard, Didier Montloup, Jean-Jacques Huselstein, and Charles Joubert, "Frequency-Synchronized Resonant Converters for the Supply of Multiwinding Coils in Induction Cooking Appliances" IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol. 54, no. 5, Feb. 2007.
- [2] H. Sarnago, O. Lucia, A. Mediano, and J. M. Burdio, "A Class-E Direct Ac-Ac Converter with Multi-Cycle Modulation for Induction Heating Systems", IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol. 61, no. 5, Page(s) 2521-2530, May 2014.
- [3] Hector Sarnago, Oscar Lucia, Arturo Mediano, , and Jose M. Burdio, "Direct AC-AC Resonant Boost Converter for Efficient Domestic Induction Heating Applications", IEEE Transaction on Power Electronics, vol. 29, no. 3, March 2014.
- [4] A. Dominguez, L.A. Barragan, A. Otin, D. Puyal, I. Urrizal, D. Navarro, "Decoupling Output Power Control of Two Series Resonant Inverters Sharing Resonant Capacitor for Domestic Induction Heating", IEEE 15th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL), Page(s) 1-6, June 2014.
- [5] Tomoakzu Mishima, Yuki Nakagawa, Mutsuo Nakaoka, "A Novel Bridgeless Boost Half-Bridge ZVS-PWM Single-Stage Utility Frequency AC-High Frequency AC Resonant Converter for Domestic Induction Heaters", International Power Electronics Conference (IPEC-Hiroshima 2014 ECCE-ASIA), May 2014.
- [6] Tomokazu Mishima, Yuki Nakagawa, Mutsuo Nakaoka, "A Bridgeless BHB ZVS-PWM AC-AC Converter for High-Frequency Induction Heating Applications", 2015 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Page(s) 1700-1706, March 2015.
- [7] Hector Sarnago, Oscar Lucia, Arturo Mediano, and José M. Burdio, "Efficient and Cost-Effective ZCS Direct AC-AC Resonant Converter for Induction Heating", IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol. 61, no. 5, May 2014.
- [8] E.R. Motto, J.F. Donlon, M. Tabata, H. Takahashi, Y. Yu, G. Majumdar, "Application Characteristics of an Experimental RB-IGBT(Reverse Blocking IGBT) Module", Industry Applications Conference, 2004. 39th IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2004 IEEE, Oct. 2004.
- [9] Oscar Lucia, Pascal Maussion, Enrique J. Dede, Jose M. Burdio, "Induction Heating Technology and Its Applications: Past Developments, Current technology, and Future Challenges", IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol. 61, no. 5, May 2014.
- [10] Fernando Monterde, Pablo Hernández, José M. Burdio, José R. Garcia, Abelardo Martine, "Comparison of Control Strategies for Series-Resonant Full-Bridge Inverter for Induction Cookers", EPE, Lausanne, 1999.
- [11] Cetin, S., Sazak, B.S., Bodur H., "A Comparative Study of Dual Half-Bridge Inverter Topologies Used in Induction Cooking", ECTI-CON 2009, Vol.1, pp.314-317, 6-9 May 2009, Pattaya/Thailand.

Fotovoltaik Jeneratörler için Akbaba Modelini Kullanarak Yeni Bir Mikrodenetleyici Tabanlı MPPT Yönteminin Geliştirilmesi

Development of a Novel Microcontroller Based MPPT Circuit Using Akbaba Model For Photovoltaic Generators

Nurettin GÖKŞENLİ¹

Mehmet AKBABA²

¹Meslek Yüksekokulu, Çankırı Karatekin Üniversitesi, 18100, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, 78050, Türkiye

Özet

Küçük ölçekli, şebekeden bağımsız, fotovoltaik jeneratörler, PVG'ler, için yeni bir mikro denetleyici tabanlı maksimum güç noktası izleyici (MPPT) devresi tasarlanmış, simüle edilmiş ve test edilmiştir. PVG'nin I-V karakteristiği, ikisi PVG'lerin kısa devre akımı ve açık devre voltajı olmak üzere Güneş ışınımına bağlı beş parametre kullanılarak karakterize edilmiştir. Yük ve PVG arasında eşleşen bir devre olarak bir DC / DC dönüştürücü kullanılmıştır. Uygun bir sabit frekans seçildiğinde, DC / DC dönüştürücünün görev döngüsü (d), çıkış voltajının anlık değerinden geri bildirim almak suretiyle, mikrodenetleyici tarafından uyarlanabilir olarak tasarlanmıştır. Bu nedenle sistem dinamik ve statik yükler için uygundur. Böylece, sistem sadece iki ölçüme ihtiyaç duymaktadır. Bunlar, Güneş ışınım yoğunluğu ve mikro denetleyiciye geribesleme yoluyla giriş olarak uygulanan yükteki çıkış gerilimidir. Ölçülen Güneş ışınım yoğunluğu, mikro denetleyici tarafından, lokasyondaki Güneş ışınım yoğunluğunun en yüksek değerinin mikrodenetleyici girişine temel değer olarak uygulanan Güneş ışınım yüzdesine dönüştürülür. Sistem parametreleri PVG'ye bağımlıdır ve her PVG için ayrı olarak edinilmesi gerekir. Bu çalışmada bir prototip oluşturulmuştur ve ölçülen ve simüle edilmiş sonuçlar arasında makul bir korelasyon elde edilmiştir.

Abstract

A novel microcontroller based maximum power point tracker (MPPT) circuit for small scale, up to 5 kw stand-alone photovoltaic generators, PVGs, has been built, simulated and tested. The I-V characteristic of PVGs characterized using five percent solar radiation dependent parameters, two of which are short circuit current and open circuit voltage of PVGs. A DC/DC converter is used as a matching circuit between the load and PVG. Selecting a suitable fixed frequency, the duty cycle (D) of DC/DC converter has been determined adaptively by microcontroller, by getting feedback from the instantaneous value of the output voltage. As such the system is suitable for dynamic and static loads. Therefore the system needs two measurements, which are solar radiation intensity and feedback from the output voltage, which are fed to microcontroller. The measured solar radiation intensity is converted by microcontroller into percent solar radiation, G, where the highest ever value of the solar radiation intensity in the location is fed to microcontroller as the base value. The system parameters are PVG dependent and need to be obtained separately for every PVG. Partial shading effect is excluded for the reasons explained in the following text. A prototype has been built and reasonable correlation is obtained between the measured and simulated values.

1. Giriş

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi gelecekteki enerji talebinin en önemli kaynaklarından biridir[1-2]. Örneğin, Alman hükümetinin planı, yenilenebilir enerjinin ulusal kullanımını 2020'de% 35'ten fazla, 2050'ye kadar% 80'e çıkarmaktır.

Güneş enerjisinin değişmez doğası vardır ve çevreyi kirlilemez. PV hücreleri silikondan üretilir ve bu hammadde, yeryüzünde bulunan bol bir elementtir. PV'ler, enerji arzı veya çevreye zarar vermemek için doğrudan Güneş'ten elektrik üretirler. Fotovoltaik jeneratörler (PVG) ile çalışan DC ve anahtarlı relüktans motorlarıyla ilgili bir çok araştırma yapılmıştır[3-14]. PVG enerjisinin maliyeti halihazırdaki elektrik enerjisinin maliyetinden önemli derecede yüksek olduğundan, PVG sistemleri maksimum verimle çalıştırılmalıdır, diğer bir deyişle maksimum güç noktası yörüngesinde çalıştırılmalıdır. PVG'lerin doğrusal olmayan I-V karakteristiklerinden dolayı, bir yük bağlandığında, çoğu durumda empedans uyumsuzluğuna bağlı olarak çalışma noktası maksimum nokta yörüngesinde olmayacaktır. Bu nedenle bir PV panelinden maksimum enerji çıkarmak için PV paneli ve yük arasında bir MPPT devresi yerleştirilmelidir. Çeşitli maksimum güç noktası izleme (MPPT) devreleri ve kontrol yöntemleri literatürde mevcuttur[15-29]. Mevcut MPPT sistemlerinin çoğu çoğunlukla nispeten karmaşık kontrol yöntemleri veya karmaşık devre topolojisi içermektedirler. Bununla birlikte, [28] 'de önerilen model bir PVG birimini herhangi bir yüke uydurmak için daha elverişlidir ve çalışma prensibi kolaylıkla anlaşılabilir. PVG'nin I-V karakteristiğini modellemek için beş tane güneş radyasyonuna bağlı parametre vardır. Bunlardan üç tanesi matematiksel olarak tanımlanmış parametrelerdir (A, B ve C) ve diğer ikisi ise, PVG'nin açık devre voltajı (V_{oc}) ve kısa devre akımı (I_{sc})' dir. Böyle bir model kapalı form çözümünü oluşturmaktadır ve maksimum güç noktası gerilimi (V_{max}), akımı (I_{max}) ve maksimum gücü (P_{max}) beş model parametre açısından analitik olarak belirlenebilmektedir. DC / DC dönüştürücüsü için uygun bir frekans seçilir ve sabit tutulur ve çalışma döngüsü, δ , mikrodenetleyici tarafından çıkış voltajından geri bildirim almak suretiyle uyarlanır şekilde elde edilir. Bu nedenle, önerilen sistem, I-V karakteristiğinin modellenmesi için gerekli olan iki ölçüme ihtiyaç duyar; bunlar, güneş radyasyonu yoğunluğu ve görev döngüsünü adaptif olarak elde etmek için çıkış voltajıdır. Her iki ölçüm de anlık değerler olduğundan, önerilen sistem hem statik hem de dinamik yükler için uygundur.

Güneş enerjisinin en uygun kullanım yöntemi güneş radyasyonunun elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Bu nedenle, fotovoltaik jeneratörlerle sürülen motorların veya direnç gibi pasif

yüklerin [2-6] ve endüktif elemanlı yüklerin [30-37] analizi için birçok çalışma yapılmıştır. PVG panelinin elektriksel karakteristiğinin matematiksel modeli, PVG ile tahrik edilen yüklerin verimliliğinin analizi için çok önemlidir. Çoğu zaman, literatürdeki PV panellerinin I-V veya V-I elektriksel karakteristikleri için tek bir matematiksel model kullanılmıştır [3].

Bu çalışmada, Mikrodenetleyici tarafından kontrol edilen DC-DC dönüştürücüyü içeren bir MPPT devresi tasarlanmış ve uygulanmıştır. Ayrıca, araştırılan sistem MATLAB kullanılarak modellenmiştir ve sonuçlar, deneysel muadilleriyle karşılaştırılmıştır.

2. MPPT Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Literatürde kullanılan bir dizi MPPT yöntemi vardır.

2.1 Sabit V_{max} (CV) Yöntemi

Bu yöntemde, tüm güneş radyasyon seviyelerinde tek bir voltajda (V_{max}) maksimum gücün alınabileceği varsayılmaktadır. Fakat gerçekte bu doğru değildir. Güneş radyasyonu değiştikçe V_{max} önemli farklılıklar gösterir. Dolayısıyla bu yöntem güvenilir değildir.

2.2 Kısa Devre Akım Pulsesi (SC) Yöntemi

Bu yöntem, kısa devre akımı ile güneş radyasyonu arasında

doğrusal bir ilişki kullanmaya dayanmaktadır. Bununla birlikte, bu yöntemin ölçme anındaki yüke uygulanan akım ihtiyacı vardır. Bu üç dezavantaja sahiptir. 1) Akım kesintisi süresince yüke güç sağlanmaz. 2) Yükten gelen enerjinin kesilmesi yük tarafında geçici durumlara neden olur ve bu da bazı hassas yükler için zararlı olabilir. 3) Akımı kesmek için hızlı bir elektronik anahtar gereklidir. Dolayısıyla bu yöntem çok kullanışlı değildir.

2.3 Açık Devre Voltajı (OV)Yöntemi

Bu yöntem düşük güç verimliliğine sahiptir ve dolayısıyla tercih edilmemektedir.

2.4 Karıştır ve Gözlemler (P&O) Yöntemi

Bu yöntem çok tercih edilen yöntem olmasına rağmen, PVG geriliminin ve akımının sürekli ölçülmesi gerekliliği ve azami güç noktasını yakalamak için sürekli hesaplama gereksinimi gibi bazı karmaşıklıklara sahiptir.

2.5 Artan İletkenlik (IC) Yöntemi

Bu yöntem de karıştır ve gözlemler yöntemi gibi karmaşıktır.

2.6 Sıcaklık Yöntemi (TM)

Bu yöntemin doğruluğu [38] hücre ısısına ve güneş radyasyonuna bağlı olan 4 parametrenin doğruluğuna bağlıdır.

Bu yöntemlerin bildirilen verimlilik ve maliyet değerlendirmesi [38] Tablo 1'de görülmektedir.

Tab. 1 Verim ve maliyet değerlendirmesi (D = Düşük, O = Orta, Y = Yüksek) [38].

	CV	SC	OV	P&O	IC	TM
Verimlilik	79.51	90.72	94.56	98-99	98-99	97
Maliyet	D	O	D/O	D/O	O/Y	O/Y

3. Metodoloji

Bu çalışmada, yeni bir MPPT yöntemi geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Geleneksel diyot modeli yerine PVG'nin I-V karakteristiği Akbaba modeli kullanılarak modellenmiştir ve Akbaba modeli aşağıdaki eşitliklerle verilmiştir[28-30]:

$$I = (V_{oc} - V) / (A + BV^2 - CV) \quad (1)$$

Burada,

$$A = V_{oc} / I_{sc} \quad (2)$$

V_{oc} panelin açık devre voltajı, ve I_{sc} , panelin kısa devre akımıdır.

Böylelikle, PVG gücü şu şekilde yazılabilir:

$$P = IV = V (V_{oc} - V) / (A + BV^2 - CV) \quad (3)$$

Ayrıntılı prosedürler kullanılarak incelenen [28] PVG için birçok G değerinde A, B, C, V_{oc} ve I_{sc} model parametreleri belirlenmiştir. Bazı seçilen güneş ışınımları değerlerinde elde edilenler Tablo 2'de verilmektedir.

Tab. 2 Seçilen G değerlerindeki V_{oc} , I_{sc} , A, B, ve C değerleri

%G	V_{oc}	I_{sc}	A	B	C
52	18.35	0.354	51.84	0.02574	3.103
73.5	19.15	0.5	37.6	0.02193	2.27
86	19.6	0.585	32.9	0.01675	1.917

100	19.8	0.68	28.94	0.008528	1.574
-----	------	------	-------	----------	-------

Bu çalışmada, % 100 Güneş ışınımında aşağıdaki etiket değerlerine sahip 10 W Güneş Paneli kullanılmıştır:

Kısa devre akımı $I_{sc} = 0.64$ A, Açık devre voltajı $V_{oc} = 21.0$ V, Maksimum güç noktası akımı

$I_{max} = 0.58$ A ve the Maksimum güç noktası voltajı $V_{max} = 17.2$ V (1000 W/m² Güneş ışınımında).

PV panellerin yüksek kurulum maliyeti nedeniyle, Maksimum güç yörüngesinin yakınında çalıştırılmadılar. (3) numaralı denklemin V değerine göre türev alınarak ve onu sıfıra eşitleyerek, V_{max} aşağıdaki gibi elde edilir:

$$V_{max} = [V_{oc} / I_{sc} (C - BV_{oc})] [1 / (1 - (1 - I_{sc} (C - BV_{oc}))^{0.5})] \quad (4)$$

Böylece, maksimum güç noktası akımı ve güç denklem (3) ve (4)'ten kolayca (5) ve (6)'daki denklemler gibi elde edilebilir:

$$I_{max} = (V_{oc} - V_{max}) / A + BV_{max}^2 - CV_{max} \quad (5)$$

ve,

$$P_{max} = V_{max} I_{max} \quad (6)$$

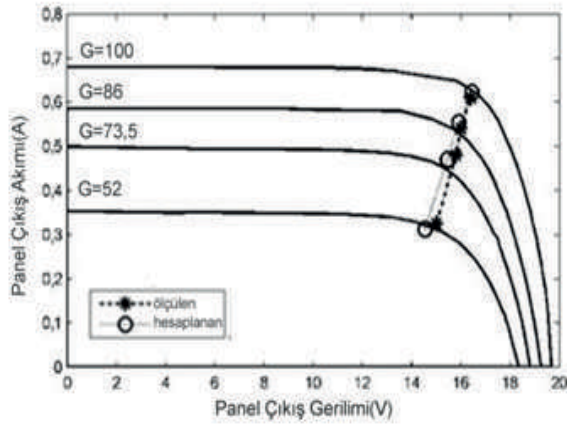
A, B ve C parametreleriyle belirlenen I-V karakteristiğinin geçerliliği, [28-30] 'da verilen geleneksel I-V karakteristiği ile karşılaştırarak doğrulanmıştır. Eğri uydurma tekniği kullanılarak, bu çalışmada kullanılan PVG'nin hesaplanan model parametreleri G2nin fonksiyonu olarak şu şekilde elde edilmiştir:

$$A = 0.005347G^2 - 1.258G + 101.3 \quad (7)$$

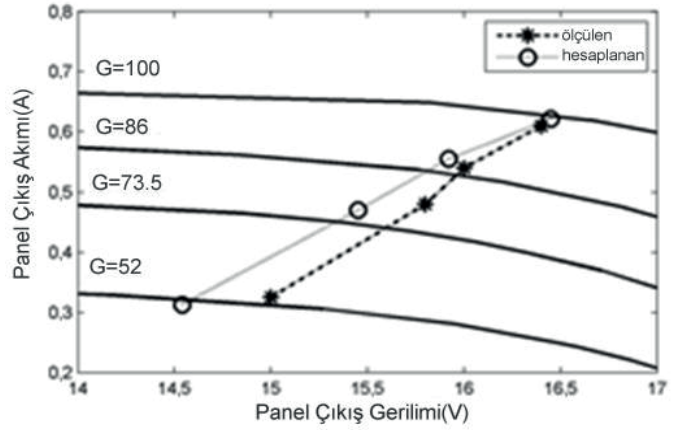
$$B = (-6.832 \times 10^{-6})G^2 + 0.00068G + 0.0088 \quad (8)$$

$$C = 0.0001788G^2 - 0.05736G + 5.523 \quad (9)$$

Kullanılan PVG'nin I-V karakteristiği ve maksimum güç



a)



b)

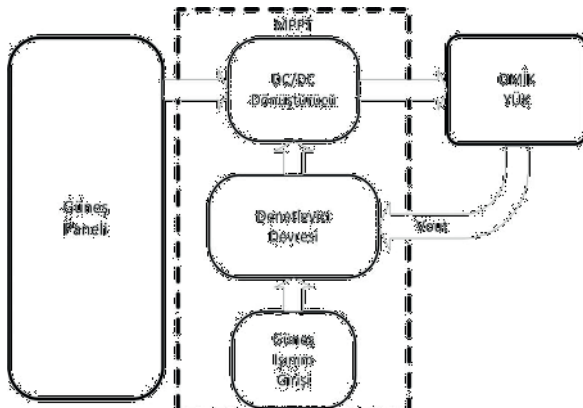
Şekil 1. a) PV panelin I-V Karakteristiği ve hesaplanan ve ölçülen maksimum güç yörüngesi
b) Maksimum güç yörüngesi kısmının genişletilmiş şekli

Sunulan yöntemde, tüm sistem performansı yalnızca güneş ışımının yüzde değerine ve çıkış yük voltajının ölçülmesine bağlıdır. LDR, düşük maliyetli bir sensördür. Güneş ışınları LDR tarafından algılandığında, Modelde kullanılan diğer tüm parametreler A, B, C, V_{oc} , I_{sc} , V_{max} ve görev döngüsü, mikrodenetleyici tarafından hesaplanmaktadır.

Çalışılan sistemin blok diyagramı Şekil 2'de gösterilmiş ve kontrol devresi Şekil 3'te verilmiştir. Çıkış gücünü maksimum değere çıkaran gerekli görev döngüsü, bir mikrodenetleyici tarafından adaptif olarak üretilir. Güneş ışınları, bir ışığa bağımlı direnç (LDR) sensörüne seri bağlı bir direnç yardımıyla ve görev döngüsünü (δ) üretmek için mikrodenetleyiciye (PIC) giriş olarak uygulanan direnç, R, üzerindeki voltaj düşümü (V_R) ile ölçülmektedir. Gerekli olan görev döngüsü denklem (10) ile belirlenmektedir:

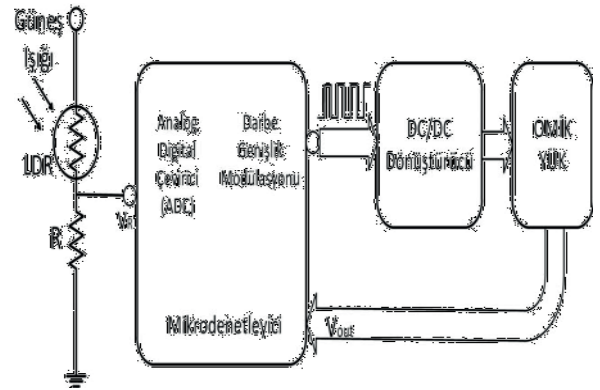
$$\delta = 1 - (V_{max} / V_{out}) \quad (10)$$

burada, V_{max} , PVG'nin maksimum güç voltajı ve V_{out} , yükte ölçülen çıkış voltajıdır.



Şekil.2 Sistemin blok diyagramı

yörüngesi hesaplanmış ve Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'de sunulan sonuçlar, önerilen MPPT devresinin, görev döngüsünün uyumlu değerleri kullanıldığında makul bir doğrulukla çalıştığını göstermektedir.



Şekil. 3 Sistemin kontrol devresi

Mikrodenetleyici giriş voltajı V_R , birçok güneş ışınımı seviyesi için ölçülmüştür. Eğri uydurma tekniği kullanarak V_R ve G arasındaki bağıntı şu şekilde elde edilmiştir:

$$G = p_1 \cdot V_R^2 + p_2 \cdot V_R + p_3 \quad (11)$$

burada, $p_1 = 29,76$, $p_2 = -11,82$ ve $p_3 = -11,25$.

Mikrodenetleyici V_R 'yi ölçer ve G , V_R cinsinden ifade edildiğinden, G , denklem (11) kullanılarak V_R 'den elde edilir. G 'yi elde ettikten sonra, Modelin diğer beş parametresi mikro denetleyici tarafından (5,7-9) denklemler kullanılarak hesaplanmaktadır.

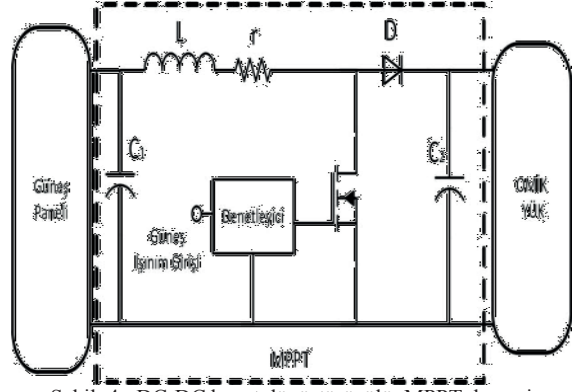
Mikrodenetleyici, denklem (10) 'a göre gerekli görev döngüsü değerini elde etmek için $V_{max} = f(G)$ bağıntısını kullanacak şekilde programlanmıştır. PVG voltajı V_{max} değerinde tutulduğunda, PVG maksimum güç yörüngesinde çalışmaya zorlanmaktadır. Tüm süreçte tavsiye edilen sistemin sadece iki girişi olduğunu belirtmek gerekir. Bunlar yüzde Güneş ışınımı (G) ve çıkış yük voltajıdır (V_{out}). Diğer gerekli tüm parametreler G 'ye bağımlıdır ve mikrodenetleyiciye yüklenen programa gömülmüştür. Simülasyonun tamamı

MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Simülasyon ve deney sonuçları arasında yakın ilişki olduğu gözlemlenmiştir.

4. Deneysel Çalışma ve Simülasyon Sonuçları

4.1 Deneysel Uygulama

Sistemin devre şeması Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: DC-DC boost dönüştürücü MPPT devresi

Deneysel ve simülasyon çalışması sonuçları % 100 Güneş ışınımı için ($G = 100$) Şekil. 5-9'da verilmiştir. Şekil. 5 $G=100$ ve $R_L=100 \Omega$ için PVG'nin çıkış voltajını göstermektedir..

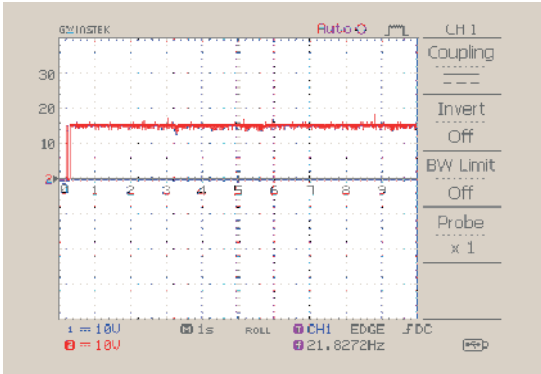
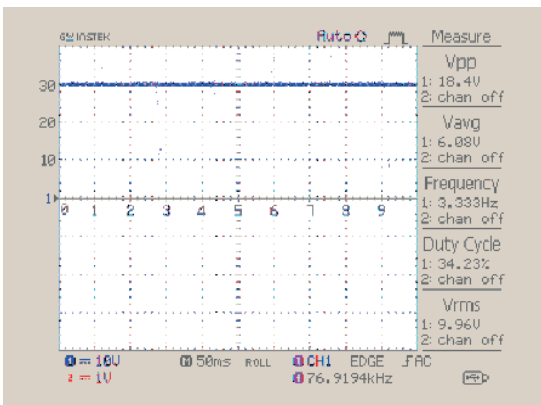


Fig. 5 Ölçülen PVG voltajının zamana göre değişimi ($G = 100$ ve $R_L=100 \Omega$.)

Şekil 6, $G = 100$ ve $R_L=100 \Omega$ için, kararlı durumda yükteki voltajın (V_{out}) zamana göre değişimini göstermektedir. Burada V_{out} 'un ortalama değerinin 30,7 V olduğu görülmektedir.



Şekil 6 Ölçülen kararlı durum çıkış voltajının (V_{out}) zamana göre değişimi ($G = 100$ ve $R_L=100 \Omega$).

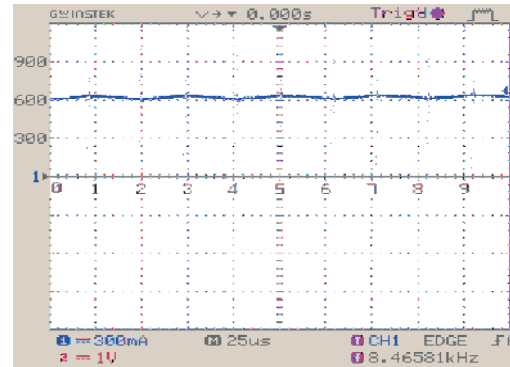
Şekil 7 $G=100$ ve $R_L=100 \Omega$ için PVG akımının zamana göre değişimini göstermektedir. PVG akımı küçük değerli bir direnç ($0,708 \Omega$) üzerindeki voltajın ölçülmesiyle dolaylı olarak ölçülmüştür. Bu şekilden PVG akımının ortalama kararlı durum değerinin yaklaşık 0,61 A olduğu görülmektedir. PVG çıkış voltajının ölçülen değerlerini kullanarak PVG gücü, $P_{PVG}=16,4 \times 0,61=10$ W olarak elde edilmiştir. Öte yandan

$R_L=100 \Omega$ için çıkış gücü $P_{out}=(30,7)^2/100=9,425$ W olarak elde edilmiştir. Bu değerlerden sistemin verimi;

$$\eta = 9,425 / 10 = 0,943 = \%94 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

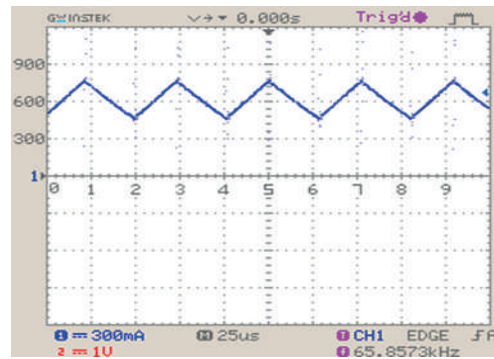
Yukarıda ölçülen değerler ile denklem (10)'u kullanarak görev döngüsü ;

$$\delta = 1 - (16,4 / 30,7) = 0,47 = \%47 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$



Şekil 7 Ölçülen PVG akımının zamana göre değişimi ($G = 100$ ve $R_L=100 \Omega$).

Şekil 8 $G=100$ and $R_L=100 \Omega$ için MPPT devresindeki ölçülen bobin akımını göstermektedir. Bu şekilden, akımdaki tepeden tepeye dalgalanmanın yaklaşık 0,2 A olduğu görülmektedir. Bu da makul bir değerdir.



Şekil 8 Ölçülen bobin akımını zamana göre değişimi ($G = 100$ ve $R_L=100 \Omega$).

Ölçülen ve simüle edilmiş sonuçlar arasındaki karşılaştırma Tablo 3'te verilmiştir. Simülasyon sonuçları aşağıda Bölüm 4.2'de sunulmaktadır. Tablo 3, ölçülen ve simüle edilen

değerler arasında makul bir korelasyon olduğunu göstermektedir.

Tab. 3 $R_L=100 \Omega$ için G 'nin bazı seçilen değerlerindeki hesaplanan ve ölçülen V_{max} , I_{max} , P_{max} ve bağıl hatalar

%G	PVG Voltage (V)			PVG Current (A)			PVG Power (W)		
	Ölçüm	Hesap	BH (%)	Ölçüm	Hesap	BH (%)	Ölçüm	Hesap	BH (%)
52	15	14,54	3,07	0,325	0,313	3,69	4,875	4,551	6,65
73.5	15.8	15,45	2,22	0,48	0,47	2,08	7,584	7,262	4,25
86	16	15,92	0,50	0,54	0,555	-2,78	8,640	8,835	-2,26
100	16.4	15,96	2,68	0,61	0,593	2,79	10	9,454	5,48

Bağıl Hata (BH) aşağıdaki gibi formülüze edilmiştir:

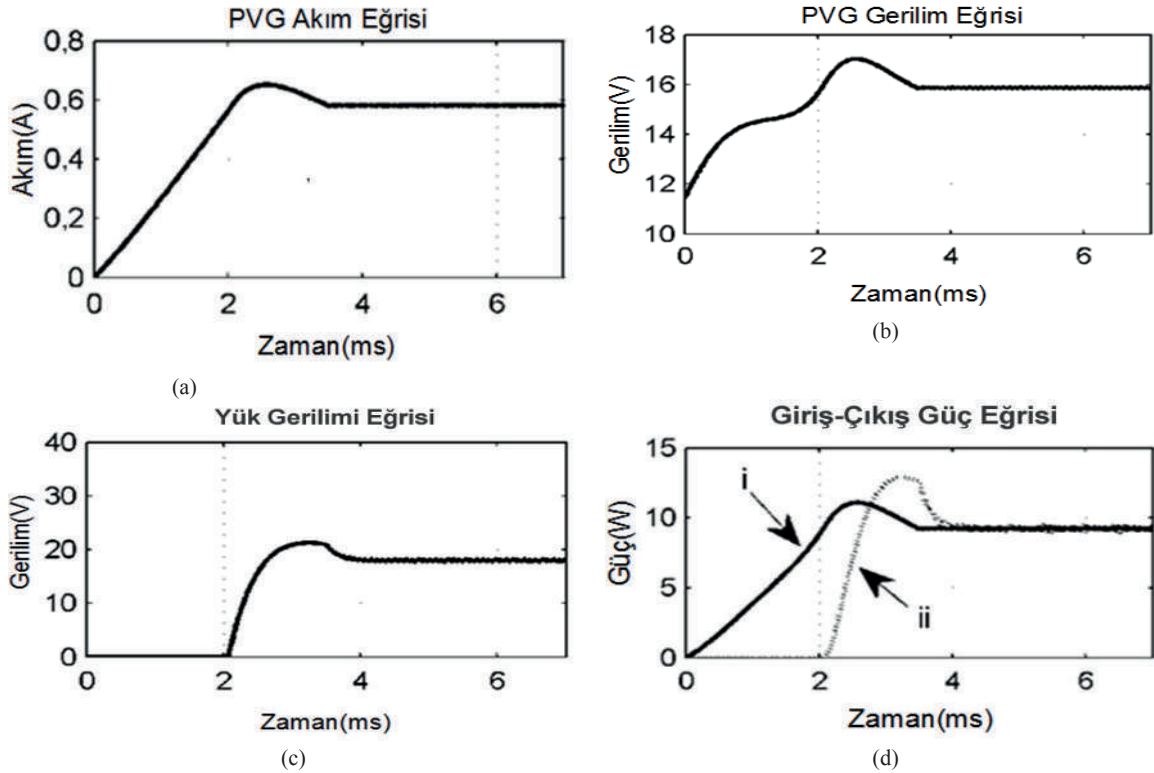
$$BH = \left[\frac{(\text{Ölçülen} - \text{Hesaplanan})}{\text{Ölçülen}} \right] \cdot 100 \quad (10)$$

4.2 MATLAB'ı Kullanarak Sistemin Simülasyonunun Yapılması

Sistem, MATLAB ortamında simüle edilmiş ve sonuçlar Şekil 9'da gösterilmiştir.

Şekil 9'un kararlı hal bölümlerinin ölçülen muadilleriyle karşılaştırmaları da Tablo 3'te verilmiştir. Bu tablonun incelenmesi, ölçülen ve simüle edilen sonuçlar arasında yakın ilişki bulunduğunu göstermektedir.

Şekil 9 $G=100$ ve $R_L=100 \Omega$ için simülasyon sonuçlarını göstermektedir. Bu şekillerden Tablo 3'de yer alan simülasyon sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 9. ($G=100$, $R_L=100 \Omega$) a) PVG akımı b) PVG voltajı c) Yük voltajı d) Giriş ve Çıkış güçleri i) Giriş gücü ii) Çıkış gücü

5. Sonuçlar

Bu makalede, yeni bir mikrodenetleyici tabanlı MPPT devresi önerilmiştir. Sistem bir PV panelden, bir MPPT olarak çalışan

DC-DC yükseltici dönüştürücüdür, DC-DC yükseltici dönüştürücüye eklenen iki düzeltirici kapasitör ve yük olarak bir dirençten oluşmaktadır. Sistem MATLAB ortamında modellendi, simüle edildi ve pratik uygulama gerçekleştirildi. Basit

manipülasyonlar ve hesaplamalar için PV dizisinin modellenmesinde Akbaba Modeli kullanılmıştır. Sistemin tüm performansı, güneş ışınımı yüzdesi ve ölçülen çıkış voltajı ile belirlenmektedir Yani, sistem, sadece güneş ışınım verisinin ve giriş olarak yük voltajının ölçülmesine ihtiyaç duymaktadır ve kapalı döngü sistemi olarak çalışmaktadır. DC-DC dönüştürücüsü için sabit bir frekans seçilir ve PVG'yi maksimum güç yörüngesinde çalıştırmak için gereken gerekli görev döngüsü, bir mikro denetleyici tarafından uyarlanırlar şekilde üretilir. Bu çalışmada önerilen MPPT devresinin literatürde mevcut diğer

MPPT sistemlerine kıyasla uygulanması çok kolay ve aynı zamanda maliyet açısından uygun olduğu önerilmektedir. Sistemin verimi hem deneysel olarak hem de simülasyon ile belirlenmiştir. % 100 güneş ışınımında deneysel çıkış gücü 10 W olarak elde edilmiş ve ölçülen çıkış voltajından hesaplanan çıkış gücü 9,425 W olarak elde edilmiştir. Buna göre sistem verimliliği %94 olarak elde edilmiştir. Sistemin basitliği ve maliyet etkinliği ile birlikte %94 gibi yüksek bir sistem verimliliği göz önüne alındığında, önerilen sistem geniş bir uygulama alanı bulabilir.

6. Terimler

C_1	PVG terminal voltaj filtresi kondansatör	P_{max}	Maksimum güç
C_2	DC link voltaj filtresi kondansatör	P_{out}	Çıkış yük gücü
D	Diyote	r	Bobin direnci
δ	Görev döngüsü	R_L	Yük direnci
G	Yüzde Güneş ışınımı	V_{oc}	Açık devre voltajı
BH	Bağıl Hata	V_{max}	PVG voltajı (P_{max} 'da)
I_{max}	PVG akımı (P_{max} 'da)	V_{out}	Yük direncindeki çıkış voltajı
I_{sc}	Kısa devre akımı	η	Sistem verimi
LDR	Işığa duyarlı direnç	us	Mikro saniye

7. Referanslar

- [1] Razikov, T.M., Ferekides, C.S., Morel, D., Stefanekos, E., Ullal, H.S., Upadhyaya, H.M.: "Solar Photovoltaic Electricity: Current Status and Future Prospects, " Solar Energy, vol. 85, issue 8, pp. 1558-1608, 2011.
- [2] Arutchelvi, M., Daniel, S.A. : "Grid Connected Hybrid Dispersed Power Generators Based on PV Array and Wind-Driven Induction Generator," Journal of Electrical Engineering, vol. 60 (6) 2009 313-320.
- [3] Akbaba, M.: "Matching Induction Motors to PVG for Maximum Power Transfer," Desalination, vol. 209, no. 1, pp. 31-38, 2007.
- [4] Appelbaum, J., Sarma, M. S.: "The Operation of Permanent Magnet DC Motors Powered by a Common Source of Solar Cells," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 4, no. 4, pp. 635-642, 1989.
- [5] Saied, M. M.: "Matching of DC Motors to Photovoltaic Generators for Maximum Daily Gross Mechanical Energy," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 3, no. 3, pp. 465-472, 1988
- [6] Saied, M. M., Monji, G. J.: "Optimal Solar Array Configuration and DC Motor Field Parameters for Maximum Annual Output Mechanical Energy," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 4, no. 3, pp. 459-465, 1989.
- [7] Zinger, Z., Braunstein, A.: "Dynamic Matching of a Solar-electrical/Photovoltaic/System - An Estimation of the Minimum Z Requirements on the Matching System," IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, vol. PAS-100, no. March, pp. 1189-1192, 1981.
- [8] Akbaba, M., Akbaba, M. C.: "Dynamic Performance of a Photovoltaic-Boost Converter Powered DC Motor-Pump System," in Electric Machines and Drives Conference, 2001, pp. 356-361.
- [9] Akbaba, M.: "Optimum Matching Parameters of an MPPT Unit Used for a PVG- Powered Water Pumping System for Maximum Power Transfer," International Journal of Energy Research, vol. 30, pp. 395-409, 2006
- [10] Ghosh, S., Malla, G., Bhende, C. N.: "Small-Signal Modelling and Control of Photovoltaic Based Water Pumping System," ISA Transactions, vol. 57, no. July, pp. 382-389, 2015.
- [11] A. S. Oshaba and E. S. Ali, "Bacteria Foraging: A New Technique for Speed Control of DC Series Motor Supplied by Photovoltaic System", International Journal of WSEAS Transactions on Power Systems, Vol. 9, 2014, pp. 185-195.
- [12] A. S. Oshaba, E. S. Ali and S. M. Abd-Elazim, "MPPT Control Design of PV System Supplied SRM Using BAT Search Algorithm", Sustainable Energy, Grids and Networks, (SEGAN Elsevier), Vol. 2C, 2015, pp. 51-60.
- [13] A. Oshaba, E. S. Ali and S. M. Abd-Elazim, "ACO Based Speed Control of SRM Fed by Photovoltaic System", Int. J. of Electrical Power and Energy Systems (IJEPES Elsevier), Vol. 67, May 2015, pp. 529-536.
- [14] A. S. Oshaba, E. S. Ali, and S. M. Abd-Elazim, "PI controller design using artificial bee colony algorithm for MPPT of photovoltaic system supplied DC motor-pump load", Complexity, DOI: 10.1002/cplx.21670
- [15] Huynh, P., Cho, B. H.: "Design and Analysis of a Microprocessor-Controlled Peak-Power-Tracking System [for Solar Cell Arrays]" IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 32, no. 1, pp. 182-190, 1996.
- [16] Hiyama, T., Kouzuma, S., Imakubo, T., Ortmeier, T. H.: "Evaluation of Neural Network Based Real Time Maximum Power Tracking Controller for PV System," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 10, no. 3, pp. 543-548, 1995.
- [17] Enslin, J. H., Wolf, M. S., Snyman, D. B., Swiegers, W.: "Integrated Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Converter," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 44, no. 6, pp. 769-773, 1997.
- [18] Maheshappa, H. D., Nagaraju, J., Murthy, M. V. K.: "An Improved Maximum Power Point Tracker using a Step-Up Converter with Current Locked Loop," Renewable Energy, vol. 13, no. 2, pp. 195-201, 1998.
- [19] Ro, K., Rahman, S.: "Two-Loop Controller for Maximizing Performance of a Grid-Connected Photovoltaic-Fuel Cell Hybrid Power Plant," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 13, no. 3, pp. 276-281, 1998.
- [20] Hua, J., Lin, C.: "Implementation of a DSP-Controlled Photovoltaic System with Peak Power Tracking," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 45, no. 1, pp. 99-107, 1998.
- [21] Brambilla, "New Approach to Photovoltaic Arrays Maximum Power Point Tracking," in 30th Power Electronics Specialists Conference, 1999, vol. 2, pp. 632-637.
- [22] Veerachary, M., Senjyu, T., Uezato, K.: "Feedforward Maximum Power Point Tracking of PV Systems using Fuzzy Controller," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 38, no. 3, pp. 969-981, 2002.

- [23] Koutroulis, E., Kalaitzakis, K., Voulgaris, N. C.: "Development of a Microcontroller-Based, Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Control System," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 16, no. 1, pp. 46-54, 2001.
- [24] Masoum, M.A., Dehbonei, H., Fuchs, E. F.: "Theoretical and Experimental Analyses of Photovoltaic Systems with Voltage and Current-based Maximum Power-Point Tracking," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 17, no. 4, pp. 514-522, 2002.
- [25] Tse, K. K., Ho, M. T., Chung, H. S. H., Hui, S. Y. R.: "A novel Maximum Power Point Tracker for PV Panels using Switching Frequency Modulation," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 17, no. 6, pp. 980-989, 2002.
- [26] Muhida, R., Park, M., Dakkak, M., Matsuura, K., Tsuyoshi, A., Michira, M.: "A Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic-SPE System using a Maximum Current Controller," Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 75, no. 3, pp. 697-706, 2003
- [27] El-Shafy, A., Nafeh, F. H., Fahmy, El-Zahab, E. M. A.: "Evaluation of a Proper Controller Performance for Maximum-Power Point Tracking of a Stand-Alone PV System," Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 75, no. 3, pp. 723-728, 2003.
- [28] Akbaba, M.: "Matching Three-phase AC Loads to PVG for Maximum Power Transfer using an Enhanced Version of the Akbaba Model and Double Step-Up Converter," Solar Energy, vol. 75, no. 1, pp. 17-25, 2003.
- [29] Akbaba, M., Alattawi, M. A. A.: "A New Model for I-V Characteristic of Solar Cell Generators and its Applications," Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 37, no. 2, pp. 123-132, 1995.
- [30] Akbaba, M.: "Performance Analysis of Solar Cell Arrays Loaded with Passive Loads," Applied Energy, vol. 52, no. 2, pp. 209-218, 1995.
- [31] Bhat, S. R., Pittet, A., Sonde, B. S.: "Performance Optimization of Induction Motor-Pump System using Photovoltaic Energy Source," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. IA-23, no. 6, pp. 995-1000, 1997,
- [32] Koner, P. K., Joshi, J. C., Chopra, K. L.: "Matching Analysis of Photovoltaic Powered DC Series Motors and Centrifugal Pumps by Varying Motor Constants," International Journal of Energy Research vol. 16, no. 4, pp. 301-313, 1992.
- [33] Saied, M. M., Hanafy, A. A., El-Gabaly, M. A., Safar, Y. A., Jaboori, M. G., Yamin, K. A., Sharaf, A. M.: "Optimal Design Parameters for a PV Array Coupled to a DC Motor via a DC-DC Transformer," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 6, no. 4, pp. 593-598, 1991.
- [34] Saied, M. M., Jabbori, M. G.: "Optimal Solar Array Configuration and DC Motor Field Parameters for Maximum Annual Output Mechanical Energy," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 4, no. 3, pp. 459-465, 1989.
- [35] Alghuwainem, S. M.: "Steady-State Performance of DC Motors Supplied from Photovoltaic Generators with Step-Up Converter," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 7, no. 2, pp. 267-272, 1992.
- [36] Roger, J. A.: "Theory of the Direct Coupling between DC Motors and Photovoltaic Solar Arrays," Solar Energy, vol. 23, no. 3, pp. 193-198, 1979.
- [37] Langridge, W., Lawrance, B. W.: "Development of a Photovoltaic Pumping System using a Brushless DC Motor and Helical Rotor Pump," Solar Energy, vol. 56, no. 2, pp. 151-160, 1996.
- [38] Faranda, R., Leva, S.: "Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems," WSEAS Transactions on Power Systems, vol. 3, no. 6, pp. 446-455, 2008.

Gerilim kaynaklı konvertörlü yüksek gerilimli AC/DC (VSC-HVDC) hattının dinamik analizi ve Kontrolörün performansı

Dynamic Analysis and the controller performance of VSC-HVDC

Kadir Abacı¹, Volkan Yamaçlır²

¹ Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elk-Elektronik Müh. Bölümü Çiftlikköy Kampusu
¹kabaci@mersin.edu.tr

²Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elk-Elektronik Müh. Bölümü Çiftlikköy Kampusu
²yamacli@mersin.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, rüzgar enerjisi çıkış terminalinin AC şebeke terminaline iki farklı güçte yüksek gerilimli AC/DC (HVDC) hattı üzerinden bağlanması senaryosu DiGSiLENT simülasyon programı ortamında gerçekleştirilmiştir. HVDC link Gerilim kaynaklı konvertör (VSC) tabanlı iki çeviriciden oluşmaktadır ve literatürde VSC-HVDC olarak bilinmektedir. İki terminal arasına tesis edilen VSC-HVDC'nin konvertörleri vektör alan yöntemiyle kontrol edilmiştir. Gerçekleştirilen senaryo çalışmalarında kontrolörlerin performansı dinamik analizlerle test edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan görülmektedir ki, her iki senaryo için oluşturulan iki baralı test sisteminde VSC-HVDC linki üzerinden güç transferi oldukça başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Abstract

In this study, scenario of two different transmitted power through high voltage direct current (HVDC) link between AC system and output terminal of the wind energy has been performed in the DiGSiLENT software package. The HVDC which is known VSC-HVDC is consist of two voltage source converter. The VSC-HVDC that installed between two terminal has been vector controlled. In the scenario study performance of the controller has been tested with dynamic analyses. From results it is shown that at two bus test system for both scenario through by the VSC-HVDC link power transfer was performed succesfully.

Anahtar Kelimeler: VSC-HVDC, Vektör alan kontrolü, DiGSiLENT

1. Giriş

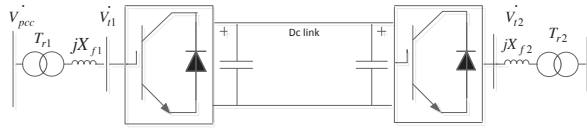
Son yıllarda rüzgar santrallerinin sayısının hızla artması ve bunların büyük bir kısmının güç sistemi içerisine dahil olması AC güç iletiminin uzun mesafelerde ekonomik olmaması ve yüksek gerilimde şebekeye bağlantılarında AC iletimin kullanılması beraberinde bir takım problemler getirmektedir. Bu problemler nedeniyle , rüzgar çiftlikleri ile entegre olan güç sistemlerinde üstün kontrol edilebilir özellikleri olan Yüksek Gerilimli Doğru Akım- High Voltage Direct Current (HVDC) iletim sisteminin kullanımı ön plana çıkmıştır. Büyük miktarlarda güç aktarımının güç kalitesi ve ekonomik açıdan bakıldığında yüksek güç kayıpları, rezonans problemleri gibi birtakım sorunları beraberinde getirdiği söylenebilir. DC sistem teknolojisi son yıllarda bu probleme çözüm için önerilmektedir. 1960'lı yılların başlarında katı hal

iletken teknolojisinin gelişimi ile birlikte bu teknolojinin yüksek gerilimli doğru akım iletiminde kullanılması gündeme getirmiştir. Ekonomik açıdan bakıldığında yüksek maliyetli çevirici istasyonları bir dezavantaj gibi gözükse de uzun mesafelerde hava hatları ile yapılan DC iletiminden doğan yarar, çevirici maliyetindeki olumsuzluğu gidermektedir. HVDC teknolojisi çok uzun mesafeler üzerinden ekonomik güç iletimi için yeterli çözümdür ve ayrıca farklı frekanslardaki şebekeleri bağlamak için yarıiletken teknolojisinin gelişimiyle, yarıiletken cihazlar, yüksek gerilimde yüksek akım taşıma kapasitesine sahip olmaya başlamış ve yüksek güçlerde kullanımı yaygınlaşmıştır. Bunun sonucu HVDC iletim sistemlerinde güç taşıma kapasitesi artmaya başlamıştır. Buna ilave olarak , bu iletim teknolojisinin seçilmesinde hızlı ve kolay bir şekilde aktif ve reaktif gücün kontrol edilebilirlik ve güvenilirlik faktörleri bulunmaktadır [Camilo]. Bu anlamda ilk ticari tesis 1954 yılında Gotland adası ile İsveç arasında gerçekleştirilmiş ve ardından hızlı bir şekilde tüm dünyaya yayılmıştır. HVDC sistemlerin temel işleyişi alternatif akımın doğru akıma çevrilip bir doğru akımlı iletim hattı üzerinden taşınarak yeniden alternatif akıma dönüştürmekten ibarettir. Şu güne kadar HVDC iletim hatları tesis edilirken iki ana teknoloji kullanılmıştır. (1) tristör akımı anahtarlamalı konvertör tabanlı (LCC HVDC) [Persson ve Carlsson- Flourentzou ve arkadaşları]; ve (2) IGBT transistör kullanılan gerilim kaynaklı konvertör tabanlı HVDC (VSC HVDC) [Axelsson ve arkadaşları- Xiaolin ve arkadaşları].

Bu çalışmada VSC-HVDC iletim sisteminin DiGSiLENT simülasyon programı ortamında modellenmesi ve vektör alan yöntemiyle kontrolü gerçekleştirilmiştir. İki terminal arasına tesis edilen VSC-HVDC'nin konvertörlerinin, yüksek gerilim ihtiva eden bir DC sistem üzerinden gerçekleştirdiği güç transferinin performansı test edilmiştir. Sonuçlar vektör alan yöntemiyle kontrol edilen konvertörlerin güç transferini başarılı bir şekilde gerçekleştirdiğini ve test sisteminin kararlılığının sağlandığını göstermektedir.

2. VSC-HVDC

İki konvertör ya back-to-back ya da birlikte bir DC kablo ile bağlıdır. Burada ana hedef bir istasyondan diğer istasyona kontrol edilebilir sabit bir DC gücün aktarılabilmesidir. HVDC'ye ait şematik diyagram Şekil 1'de verilmiştir. Konvertörlerdeki kayıplar ihmal edilirse, DC sisteme giren aktif güç DC kabloda bir takım kayıpa uğradıktan sonra AC sistemden alınır



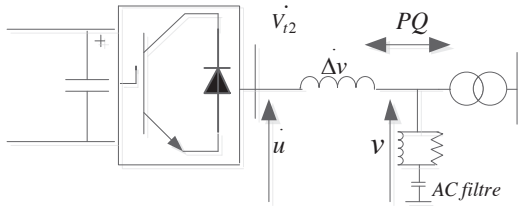
Şekil 1: VSC-HVDC'nin tipik gösterimi

2.1 VSC-HVDC'nin temel elemanları

Şekil 1'de gösterilen VSC-HVDC'nin çalışmasını anlamak için temel elemanlarını tanımak faydalı olacaktır. Genel olarak bir HVDC sistemi konverterler, DC kapasitörler, faz reaktörleri, transformatör ve AC filtrelerden oluşur.

2.1.1 Konverterler

VSC-HVDC sistemin en önemli elemanlarıdır ve inverter modunda çalışırken DC'den AC'ye rektifier modunda çalışırken AC'den DC'ye güç transferi yaparlar. VSC-HVDC'nin temel çalışması Şekil 2'de gösterildiği gibi AC şebekeye bağlı bir gerilim kaynağı dönüştürücüsü olarak VSC-HVDC AC tarafta eşdeğer bir gerilim kaynağı olarak modellenebilir ki burada faz ve frekansın büyüklüğünden bağımsızdır [Shire].



Şekil 2: AC şebekeye bağlı bir VSC'nin basitleştirilmiş gösterimi

VSC'nin ani gerilimi aşağıdaki gibi yazılabilir

$$\hat{v}_C = \frac{1}{2} u_{DC} M \sin(\omega_e t + \delta) + \text{harmonics} \quad (1)$$

burada M modülasyon indeksi ω_e temel frekans δ faz açısıdır.

2.1.2 Transformatörler

AC tarafa bağlı transformatörlerin ana görevi gerilim seviyesini konverterlerin istediği seviyeye getirmektir [T.M.Haileselassie]. Bu çalışmada transformatör bir kaçak reaktans olarak modellenmiştir.

2.1.3 Faz reaktörleri

Faz reaktörleri aktif ve reaktif güç akışını düzenlemek ve konvertörlerin anahtarlanmasından kaynaklanan yüksek harmoniklerin azalmasını sağlamak için AC filtrelere yardımcı olurlar [P.Kundur].

2.1.4 DC hatlar

Kullanılan DC hatları havai hat veya kablo olabilir. Çevrenin etkisi ve sistemin güvenilirliği de dahil olmak üzere, aralarında seçim yapılması için çeşitli faktörlerden etkilenir.

Genel olarak kablolar, arıza riskini azaltmak ve çevresel etkileri azaltmak için kullanılır [J.Yang].

2.1.5 DC Kapasitörler

DC kondansatör, valflerin değiştirilmesi sırasında sabit bir DC voltajı korumak için gereklidir. Ortalama DC voltajını kontrol etmek için kapasitör, AC ve DC tarafları arasında aktif güç alışverişiyle şarj edilebilir veya boşaltılabilir [J.Arrillaga]. Kapasitör boyutunun seçimi, kabul edilebilir dalgalanma miktarına göre belirlenir. Büyük bir kapasitör voltaj değişiklikleri sırasında tepki süresi arttıkça dalgalanmayı düzeltecektir. Bunun yerine, küçük bir kapasitör daha fazla dalgalanma ile sonuçlanır, ancak tepki süresi kısaldır.

Sürekli halde eğer konverter kayıpları ihmal edilirse AC ve DC güç eşit olacaktır. Güç dengesi bozulursa, fark DC kondansatörde saklanır veya çıkarılır [T.W.Shire].

$$i_C = C_{DC} \frac{dV_{DC}}{dt} \quad (2)$$

DC kapasitörün boyutu zaman sabiti τ_C ile karakterize edilir ve kapasitörün dolma süresine göre belirlenir

$$\tau_C = \frac{1}{2} \frac{C_{DC} V_{DC}^2}{P} \quad (3)$$

burada V_{DC} kapasitör gerilimi ve P ise sağlanan güçtür.

2.1.6 AC Filtreler

AC filtreler istenmeyen harmonikleri filtrelemek için kullanılır. Faz reaktörü ile birlikte alçak geçiren filtrenin bir parçasını oluştururlar. AC filtrelerin amacı AC sisteme mümkün olduğunca az harmonik girmesini sağlamaktır. [Cuiqing Du]

3. VSC-HVDC'nin Kontrolü

Bu çalışmada, VSC-HVDC sistemi için önerilen kontrol sistemi, günümüzde en iyi belgelendirilmiş ve yaygın olarak kullanılan vektör akım kontrolü temel alınarak uygulanmıştır [J.Zhang,].

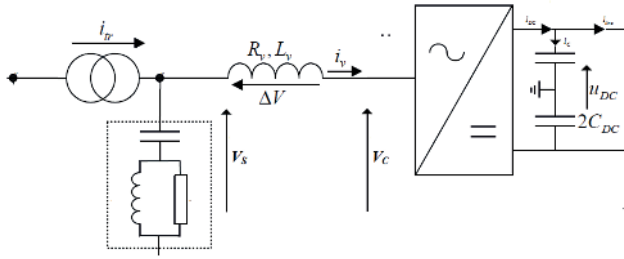
3.1 Vektör Kontrolü

Gerilim ve akımlarda statik hataları gidermek için PI regülatörlerini kullanarak sabit durumdaki sabit vektörler olarak üç fazlı nicelikleri temsil etmek için dq senkron referans çerçevesini kullanır [T.W Shire]. Vektör akımı kontrol yöntemi, Şekil 3'te gösterilen bir şebekeye bağlı bir VSC'nin tek hat şeması gösterimi kullanılarak formüle edilebilir. Sabit koordinatlarda, filtre tarafından konvertöre bakıldığında faz reaktörünün AC dinamik denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$L \frac{di_{\alpha\beta}}{dt} = v_{S_{\alpha\beta}} - v_{C_{\alpha\beta}} - R_v i_{\alpha\beta} \quad (4)$$

Bu eşitlik senkron koordinatlara dönüştürüldüğünde

$$L_v \frac{di_{dq}}{dt} = v_{S_{dq}} - v_{C_{dq}} - (R_v + j\omega_e L_v) i_{dq} \quad (5)$$



Şekil 3: Bir VSC-HVDC sistemin tek faz gösterimi

halini alır. 5 denklemi aşağıdaki gibi ayrı ayrı yazılabilir ve

$$L_v \frac{di_d}{dt} = -R_v i_d + \omega_e L_v i_q - v_{C_d} + v_{S_d} \quad (6)$$

$$L_v \frac{di_q}{dt} = -R_v i_q + \omega_e L_v i_d - v_{C_q} + v_{S_q} \quad (7)$$

$v_{S_d} = v$ and $v_{S_q} = 0$ olmak üzere AC sistemin aktif ve reaktif güçleri $P = v_{S_d} i_d$, $Q = -v_{S_d} i_q$ ve DC sistemin gücü $P_{DC} = u_{DC} i_{DC}$ ve DC taraf için akım denklemi aşağıdaki gibidir.

$$i_c = i_{DC} - i_{line} \quad (8)$$

Diğer yandan konverter tarafından AC şebekeye enjekte edilen kompleks güç

$$S_{conv} = \frac{1}{2} (V_{S_d} + jV_{S_q})(i_d - ji_q) \quad (9)$$

şeklinde. $-dq$ koordinatlarında aktif ve reaktif güçler aşağıdaki gibidir.

$$P_{dq} = \frac{3}{2} V_d i_d \quad (10)$$

$$Q_{dq} = -\frac{3}{2} V_d i_q \quad (11)$$

3.1.1 Dahili kontrolör

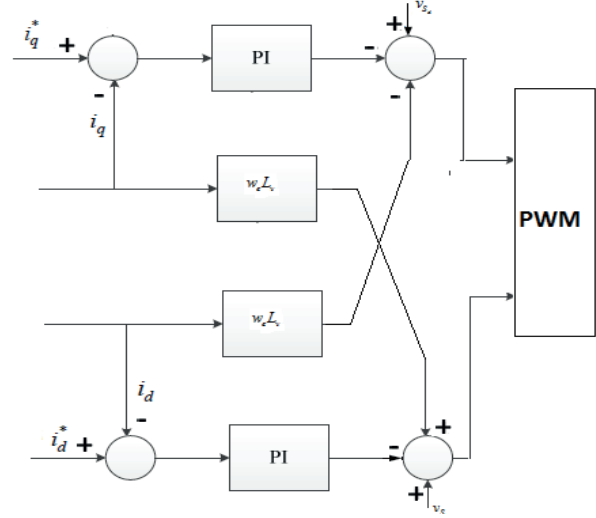
Dahili kontrolör çevrimleri dış kontrolörden daha hızlı dizayn edilmelidir. Bu kontrol sistemi faz reaktörü boyunca akımı denetler. Ayrıştırılmış kontrol kullanılır, bu da voltajların ve akımların bağımsız olarak kontrol edilen dq bileşenlerinde ayrıştırıldığı anlamına gelir [S.Cole,]. Akım kontrolünün çıkışı istenen konvertör voltajıdır. Dahili kontroller aşağıdaki eşitliği gerçeklemlidir.

$$L_v \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{S_d} \\ V_{S_q} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_{C_d} \\ V_{C_q} \end{bmatrix} - R_v \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} - \omega L_v \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (12)$$

12 numaralı denklemin blok diyagramı Şekil 4’de görülmektedir.

3.1.2 Harici kontrolör

Dış denetleyiciler, dahili akım denetleyicisi için geçerli referans sinyallerini sağlamaktan sorumludurlar. Terminal denetleyicisi, dönüştürücünün sistem veri yolundaki davranışını belirler [F.M.Gonzalez-Longatt,].



Şekil 4: Dahili kontrolör çevriminin yapısı

Sonuç olarak, ayrıştırılmış aktif ve reaktif güç kontrolü gerçekleşir; burada aktif güç dönüştürücü akımın d eksen bileşeni tarafından kontrol edilir ve reaktif güç dönüştürücü akımın q eksen bileşeni tarafından [Y. Liu,] olarak kontrol edilir

$$\begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} = \frac{3}{2} i_d \begin{bmatrix} V_{S_d} \\ V_{S_q} \end{bmatrix} + \frac{3}{2} i_q \begin{bmatrix} V_{S_q} \\ -V_{S_d} \end{bmatrix} \quad (13)$$

4. VSC-HVDC test sisteminin DiGSiLENT ortamında oluşturulması

Bu bölümde bir önceki bölümde matematiksel modeli verilen VSC-HVDC iki farklı test sistemine entegre edilerek kontrol edilmeye çalışılmıştır. Güç sisteminde kullanılan elemanlar DiGSiLENT Simulation Language(DSL) yazılımı ile kontrol edilmiştir.

4.1 Test Sistemleri

Aşağıda uygulamada kullanılan sisteme genel bir bakışın yanı sıra sistemin her bir bölümünün nasıl uygulandığının açıklaması verilmektedir. Şekil 5 (a-b), bu çalışmada kullanılan örnek test sistemlerini göstermektedir. Her iki sisteme ait parametreler Çizelge 1’de verilmiştir.

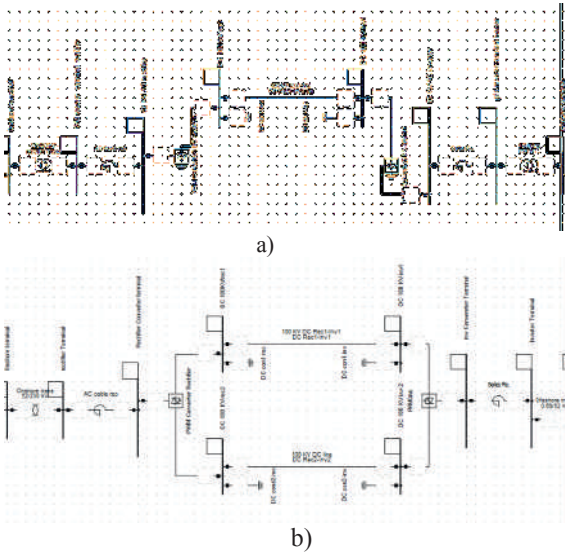
3.1.1 DC kapasitör hesabı

Konvertörün anahtarlama frekansı 5 kHz olarak belirlenmiştir. Bu durumda ortalama zaman gecikmesi 100 μs ’dir. Her iki test sistemi için DC hat kapasiteleri için zaman sabiti (τ) 5ms alınmıştır. Çizelge 1’de verilen parametrik değerlere göre;

$$C_1 = \frac{2 \cdot \tau S_{m_1}}{V_{DC_1}^2} = \frac{(2) \cdot (0.005) \cdot (45) \cdot 10^6}{(100 \cdot 10^3)^2} = 45 \mu F$$

$$C_2 = \frac{2 \cdot \tau S_{m_2}}{V_{DC_2}^2} = \frac{(2) \cdot (0.005) \cdot (400) \cdot 10^6}{(100 \cdot 10^3)^2} = 400 \mu F$$

elde edilir.



Şekil 5. Simulasyon ortamında modellenen VSC-HVDC test sistemleri a) Sistem-1 b) Sistem-2

Çizelge 1: İki farklı güçte modellenen VSC-HVDC Test sistemlerine ait parametreler

	Sistem 1	Sistem-2
VSC anma gücü	45 MVA	400 MVA
VSC anma AC gerilimi	52 kV	52 kV
VSC anma DC gerilimi	100 kV	±100 kV
DC kapasitör	45 μ F	400 μ F
Faz reaktör	31.91mH	0.15 pu
	0.83 Ω	0.015 p.u
1.Transformatör	0.69/52kV, 200MVA, X_{tr} 8%pu	0.69/52kV, 600MVA, X_{tr} 8%pu
2.Transformatör	52/230kV, 200MVA, X_{tr} 8%pu	52/230kV, 800MVA, X_{tr} 8%pu
DC hat[100 km]	(0.0137ohm+ 157mH+0.0086 uF)/km	(0.0137ohm+ 0.157mH+0.0 086uF)/km

5. Simulasyon çalışmaları

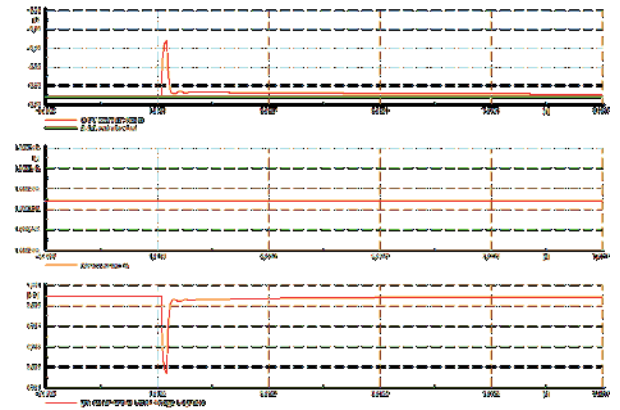
Aşağıda DiGSiLENT ortamında modellemesi gerçekleştirilen her iki test sistemine ait analiz çalışmaları verilmiştir. Kontrolörlerin performansını gözlemlemek amacıyla dinamik simulasyonlar gerçekleştirilmiş ve sonuçları çizdirilmiştir.

5.1 Sistem -1 için inverter terminalinde 3 fazlı kısa devre testi

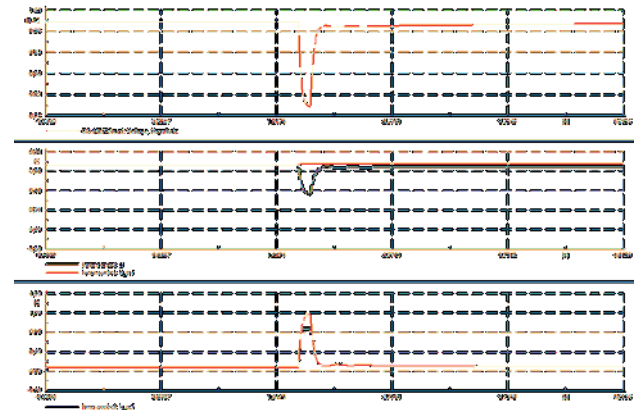
Bu simulasyon çalışmasında inverter terminaline 2.saniyede 3 fazlı bir kısa devre hatası uygulanmıştır. Hata 0.1 saniye sonra temizlenmiştir. 0.66 p.u (30 MW)'lık aktif güç VSC-HVDC üzerinden transfer edilmiştir. Şekil 6'da AC gerilim, frekans ve aktif güç, Şekil 7'de ise DC gerilim ve akımın vektörel bileşenlerine ait akım kontrolör sinyalleri i_d ve i_q ' nün değişimleri çizdirilmiştir.

Şekil 6 ve 7 'den görüleceği gibi kısa devre arızasından sonra vektör kontrol tabanlı VSC-HVDC kontrolör elverişli bir

ekilde sistemi kısa bir sürede kararlı hale getirmiş ve güç transferi başarıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. 3 fazlı kısa devre arızasından sonra en üstten aşağıya doğru sırasıyla Aktif güç , frekans ve inverter terminali geriliminin işaretleri

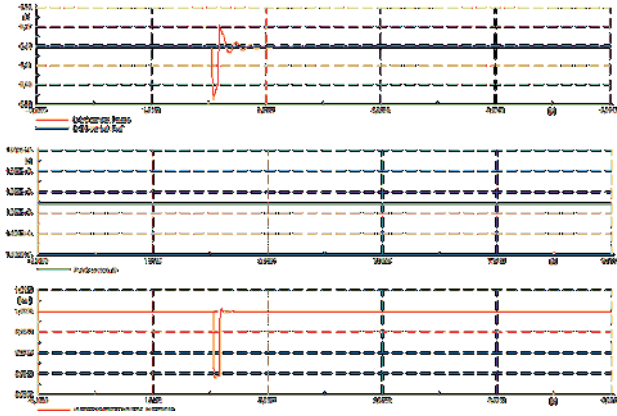


Şekil 7. 3 fazlı kısa devre arızasından sonra en üstten aşağıya doğru sırasıyla DC gerilim ve akımın vektörel bileşenlerine ait akım kontrolör sinyalleri

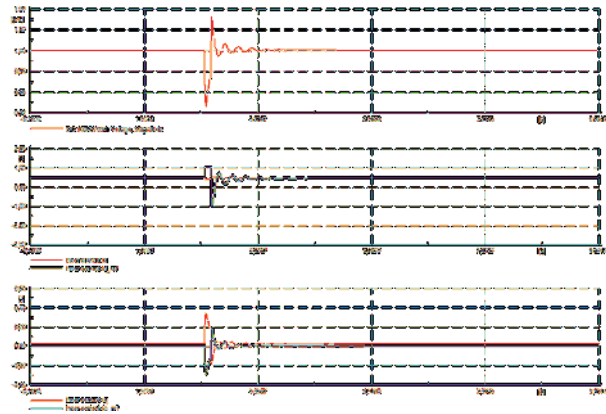
5.2 Sistem -2 için inverter terminalinde 3 fazlı kısa devre testi

Bu simulasyon çalışmasında inverter terminaline 3.saniyede 3 fazlı bir kısa devre hatası uygulanmıştır. Hata 0.1 saniye sonra temizlenmiştir. 0.44 p.u (200 MW)'lık aktif güç VSC-HVDC üzerinden transfer edilmiştir. Şekil 8'de AC gerilim, frekans ve aktif güç, Şekil 9'da ise DC gerilim ve akımın vektörel bileşenlerine ait akım kontrolör sinyalleri i_d ve i_q ' nün değişimleri çizdirilmiştir.

Şekil 8 ve 9 'dan görüleceği gibi kısa devre arızasından sonra vektör kontrol tabanlı VSC-HVDC kontrolör elverişli bir şekilde sistemi kısa bir sürede kararlı hale getirmiş ve güç transferi başarıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8. 3 fazlı kısa devre arızasından sonra en üstten aşağıya doğru sırasıyla DC gerilim ve akımın vektörel bileşenlerine ait akım kontrolör sinyalleri



Şekil 9. 3 fazlı kısa devre arızasından sonra en üstten aşağıya doğru sırasıyla DC gerilim ve akımın vektörel bileşenlerine ait akım kontrolör sinyalleri

6. Sonuçlar

Bu çalışmada DiGSiLENT Power Factory güç sistemleri analizi simülasyon programında iki farklı güçte VSC-HVDC sisteminin modellenmesi gerçekleştirilmiş ve konvertörler için vektör alan tabanlı kontrolör tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan kontrolörün performansı test edilmiştir. Kontrolörün performansını test etmek amacıyla inverter terminalinde oluşturulan üç fazlı kısa devre arıza senaryosu oluşturulmuş ve hatanın çok kısa bir sürede temizlendiği kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçlar hata sonrası sistemlerin kararlı halde kaldığını ve arzu edilen güç transferinin başarıyla sağlandığını göstermiştir. Kontrolör işaretlerinin değişimleri izlendiğinde vektör alan tabanlı tasarlanan kontrolörün test sistemleri için referans değerlere çok kısa bir sürede ulaştığı gözlemlenmiştir.

7. Kaynaklar

- Camilo Iancheros, "Transmission systems for offshore wind farms: A Technical, environmental and economic assesment" Hamburg University of Technology, Master Thesis, April 2013, 2010
- A.Persson and L.Carlsson,(1996), "New technologies in HVDC converter design.", in the 6th International Conference on AC and DC power Transmission, : 387-392.
- N. Flourentzou, V.G.Agelidis, and G.D.Demetrias, (2009). "VSC-Based HVDC power Transmission Systems: An Overview", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 24. : 592-602.
- U. Axelsson, A. Holm, C. Liljegren, M.Aberg, K.Eriksson, and O.Tellerz, (2001) "The Gotland HVDC Light project-experiences from trial and commercial operation", in the 16th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, Part 1: Contributions. CIRED. (IEE Conf. Publ. No.482), vol.1,:5.
- L. Xiaolin, Y.Zhichang, F.Jiao, W.Yizhen, L.Tao, and Z.Zhe,(2014), "Nanao multi-terminal VSC-HVDC project for integrating large-scale wind generation", IEEE/PES General Meeting Conference and Exhibition ;: 1-5.
- T.W.Shire,(2009), "VSC-HVDC based network reinforcement", Master's Thesis. Delft University of Technology, Delft, Netherlands.
- T.M.Haileselassie,(2008),"Control of multi-terminal VSC-HVDC systems. PhD Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway
- P.Kundur, (1994), "Power System Stability and Control", Mc-Graw-Hill, Inc., London
- J.Yang, J.Zheng, G.Tang and Z.He, (2010), "Characteristics and recovery performance of VSC-HVDC DC transmission line fault", Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2010 Asia-Pacific, Chengdu,China,:1-4
- J.Zhang, L.harnefors, and H.P.Nee,(2010) "Power synchronization control of grid-connected voltage-source converters", IEEE Transactions on Power Systems, vol.25, no.2:809-820.
- Cuiqing Du,(2003), "The control of VSC-HVDC and its use for large industrial power systems", Master thesis, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden.
- S.Cole,(2010), "Steady-state and Dynamic Modelling of VSC-HVDC Systems for Power System Simulation", PhD Thesis, Katholieke University Leuven,Leuven,Belgium.
- F.M.Gonzalez-Longatt, Jose Luis Rueda, (2014), "Power factory Applications for Power System Analysis", Springer International Publishing, Switzerland.
- Y. Liu,(2013), "The study on Hybrid multi-infeed HVDC systems connecting with offshore wind farm", PhD Thesis, Department of Energy Technology, Aalborg University,Denmark.

İnsan-Elektrik Hibrit Araç için Gerçek Zamanlı Sistem Simülasyonu Benzetimi

Hardware in the Loop (HiL) Simulation of a Human Electric Hybrid Vehicle

Özgür Aktekin¹, Utku Kıran¹, Ahmet Sakallı¹

¹Hibrit ve Elektrikli Araç Sistemleri Kontrolü

AVL Araştırma ve Mühendislik, İstanbul

{ozgur.aktekin, utku.kiran, ahmet.sakalli}@avl.com

Özetçe

İnsan Gücüyle Çalışan Araçlar (İGÇA'lar) günümüz şehir ulaşımında özellikle günlük kısa mesafe kullanımında öne çıkan araçlardan birisidir. İGÇA'ların fiyat, verimlilik ve çevre konularındaki avantajları bu gelişimin arkasındaki temel sebeplerdir. Bu çalışmada, İnsan-Elektrik Hibrit (İEH) araç olarak adlandırılan ve elektrik motorunun seri-paralel güç aktarım mekanizması ile birleştirilmesi ile oluşan bir İGÇA için gerçek zamanlı sistem simülasyonu (Hardware in the Loop - HiL) benzetim sonuçları sunulmuştur. İEH aracın güç aktarım mekanizmasının bileşenlerinin genel taslağı, çalışma modları ve tork kontrol algoritması anlatılmıştır. Bu çalışmada sunulan benzetim sonuçları, kontrol edilen modelin kapsamını artırarak etkili bir test platformu oluşturmak amacıyla, tam boyutlu bir ETAS HiL simülasyonu kullanılarak elde edilmiştir. HiL testi sonuçları bir sürüş çevriminde seri-paralel hibrit güç aktarım yapısının verimliliği ve insan katkısını artırdığını ortaya koymuştur.

Abstract

Human Powered Vehicles (HPVs) are one of the evolving concepts for today's urban transportation for daily usage. The major reasons behind this evolution are the advantages of HPVs in the sense of cost, efficiency, environmental concerns. This paper presents preliminary Hardware in the Loop (HiL) testing results of a HPV combined with electric motor via series-parallel powertrain which is named as Human Electric Hybrid (HEH) vehicle. The mechanical overview of the powertrain components, the explanations of the HEH vehicle operating modes and the torque control algorithm are discussed. The simulation results introduced in this paper are obtained with the usage of a full sized ETAS HiL simulator employed in order to provide an effective testing platform by increasing the comprehensiveness of the plant to be controlled. The HiL experimental results reveal that the series-parallel hybrid powertrain architecture increases the efficiency and the human contribution over a drive cycle.

1. Giriş

Son yıllarda insan gücü kısa mesafeli günlük ulaşımında önemli bir güç kaynağı haline gelmiştir. Bu durumun en önemli

sebepleri arasında çevre kirliliği ile ilgili endişeler ve büyük şehirlerde yaşanan yüksek trafik yoğunluğu gösterilebilir. Sonuç olarak, İnsan Gücüyle Çalışan Araçlar (İGÇA'lar), hareket kabiliyeti, maliyet ve sağlık avantajları sebebiyle daha yaygın bir kullanım alanına ulaşmışlardır. İGÇA'lar binek araçlara göre düşük maliyetli, küçük boyutlu ve çevre dostudurlar. Günümüzde bisiklet, elektrikli bisiklet ve velomobile gibi çeşitli İGÇA tipleri mevcuttur. İGÇA'lar birbirlerinden genellikle sahip oldukları güç kaynaklarına ve güç aktarım mekanizmalarının mimarilerine göre ayrışır. İnsan gücünü ana kaynak olarak kullanan en basit İGÇA'lar (bisiklet ve elektrikli bisiklet) bisiklet tipi İGÇA'lar olarak sınıflandırılmaktadır [1, 3]. Bu tip araçların şehir içi kullanım alanları daha geniş ve boyut olarak binek araçlara göre oldukça küçüktür. Buna karşın, bisiklet tipi İGÇA'ların kullanılması için bisiklet kullanımına uygun özel yollar gerekmektedir. Ayrıca bu araçlar kar, yağmur gibi olumsuz hava koşullarından etkilenirler. Son yıllarda yapılan çalışmalar otomobil tipi İGÇA'lar olarak da adlandırılan, bisiklet ile binek araç arasında konumlandırılan gelişmiş İGÇA tipleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bu tipteki araçlar bir güç aktarım mekanizmasına ve insan gücüne ek olarak bir başka güç kaynağına da sahiptirler (örneğin Elektrik Motoru (EM)). Dolayısıyla, otomobil tipi İGÇA'lar bisiklet tipi muadillerine göre daha geniş hız/güç aralığında ve daha iyi tirmanma performansı ile çalışabilmektedir. Otomobil tipi İGÇA'ların bisiklet tipi İGÇA'lara kıyasla bir diğer artışı ise hava koşulları ve kazalara karşı koruma sağlamalarıdır. En çok bilinen otomobil tipi İGÇA'lardan birisi teknik olarak en yalın olarak düşünülen Velomobile'dir [4]. Bu araçta, pedallar tek çekiş kaynağıdır ancak güç basit bir güç aktarım mekanizması vasıtasıyla tekerlere aktarılır. Ayrıca Velomobile'in seri-hibrit sürümü de bulunmaktadır [5]. Ancak, seri-hibrit güç aktarım mekanizmasının çift enerji dönüşümünden dolayı enerji verimliliği düşmektedir [6]. Bir diğer çok bilinen otomobil tipi ise paralel-hibrit güç aktarım mekanizmasına sahip olan ve çekiş torkunu insan ve EM birleşiminden sağlayan Twike'tir [7]. Bu birleşim güç kaynaklarını sürüş şaftına bir Tek Yön Kavrama (TYK) ile bağlanmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu güç aktarım yapısının dezavantajı ise eğer EM pedallardan daha hızlı dönüyorsa insan gücünün şafta aktarılamamasıdır. Bu durumda, konvansiyonel, seri hibrit ve paralel hibrit güç aktarım mekanizmalarının, hem avantajları hem de dezavantajları olduğu görülmektedir. Ancak, yakın zamandaki

bir çalışmamızda, seri-paralel-hibrit güç aktarım yapısının hem seri hem de paralel yapının sağladığı avantajları ortaya koyabileceği gösterilmiştir [8].

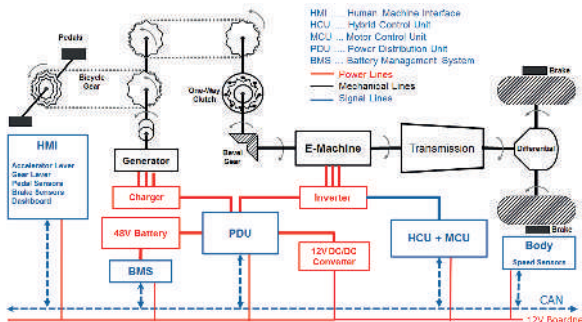
Otomotiv kontrol sistemleri son ürünün doğruluğunu garantilemek için özel doğrulama ve sağlama süreçlerine ihtiyaç duyarlar. Gerçek zamanlı sistem simülasyonu (HiL) testi, modelle benzetim (Model in the Loop (MiL)), yazılımla benzetim (Software in the Loop (SiL)), işlemci (Processor in the Loop (PiL)), ve araç (Vehicle in the Loop (ViL)) testleri gibi diğer doğrulama yöntemleri ile beraber kritik bir öneme sahiptir. MiL testi sırasında, modeller sanal bir ortamda (Örn. MATLAB/Simulink) koşuturlur. SiL testi sırasında ise yazılım sanal bir ortamda donanımdan bağımsız olarak koşuturlur. PiL testi sırasında yazılım hedeflenen mikroişlemci (Örn. Elektronik Kontrol Ünitesi (EKU)) üzerinde koşuturlur. HiL testleri ise gerçekçi sistem modellerini (Örn. Şanzıman, motor) içeren donanımla benzetim düzeneklerinde yapılar ve yazılım araçta bulunana ödeş bir EKU'da koşuturlur. Son olarak, ViL testi ise ilk örnek araç üzerinde yapılmaktadır. Bu nedenle, HiL simülasyonu araç üzerinde yapılacak testlere başlamadan önceki son aşamadır. HiL testleri sayesinde hem geliştirme maliyetleri azaltılmakta hem de araç testi sırasında oluşabilecek tehlikelerden bileşenlerin (Örn. motor, şanzıman, evirici) zarar görme olasılıkları azaltılmaktadır.

Bu çalışmada, İnsan Elektrik Hibrit (İEH) araç olarak adlandırılan, seri-paralel hibrit güç aktarım mekanizmasına sahip olan gelişmiş bir İGÇA modeli ile yapılan, gerçek zamanlı sistem simülatörü sonuçları sunulmaktadır.

İkinci bölümde, sistem mimarisi, çalışma modları, güç aktarım mekanizması ve sistem bileşenler açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde, İEH araç modeli ve donanımla benzetim ortamı anlatılmaktadır. Deneysel çalışmalar ve farklı sürüş koşulları, şarj durumu ve bileşen durumlarını içeren test sonuçları dördüncü bölümde sunulmuştur. Son bölümde ise sonuçlar ve gelecek çalışmalara değinilmiştir.

2. Güç Aktarım Mimarisi ve Yazılım Yapısı

Bileşenleri, kontrol ünitelerini ve mekanik/elektrik bağlantıları gösteren güç aktarım mimarisi Şekil 1'de gösterilmiştir. İEH aracın temel bileşenleri olarak pedallar, zincir-dişliler, jeneratör, TYK, EM, batarya, şanzıman, diferansiyel ve tekerler sayılabilir. İEH aracın güç aktarım mekanizmasını HEA'ların seri-paralel güç aktarım mimarisisiyle [6] eşleştiren dört farklı enerji akış yolu mevcuttur; 1) Sadece pedal, 2) Sadece EM, 3) Paralel hibrit (pedal + EM), 4) Seri hibrit (pedallar şarj ederken + EM çekişi).



Şekil 1: İEH araç için güç aktarım mimarisi

İnsan gücünün güç sistemine katılmasındaki en önemli zorluklardan birisi, insanın pedal çevirme hızının fiziksel olarak limitli olmasıdır. Ek olarak, insanın güç aktarım mekanizmasından kaynaklanabilecek tehlikelere karşı korunması da zorunlu hale gelmektedir. Bu duruma çözüm sağlamak için genellikle TYK'lar çekiş kaynakları arasına yerleştirilmektedir [8, 10]. TYK'lar tork aktarımını giriş ve çıkış şaftlarının hızlarına bağlı olarak sadece tek yönde aktarmaktadır. Dolayısıyla, sürücünün EM'den kaynaklanabilecek yüksek pedal hızlarından korunması sağlanmaktadır. Öte yandan, TYK'nın serbest dönüş karakteristiği, EM hızının pedal hızından fazla olduğu durumlarda pedaldan tork aktarımı yapılamamasına neden olmaktadır [8, 10].

İEH araç şanzımanının 4 modu bulunmaktadır ve modlar arası geçiş sürücü kabini içerisinde bulunan bir vites kolu ile sağlanmaktadır. Park (P) vitesinde, bir vites kilitleme mekanizması dönel hareketi engellemektedir. Boş (Neutral (N)) vitesde, şanzıman giriş ve çıkış şaftları bağlantısız hale getirilir ve tekerlere herhangi bir tork aktarılmaz. Sürüş (Drive (D)) vitesinde, giriş ve çıkış şaftları sabit bir oranla bağlanır. Geri (Reverse (R)) vitesde ise dönel hareket şanzıman içerisinde terse çevrilir. Pedal çevrimi ile ortaya çıkan mekanik enerjinin bataryayı beslemek üzere elektrik enerjisine çevrilmesi için pedal şaftına bir jeneratör bağlanmıştır. Mevcut özellikler pedal çevriminin her çalışma modunda kullanılmasını garanti etmektedir.

İEH aracın çalışma modları şanzımanın (vites kolunun) ve güç kaynaklarının mevcut durumlarına göre tanımlanmaktadır. Çalışma modlarının temel görevleri herhangi bir uyumsuzluk oluşturmadan seri-paralel hibrit güç aktarım mekanizması fonksiyonlarının sağlanmasıdır. İEH araç için 10 farklı çalışma modu tanımlanmıştır. Bu çalışma modları ve geçerli kontrol algoritmaları güç aktarım mekanizması bileşenlerinin durumlarına bağlı olarak etkinleştirilmektedir [8]. Vites kolu P konumundayken Park modu etkindir. Araç hareket etmezken ve vites kolu N konumundayken pedal üzerinden şarj gerçekleştirmek için Durağan Şarj (DŞ) modu etkinleştirilmektedir. Vites kolu D konumundayken 5 farklı sürüş modu mümkündür; sadece pedal ileri sürüş, sadece EM ileri sürüş, paralel hibrit ileri sürüş, seri hibrit ileri sürüş ve reküperasyon. Vites kolu R konumundayken ise 3 ayrı geri sürüş modu tanımlanmıştır; sadece pedal geri sürüş, sadece EM geri sürüş, paralel hibrit geri sürüş. İEH araç yazılımı sürücü tarafından uygulanan mevcut pedal durumu (pedal çevriliyor veya boşta), gaz ayar çubuğu, fren kolu ve vites kolu girişlerini çalıştırır ve buna bağlı olarak EM tork referansını değiştirerek toplam tork talebinin karşılanmasını sağlar. Çalışma modları ve bu modlara karşılık gelen bileşen durumları Tablo 1'de verilmiştir.

İEH araç yazılımı etkin çalışma moduna bağlı olarak güç kaynakları (pedallar ve EM) arasındaki tork koordinasyonunu sağlamaktadır. Bu koordinasyonun en önemli zorluğu eş zamanlı olarak sürücü girişlerinin uygulanması, pedal tork değerlerinin ölçülmesi ve EM tork değerinin hesaplanmasıdır. İEH yazılımı ilk olarak Tablo 1'de gösterildiği şekilde çalışma modlarına karar vermektedir. Sürücü tarafından uygulanan tork girişi, değişken genlik (sürücü gücüne orantılı olarak) ve değişken frekans (pedal çevirme hızı) sahip bir sinüs dalgası olarak uygulanmıştır

Tablo 1: İEH Çalışma Modları

Çalışma Modu	Pedal	Generatör	Elektrik Motoru	Batarya	Tek Kavraması	Yön	Vites Kolu
Park	Kilitli	Boşta	Kilitli	Akış Yok	Kilitli		Park (P)
Durağan Şarj	Dönüyor	Çalışıyor	Boşta	Şarj	Kavramış		Boş (N)
Sadece Pedal İleri Sürüş	Dönüyor	Boşta	Boşta / Tork Kompanzasyonu	Akış Yok	Kavramış		İleri (D)
Sadece EM İleri Sürüş	Serbest	Boşta	Çalışıyor	Deşarj	Serbest Dönüş		İleri (D)
Seri Hibrit İleri Sürüş	Dönüyor	Çalışıyor	Çalışıyor	Şarj (Pedal) ve Deşarj	Serbest Dönüş		İleri (D)
Paralel Hibrit İleri Sürüş	Dönüyor	Boşta	Çalışıyor / Tork Kompanzasyonu	Deşarj	Kavramış		İleri (D)
Sadece Pedal Geri Sürüş	Dönüyor	Boşta	Boşta	Akış Yok	Kavramış		Geri (R)
Sadece EM Geri Sürüş	Dönüyor	Boşta	Çalışıyor	Deşarj	Serbest Dönüş		Geri (R)
Paralel Hibrit Geri Sürüş	Dönüyor	Boşta	Çalışıyor	Deşarj	Kavramış		Geri (R)
Rekuperasyon	Serbest	Boşta	Çalışıyor (Geri)	Şarj	Serbest Dönüş		İleri (D)

bir sürücü modeli kullanılarak ölçülmektedir. İEH yazılımı, ilk olarak Değişken bir sinüzoidal sinyal tanımlanmasının temel nedeni dişli açısına göre değişen açılal kuvvetler göz önüne alındığında, insanın pedallara sabit tork uygulamasının mümkün olmamasıdır [11]. Sonrasında gaz ayar çubuğu ve o anki pedal tork değeri ile verilen sürücü referans tork değeri kullanılarak etkin olan çalışma modu için tanımlanan kontrol algoritması ile EM tork referansı hesaplanır.

Çalışma modu Park (1) ise, şanzımda bulunan vites kilitleme mekanizması tüm dönel bileşenleri kilitleyeceği için, herhangi bir hesaplama yapılmadan EM tork referansı 0 olarak belirlenir. Durağan şarj modunda (2) bataryanın insan pedal gücüyle şarj edilmesi mümkündür (Örn. trafik ışıklarında beklerken). Vites kolu N konumunda olduğu sürece çekiş kaynaklarının tekerler ile bağlantısı bulunmamaktadır ve bu modda sürücü tarafında uygulanan dönel hareket bataryada saklanmak üzere elektrik enerjisine çevrilir. Dolayısıyla, sürücü pedallar aracılığıyla bataryayı şarj edebilmektedir. İleri ve geri sürüş modlarında (3-10), İEH yazılımı bütün sürüş modlarındaki kontrol algoritmaları için gerekli olan sürücü pedal çevirme durumunu ve sürücü tarafında uygulanan tork referansını kullanmaktadır. Eğer bu çalışma modlarında pedal gücü ana çekiş kaynağı (sadece pedal modları) ise EM sadece tork dalgalanmasının bastırılmasından sorumludur. Tork dalgalanmasının bastırılması sırasında, her zaman sürücü tarafından ulaşılabilecek azami tork değeri (sinüzoidal tork işaretinin tepe değeri) sağlanmaktadır [8]. EM ve pedalların aynı anda çekiş kaynağı olarak kullanıldığı durumlarda (paralel hibrit modlar) EM tork referansı gaz ayar çubuğu ile belirlenen tork referansı ile dalgalanma tork değerinin toplamı olarak hesaplanır. EM ve pedalların aynı anda güç kaynağı olarak kullanıldıkları durumlarda (seri hibrit modlar) ise EM tork referansı gaz ayar çubuğu ile belirlenen tork değeri ve pedal çevirme ile elde edilen ortalama tork değerinin toplamı olarak hesaplanır. Çekiş torku sabit kalacağından TKY üzerinde oluşabilecek tork kesintileri engellenmektedir. Tek başına EM çekiş kaynağı olarak kullanıldığında (sadece EM modlar) EM tork isteği direkt olarak gaz ayar çubuğu ile belirlenir.

3. HiL Test Ortamı ve Sistem Modeli

HiL düzeneği yazılım benzetim uygulamalarının hassas donanım elemanlarının gerekli çalışma koşullarında kullanılmasını da içerecek şekilde tüm sistem üzerinde gerçekleştirilmesine imkân sağlayarak üretim süreçlerini hızlandırmaktadır. Bu durum tüm sistem seviyesi testlerinin tamamlanmış bir ilk örneğe ihtiyaç duymadan yapılabilmesini sağlamaktadır. Bunun yanında bu yöntemin sağladığı diğer bir önemli avantaj ise modellenen veya benzetimi yapılan sistem bileşenlerini kullanarak yüksek doğrulukta test sonuçları elde edilmesini sağlamasıdır.

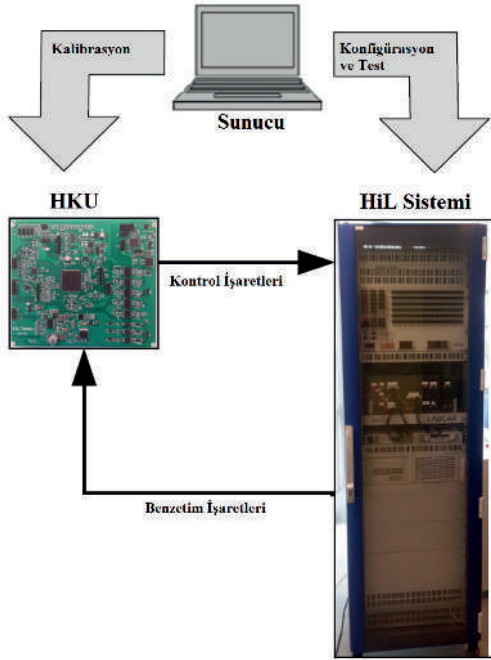
Bu bölümde, HiL sistemi ve HiL sistemine gömülü sistem modeli sunulmuştur. Şekil 2'de gösterilen HiL düzeneği İEH aracın sistem yazılımının gerçek araçtakine yakın doğrulukta test edilebilmesi için kurulmuştur. Bu test düzeneğinde ölçümleme parametreleri sunucu bilgisayar üzerinden değiştirilmektedir. HiL testinin yapılabilmesi için HiL test düzeneğinde yapılması gereken temel konfigürasyon etkinlikleri (sistem modeli, bağlantılar vb.) de sunucu bilgisayar kullanılarak yapılmıştır. Geçerli konfigürasyon ayarları yapıldıktan ve parametre değerleri uygun bir şekilde seçildikten sonra, HiL düzeneği gerçek bir sürüş sırasında sürücü tarafından uygulanması beklenen girdilerin modellenen ya da benzetilen muadilleri kullanılarak önceden tanımlanan sürüş manevralarını test etmeye hazır hale gelir.

İEH aracın HiL sistem modeli çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır. Sürücünün müdahilliğinin sağlanması ve pedal çevirme eyleminin gerçekleşmesi için HiL sistem modelinin bir parçası olarak sürücü pedal çevirme modeli uygulanmıştır. Zincir ve dişli bileşenlerinin ise sabit dişli oranları ile pedala bağlandığı varsayılmıştır. Güç elektroniği bileşenleri (EM, evirici ve batarya) bileşenlerin verimlilik eşlemleri göz önünde bulundurulurken gerçekçi ölçümler ile modellenmiştir. TYK burulma elemanı içeren iki döner disk olarak modellenmiştir. Şanzıman modeli diferansiyel ve sürücü tarafından kontrol edilen vites seçim modülünün birleşimi olarak modellenmiştir. Mekanik model için verimlilik durumları da göz önüne

alınmıştır. Araç dinamiği modeli ise çekiş ve direnç kuvvetlerine dayanarak oluşturulmuştur. Araç dinamiğini etkileyen parametreler (hava direnci, hava yoğunluğu, araç ön alanı, yuvarlanma direnci, yuvarlanma sabitleri, teker yarıçapı) gerçekçi araç davranışını temsil edecek şekilde seçilmiştir.

4. Deneysel Çalışmalar

Bu bölümde, iyi bilinen bir sürüş çevrimi olan Kentsel Sürüş Çevrimi (Urban Driving Cycle (UDC veya ECE-15)) kullanılarak İEH araç için yapılan HiL test sonuçları sunulmuştur. UDC tipik kent trafiği için sürüş koşullarını temsil etmektedir ve kısa süreli duruş (trafik ışığı, yoğun trafik vb.), düşük hız referansları (15 km/saat, 35 km/saat ve 50 km/saat) düşük ivmelenme ve yavaşlama değerleri içermektedir. UDC yaklaşık 195 saniyede 994 metre mesafe kaydederken, ortalama 18,35 km/saat, azami ise 50 km/saat hız ile temsil edilmektedir. UDC'nin HiL testi için seçilmesinin en önemli sebebi UDC'nin sürüş karakteristiği ile şehir içi kullanım amacıyla tasarlanan İEH araç özellikleri arasındaki uyumdur.



Şekil 2: İEH için donanımla benzetim ortamı

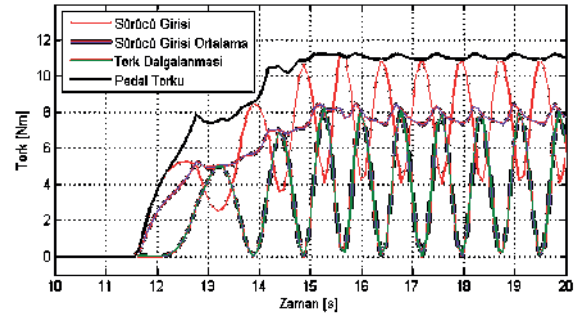
İEH araç için HiL testi sırasında yapması gereken 200 s benzetim süresi boyunca UDC hız profilini takip etmektedir.

Gerçek koşullarda, gerekli girdileri kullanarak hız referansının elde edilmesi sürücünün sorumluluğundadır. Sürücünün bu davranışının HiL ortamında taklit edilmesi için gaz ayar çubuğu pozisyonuna ve pedal çevirme hızını belirleyen bir karar mekanizması oluşturuldu. HiL testleri için hibrit ve elektrik modlarda gaz ayar çubuğu pozisyonu bir PI kontrolör ile belirlenmektedir. Benzer şekilde, pedallardan gelen çevirme hızı da sadece pedal ve hibrit modlarda bir başka PI kontrolör tarafından hesaplanmaktadır. Vites girdisi UDC referans değerlerine bağlı olarak belirlenmiştir. Sistem girişlerine (gaz ayar çubuğu, vites kolu ve pedal çevirme hızı) bağlı olarak İEH algoritması çalışma modlarını (park, durağan

şarj ve ileri sürüş modları) etkinleştirilmektedir. HiL benzetimi için çevrim referans takip sonuçları, çalışma modları ve tork değerleri Şekil 4.'te gösterilmiştir.

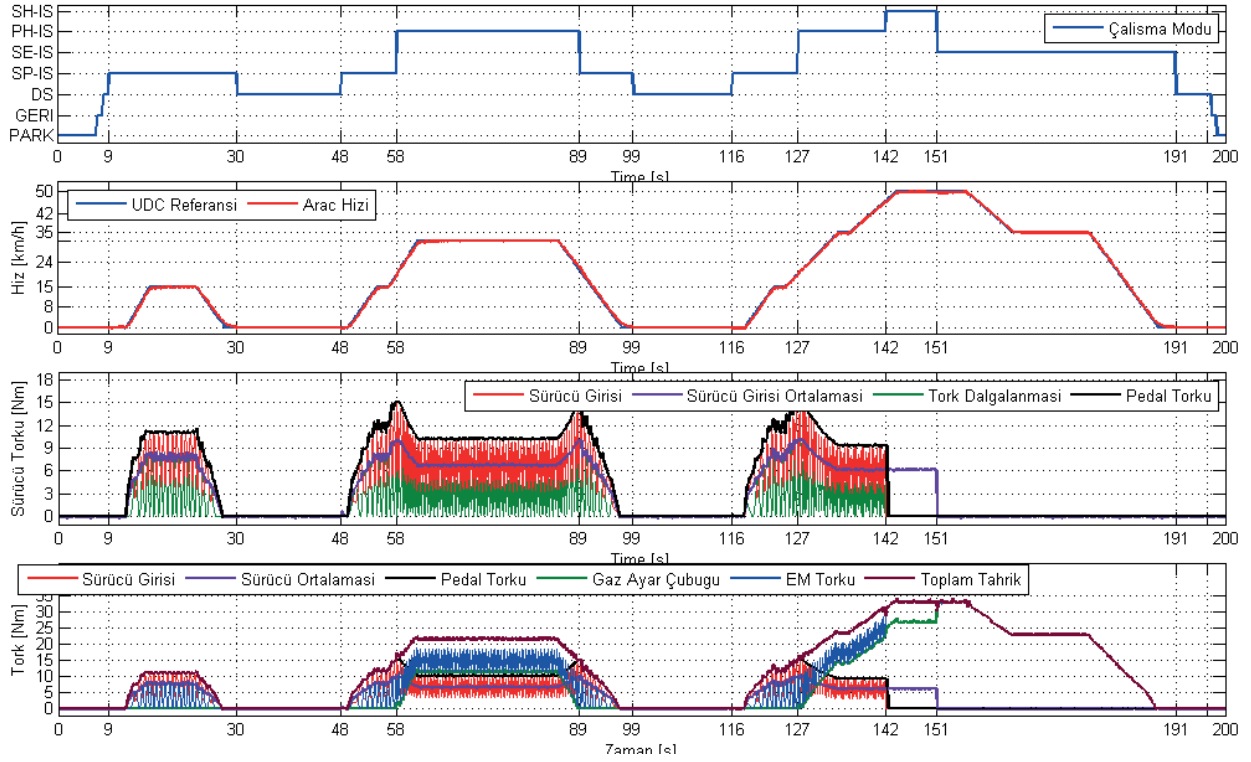
Vites kolu başlangıçta P-R-N sırasını takip etmekte ve son olarak hareketi başlatmak için D'de kalmaktadır. Sadece Pedal İleri Sürüş (SP-İS) modu 9. saniyede başlamakta ve 11. saniyede sürücü pedal çevirmeye başlamaktadır. SP-İS modu sırasında 9. saniyeden 30. saniyeye kadar tek çekiş kaynağı sürücünün pedal çevirme hareketidir. Bu hareketten sağlanan tork, pedal çevriminin karakteri nedeniyle dalgalı olduğu için EM tork kompanzasyonu yapmak için devreye girmektedir. Şekil 3'te görülebileceği gibi sürücü değişen bir pedal torku (Sürücü Girişi) uygulamaktadır. Bu torkun dalgalanması EM yardımı ile kompanse edilmektedir. Bu nedenle, maksimum sürücü giriş torku değeri Pedal Torku olarak sağlanır.

Araç hız referansının 0 km/saat seviyesine düştüğü 30. saniyede vites kolu da N konumuna getirilerek SP-İS modu devre dışı bırakılmakta ve Durağan Şarj (DŞ) modu etkinleştirilmektedir. Araç DŞ modunda iken şanzıman giriş ve çıkış şaftları bağlı olmadığından sürücünün aracı hareket ettirmeden pedal çevirmesi ile bataryayı şarj etmek mümkündür. Bütün UDC çevrimi için şarj durumu değişimi Şekil 5'te verilmiştir. Burada sürücü UDC çevriminin %20'sini DŞ için kullanmaktadır ve çevrimin tamamında %0.51'lik bir şarj geri kazanımı görülmektedir. Kaba bir hesapla, DŞ modunda sürücünün yarım saatlik pedal çevirmesi ile bataryanın şarj durumunda %23'lük bir artış sağlayabileceği görülmektedir.

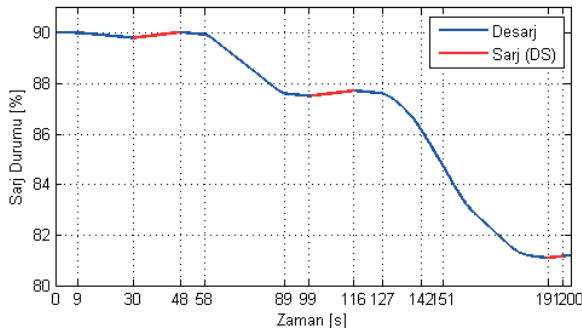


Şekil 3: Sadece Pedal İleri Sürüş modunda sürücünün pedal torkunun elektrik motoru tarafından kompanzasyonu

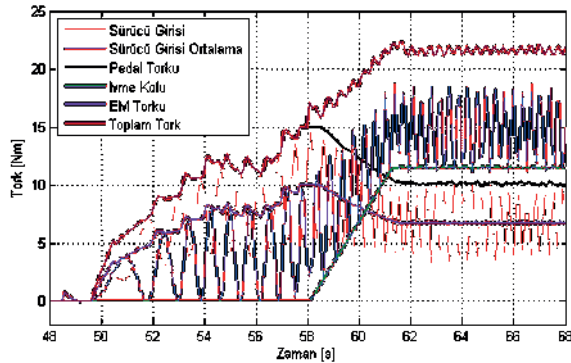
Vites kolu 48. saniyede D konumuna alındıktan sonra SP-İS modu tekrar etkinleştirilmektedir. Hız referansı artmaya başlamakta ve 58. saniyeye kadar sadece pedal çevrilerek bu talep karşılanabilmektedir. Bu süre boyunca sürücü gaz ayar çubuğu ile tork talep etmemektedir. 58. saniyeden sonra, sürücü o anki pedal hareketine ek olarak EM'den tork talebinde bulunmaktadır. Bu noktadan sonra, çekiş torku hem pedal hareketi hem de EM ile üretilmektedir ve Paralel Hibrit – İleri Sürüş (PH-İS) modu etkinleştirilmektedir. Bu moddaki tok koordinasyonu Şekil 5'te gösterilmektedir. EM tork talebi gaza ayar çubuğu referansına kompanzasyon torkunun eklenmesiyle hesaplanır. Örneğin 62 s ve 68 s aralığında sürücü 6,75 Nm civarında salınan, 3,25 Nm genliğinde bir pedal torku uygulamaktadır. Gaz ayar çubuğu ile verilen tork referans değeri 11,5 Nm ve kompanse edilen tork değeri 10Nm civarındadır. Toplam çekiş torku 21,5 Nm olmaktadır. Buna karşılık 3,25 Nm pedal tork salınımı ve 11,5 Nm gaz ayar çubuğu referansından dolayı EM tork değeri 14,75 Nm civarında değişmektedir.



Şekil 4: İEH araç için UDC altında çalışma modu, hız ve tork değişimi



Şekil 5: UDC altında İEH araç için SOC değişimi



Şekil 6: Sadece pedal ve paralel hibrit modlar için tork koordinasyonu

UDC hız profiline bağlı olarak 89 s ve 142 s aralığında DŞ, SP-İS ve PH-İS modları yeniden etkinleştirilmektedir.

142. saniyede, hız referansı sürücünün pedal çevirerek ulaşamayacağı bir seviyeye ulaşmakta ve sürücü EM kadar hızlı pedal çevirmeye devam edememektedir. Sonuç olarak, TYK EM ve pedal arasındaki hız farkı nedeniyle pedaldan EM şaftına tork aktarımına izin vermemektedir. Dolayısıyla, çekiş torku sadece EM tarafından sağlanmaktadır ve pedal çevrimi nedeniyle üretilen tork şarj amacıyla kullanılmakta ve araç Seri Hibrit – İleri Sürüş (SH-İS) moduna geçmektedir. Şekil 5'te gösterildiği gibi EM tork referansı, sürücü tarafından üretilen güce bağlı olarak hesaplanan tork değerine gaz ayar çubuğu ile talep edilen torkun eklenmesiyle hesaplanır. Örneğin, 150. Saniyede çekiş torku 32,8 Nm, gaz ayar çubuğu ile talep edilen tork değeri 26,8 Nm ve tahmin edilen ortalama pedal torku 6,2 Nm'dir. Bu özellik sayesinde SH-İS moda geçerken toplam çekiş torkunun değişmemesi ve sürülebilirliğin TYK üzerinde oluşabilecek kesintilerden etkilenmemesi sağlanmaktadır.

151. saniyede, araç hareket ederken sürücü pedal çevirmeyi bırakmaktadır. Bu yüzden SH-İS modu devre dışı kalmakta ve Sadece Elektrikli İleri Sürüş (SE-İS) modu etkinleştirilmektedir. Bu modda, çekiş tork kaynağı olarak sadece EM kullanıldığı için EM tork referansı, gaz ayar çubuğu referansına eşit olmaktadır. Şekil-4'te görüldüğü gibi, 151. ve 191. saniyeler arasında EM tork talebi çekiş torkuna eşittir. Fakat Şekil-5'te görüldüğü üzere, SE-İS modda batarya şarj durumu PH-İS, SH-İS veya SP-İS modlarındaki (sürücünün pedal çevirmesiyle araç çekişinin yapıldığı modlardaki) sürüşe göre çok hızlı bir şekilde düşmektedir. SE-İS modu 191. saniyede durup vites boşa alınana kadar devam etmektedir. Daha sonra vites sırasıyla N, R ve P konumlarına alınarak, UDC sürüş çevrimi benzetimi 200. saniyede sonlanmaktadır.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada İEH araç için HiL ortamında yapılan test sonuçları sunulmuştur. UDC hız profili kullanılarak yapılan testlerde İEH araç için beklenen sistem davranışları gözlemlenmiş ve hibrit, sadece pedal ve sadece EM modları incelenmiştir. Tork koordinasyonu ve şarj durumu farklı hibrit modlar için analiz edilmiştir.

Benzetim sonuçları, önerilen güç aktarım mimarisinin esnekliği sebebiyle, gaz ayar çubuğu referansı, vites kolu konumu ve pedal çevirme durumuna bağlı olarak İEH araç çalışma modlarının kolayca değiştirilebildiğini açıkça ortaya koymaktadır. Çalışma modları arasında geçiş yapılabilmesi pedal hareketi ve EM çekişi ile elde edilen enerjinin kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, İEH araç için geliştirilen tork kontrol algoritması hibrit modlar arasında geçiş yapılırken, çekiş kaynakları arasındaki tork aktarımının yumuşak bir şekilde olmasını sağlamaktadır.

Önerilen sistemin dikkat çekici başarılarından birisi sürücü girişine göre sürüş modlarının, çekiş ve güç kaynaklarının seçiminde sağladığı esnekliktir. Sadece pedal modu geleneksel bisiklet alışkanlıkları ve sportif amaçlar için uygundur. Paralel hibrit yapı sayesinde, düşük hızlarda, sürücünün pedallar vasıtasıyla güç akışına destek olabilmesi verimli bir enerji dönüşüm oranı sağlamaktadır. Ek olarak, İEH aracın seri hibrit yapısı sayesinde sürücü güç aktarımını desteklemeye devam edebilmektedir. Sürücünün pedal çevirmek istemediği durumlarda veya zorlu yol koşullarında, sadece EM modu güçlü bir destek modu olarak ortaya çıkmaktadır.

Daha sonraki çalışmalarda İEH araç algoritmasının farklı sürüş çevrimleri, yol koşulları ve araç yükleri altında araştırılması öngörülmektedir. Ayrıca bir ilk örnek araç geliştirilmesi de planlanmaktadır.

Kaynakça

- [1] P. Spagnol, M. Corno, R. Mura, S. M. Savaresi, "Self-sustaining strategy for a hybrid electric bike," *IEEE American Control Conference*, pp. 3479-3484, 2013.
- [2] D. Schneider, "Easy Rider: Convert your bicycle to a human-electric hybrid," *IEEE Spectrum*, Vol. 46, No. 9, pp. 26-27, 2009.
- [3] C. Abagnale, M. Cardone, P. Iodice, S. Strano, M. Terzo, "A dynamic model for the performance and environmental analysis of an innovative e-bike," *Energy Procedia*, Vol. 81, pp. 618-6217, 2015.
- [4] M. Ferrari, N. Bianchi, A. Doria, E. Giolo, E. Fornasiero, C. Martignoni, F. Bovi, "Development of a hybrid human-electric propulsion system for a velomobile," *IEEE International Conference and Exhibition on Ecological Vehicles and Renewable Energies*, pp. 1-8, 2013.
- [5] A. Fuchs, "Principles of human-electric hybrid drives for human powered vehicles," *European Seminar on Velomobile Design*, 2009.
- [6] M. Ehsani, Y. Gao, S. E. Gay, A. Emadi, *Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles*, CRC Press, 2005.
- [7] TWIKE Website, "http://www.twike.com".
- [8] O. Aktekin, A. Sakalli, M. A. Ongun, C. Palaz, F. Hacıoğlu, I. Altın, "System design of a human electric hybrid vehicle," *European Automotive Congress*, 2017.

- [9] B. Soner, A. Icke, A. C. Mert, U. Basaran, S. T. Impram, I. Sahin, "Development of an electronic control unit for PMSM drives in automotive applications," *International Conference on Electrical and Electronic Engineering*, 2015.
- [10] M. A. Ongun, O. Aktekin, A. Sakalli, "Functional safety analysis of a human electric hybrid vehicle," *European Automotive Congress*, 2017.
- [11] J. C. Quintana-Duque, T. Dahmen, D. Saupe, "Estimation of torque variation from pedal motion in cycling," *International Journal of Computer Science in Sports*, Vol. 14, pp. 34-50, 2015.

Nesne Takip Eden Robot – Akıllı Taşıma Sistemi

Object Tracking Robot – Smart Transport System

Fatih İleri¹, Hasan Mert Kavaç¹, Dilek Tükel¹

¹Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü
Doğuş Üniversitesi

{Fatihileri23@gmail.com,1236010@dogus.edu.tr,dtukel@dogus.edu.tr}

Özet

Hızla gelişen teknoloji artık hayatlarımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiş durumdadır. Özellikle tıp alanındaki gelişmeler ve daha sonra ulaşım konuları hayati önem taşımaktadır. Günümüzde insanlar devamlı hareket halindedir ve çok sık seyahat etmektedir. Bu proje de hayatımızı kolaylaştırmak amacıyla tasarlanmış bir projedir. Elle kontrol olmadan, insanı takip eden bir platform tasarlanmıştır. Geliştirilen sistem havaalanları, marketler gibi düz ve sabit bir ışık altında olan kapalı mekanlarda çalışabilmektedir.

Abstract

Every year the technology brings some innovations and life hacks to our lives. Also this project is designed for making the life easier. For that purpose, an object tracking platform is designed. In this project, a platform can track an object/human (with mounted object). Especially in the airports or shopping markets. It can be very useful to make the customer move freely. Airports and shopping markets are mentioned as especially because they are indoor places with constant brightness and plank surfaces.

1. Giriş

Günümüzde otomasyon sektörünün bu kadar gelişmesi ve ürünlerin kolay temin edilebilmesi fikri olan insanların düşünceden uygulama geçmesine ve teknolojiye katkı sağlamalarına olanak sağlamıştır. Bu gibi ürünler genellikle insanların hayatını ve günlük yaşamda sıkça karşılaştıkları problemleri gidermek amacıyla yapılmıştır. Bu projede, düşük maliyetli özellikle engelli ve yaşlı insanların seyahati sırasında temassız olarak kendilerini takip edebilen 15kg yük taşıma kapasiteli akıllı taşıma sistemi (ATS) geliştirmektedir (Şekil 1).

Hedef grubumuz dışında da birçok insan ayda birkaç defa hatta gün aşırı seyahat edip vakitlerinin bir çoğunu hava alanlarında geçirmektedir. Bavullarını taşımak yaşlılar, hamileler, çocuklar ve engelliler için ciddi bir problemdir[1]. Bu sebep ile bu konuda yapılacak yenilikler insanları önemli ölçüde rahatlatacak ve yolculuklarını başkasından yardım almadan yapmalarını olanaklı hale getirecektir. Geliştirdiğimiz akıllı sistem, sahibini kamera yardımı ile takip etmekte, hareketlerini iki adet dc motor ve mikroişlemcisi yardımıyla otonom sağlanabilmektedir.



Şekil 1: ATS(Akıllı Taşıma Sistemi):Takip özelliğine sahip mobil sistem

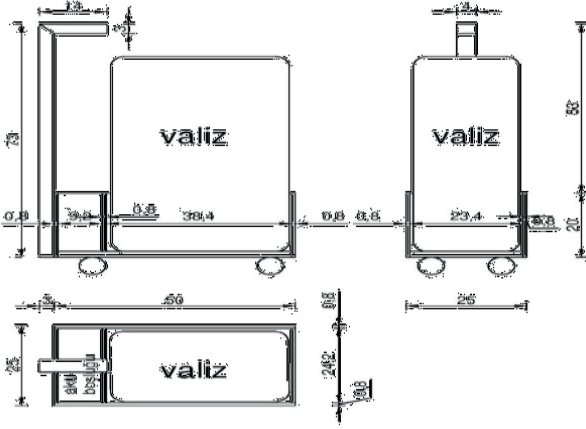
ATS sistemi düşük bütçeli bir robotik sistemdir. Düz yüzeylerde, kullanıcının müdahalesine gerek olmadan farklı yüklerde çalışabilmektedir. Mekanik tasarımda sistemin 0-15kg arası yük taşıyabilmesi, devrilmemesi ve problem durumda kolay müdahale edilebilir olması kriterleri göz önüne alınmıştır.

2. Proje Hedefleri

ATS sisteminin standart boyutta ki valizleri taşıyabilecek, yüke, harici kuvvetlere ve dış etkenlere dayanıklı olması hedeflenmektedir. ATS, sahibini kamera yardımıyla takip etme ve kameradan aldığı bilgiyi otonom harekete dönüştürebilme yeteneğinde olmalıydı.

3. Sistem Bileşenleri

ATS gövdesi mekanik tasarımı Şekil 2'deki gibidir. 38.4x23.4x53cm valiz sığabilmektedir.



Şekil 2: Gövde teknik resmi

Sistemin kontrolü için kullanılan ekipmanlar şu şekildedir:

- 2 DC MOTOR: Dakikada 120 tur dönebilen ve ağırlık değerine göre 300-600 mA akım çeken ağırlığa dayanıklı, redüktörlü bir motordur (Şekil 3).



Şekil 3: DC Motor

- ARDUINO UNO: Sistemin bütün komutlarını gerçekleştiren işlemci.
- ARDUINO UNO MOTOR SHIELD: Arduino Uno için tasarlanmış motorların sürülmesi için gerekli olan motor sürücüsü.
- 2 SCOOTER WHEELS: Büyük scooter için tasarlanmış dayanıklı silikon tekerlek.
- 2 SWIVEL CASTOR: Ağırlığa dayanıklı 50 kg taşıma kapasitesine sahip her yöne dönebilen tekerlek.
- PIXY GÖRÜNTÜ SENSÖRLÜ KAMERA (Şekil 4) : Renk algıyarak buna göre veri işleyebilen sensör kamera[2,3].



Şekil 4: Renk Algılayıcı Sensör Kamera Pixy

- PAKO ŞALTER: 0 ve 1 konumuna ayarlanabilen 2 dereceli şalter.
- AHŞAP PLATFORM: Kaliteli mobilya ahşabı kullanılmıştır.
- BAĞLANTI APARATLARI: Tekerlek-Motor , Motor-Arduino gibi birçok bağlantıyı bir arada tutmasını sağlayan ekipmanlar.

4. Robotun Yapısı

Robotumuzun iki adet eyleyici, kontrol etmemiz gereken değişkenlerse sağ ve sol tekerleri süren motorların açılma hızlarıdır.

$$\begin{aligned}\omega_r &= \frac{v_r}{A} \\ \omega_l &= \frac{v_l}{A}\end{aligned}\quad (1)$$

ω_r : sağ motorun açılma hızı

ω_l : sol motorun açılma hızı

v_r : sağ motorun doğrusal hızı

v_l : sol motorun doğrusal hızı

A: tekerlek yarıçapıdır.

Sistemimizin kinetik modeli

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \frac{1}{2}A(\omega_r + \omega_l)\cos\theta \\ \dot{y} &= \frac{1}{2}A(\omega_r + \omega_l)\sin\theta \\ \dot{\theta} &= \frac{A}{L}(\omega_r - \omega_l)\end{aligned}\quad (2)$$

x,y : Kartezyen düzlemde konum

θ : Oryantasyon, z eksen etrafındaki dönme

L: Tekerlekler arasında ki mesafe

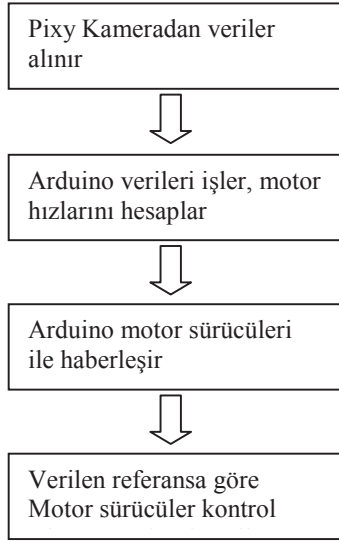
Bu denklemleri kullanarak robotumuzun konumunu tahmin edebiliriz.

5. Sistemin çalışma senaryosu

ATS çalışma prensibi aşağıda ki gibidir:

- Üzerinde bulunan kamerayı USB ile bilgisayara bağlayarak herhangi bir obje tanıtılabilir.(Renkli objeler daha seçici olduğundan dolayı daha verimli olacaktır.)
- Objeyi tanıtırken, objenin üzerine dokunmanız yeterli olacaktır.
- Objeye tanıtıldıktan sonra, kameranın arkasında bulunan pako şalter 1 konumuna getirilir ve motor sürücüsüne güç akışı sağlanır.
- Tanıtılmış olan obje istediğiniz bir noktaya sabitlenir ve hareket etmeyecek konuma getirilir. .
- Son olarak obje kamera arasında bir engel olmadığı sürece platform sizi takip edecektir. (Şekil 5)

Sistem bağlantı blok diagramı Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5: Programın akış diagramı

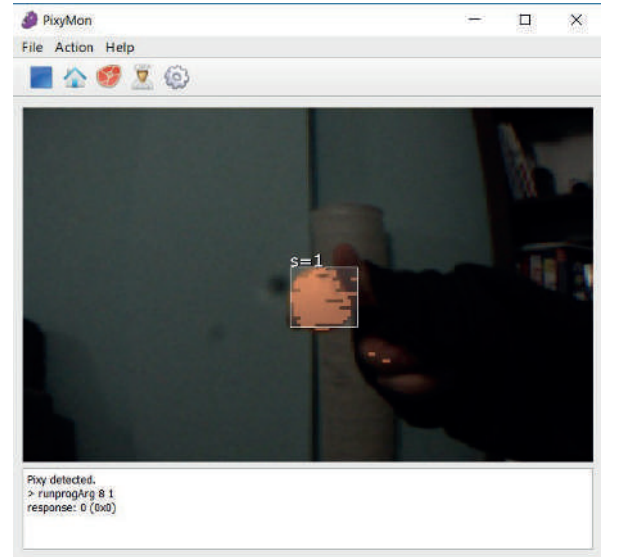
6. Yazılım-Objeyi Takip

Sistemin denetleyicisi Arduino'dır. Sketch ortamında programlanabilmektedir. Bu program sayesinde pixy kameradan alınan değerler, motor sürücüsüne iletilip, motorlar harekete geçirilir. Arduino mikroişlemcisi ile objenin kapladığı alan, x düzlemindeki koordinatlarını alır. Bu datalar sayesinde hareketi sağlar.

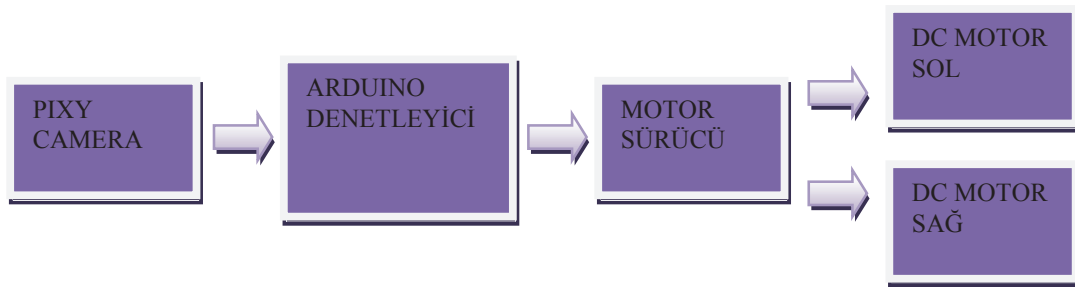
Buna ek olarak pixyMon yazılımı kullanılarak obje tanıtılır (Şekil 7) ve buna imza değeri denir. Daha sonra arduino üzerinde kodlama yapılarak bu imza değerinde kodun çalışması üzerine algoritma hazırlandı.

7. Sonuçlar

Bu projede, öncelik olarak düşük bütçeli akıllı taşıma sistemi oluşturulmuştur. Engelli, hamile ve yaşlılara yardımcı hedefleyen sistem kullanıcının üzerindeki özel renkli işareti takip etmekte, 15 kg kadar yükü düz bir ortamda taşıyabilmektedir. Geliştirilen sistem havaalanları, marketler gibi düz ve sabit bir ışık altında olan kapalı mekanlarda çalışabilmektedir.



Şekil 7: Kamerada takip edeceği obje tanıtımı



Şekil 6: ATS blok diagramı

Kaynakça

- [1] Islam Mohamad, Yong Zhu, " Vision-based Control of a Home Companion Robot ", Department of Mechanical Engineering, Wilkes University.
- [2] Codeduino, (2016), Pixy – A Colour Vision Sensor for Arduino, <https://codeduino.com/information-andnews/hardware/pixy-colour-vision-sensor-arduino/>

- [3] Suadanwar (2015), Colour Tracking Mobile Robot (PIXY)Cytron Technology Tutorial, Tutorial, August 28 : <http://tutorial.cytron.com.my/2015/08/28/colourtracking-mobile-robot-pixy/> retrieved 3 Jun 2016
- [4] <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoUno>

Ortak Enerji Depolama Sistemlerinin Elektrik Güç Sistemlerinde Talep Cevabı Konsepti İçin Kullanılması

Use of Common Energy Storage Systems for Demand Response in Electric Power Systems

Alper Çiçek¹, İbrahim Şengör², Ozan Erdiñç²

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği
Yıldız Teknik Üniversitesi
f4915001@std.yildiz.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği
Yıldız Teknik Üniversitesi
isengor@yildiz.edu.tr, oerdinc@yildiz.edu.tr

Özet

Günümüzde dünyadaki pik enerji talebi artmaktadır ve bu talebin karşılanması için elektrik santralleri ya üretimlerini arttırmakta ya da dinamik fiyatlandırma yapısına sahip toptan bir pazardan elektrik satın alınmaktadır. Böyle bir işletim, düşük yük faktörüne yol açmaktadır. Bunun sonucunda, üretimin talebe göre yönetilmesi yerine talep gücün pik talebi azaltacak şekilde yönetilmesi olarak adlandırılan talep cevabı programları günümüzde oldukça yaygınlaşmıştır. Fakat bu programlar tüketicinin konforu açısından uzun süreli uygulanamamaktadır. Bu duruma bir çözüm ise talep tarafı yük dalgalanmasını tüketici enerji profilini değiştirmeden düzenleme imkânı sunan ortak enerji depolama sistemleridir. Bu depolama sistemleri enerji fiyatının ucuz olduğu ya da talebin az olduğu saatlerde şarj edilip, enerji fiyatının pahalı olduğu ya da talebin çok olduğu saatlerde sisteme enerji sağlayabilmektedir. Bu sistemler şebeke kayıplarını azaltma, yük faktörünü düzenleme, enerji maliyetini düşürme gibi şebeke ve tüketici açısından birçok fayda sağlamaktadır. Bu amaçla bu çalışmada oluşturulan modelde şebeke kayıplarının azaldığı ve yük faktörünün düzenlendiği görülmüştür.

Abstract

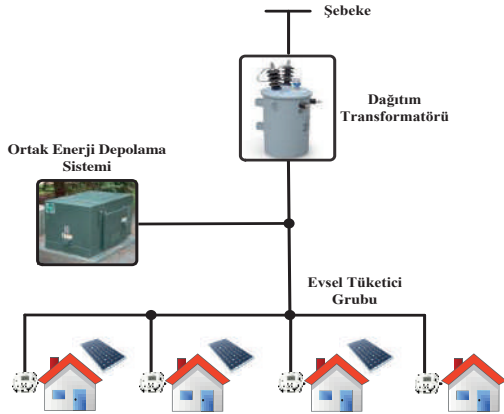
Nowadays, peak energy demands in the world increase and to meet this demand, power plants either increase their production or electricity is purchased from a wholesale market with a dynamic pricing structure. Such an operation leads to a low load factor. As a result of this, managing the demand in a way that reduces peak demand of power demand named demand response programs instead of managing the production according to the demand, nowadays has become quite widespread. However, these programs can not be implemented for a long time in terms of the comfort of the consumer. A solution to this situation is to use common energy storage systems that allow to adjust the demand side load fluctuation without changing the consumer energy profile. These storage systems can be charged during the hours when

the energy cost is cheap or when the demand is low and they can provide the energy during the hours when the energy cost is expensive or when the demand is too high. These systems provide many benefits in terms of network and consumer, such as reducing network losses, adjusting the load factor and reducing energy cost. In this study, it is seen that the network losses are reduced and the load factor is regulated, in the model created for this purpose.

1. Giriş

EIA (U.S. Energy Information Administration) tarafından yapılan çalışmaya göre dünyada toplam enerji tüketiminin günümüzden 2040 yılına kadar %36 artacağı da tahmin edildiğinden, mevcut güç sistemlerinde ciddi problemler meydana gelecektir [1]. Bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan bir güç sistemine gereksinimi arttırmaktadır [2]. Bu gereksinim ile birçok ülkede uygulanan talimatlar sayesinde yenilenebilir enerji odak noktası haline gelmektedir [3]. Fakat yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek güç doğası gereği stokastik bir yapıdadır ve bu kaynakların entegrasyonu ile şebekede birçok problem ile karşı karşıya kalınmaktadır. Üretimi bu şekilde belirsiz olan yenilenebilir enerji kaynaklarının oluşturduğu bu zorluklar enerji depolama sistemleri ile etkili bir şekilde çözülebilir [4]. Ayrıca talep cevabı (demand response) programları da pik yükün ve yenilenebilir enerji kaynaklarının değişken üretiminin etkilerinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır [2], [5]. Fakat bu programlar tüketicilerin enerji tüketim alışkanlıklarında değişiklik yapmak istememesi olasılığı nedeniyle pratikte nispeten az etkinliğe sahiptir [6], [7]. Enerji depolama sistemleri talep tarafı yük dalgalanmasını tüketici enerji profilini değiştirmeden düzenleme imkânı sunmaktadır [8].

Günümüzde birçok ülkede var olan enerji depolama sistemlerinin çoğunluğunu her biri 200 MW'dan daha büyük



Şekil 1: Bazılarının kendi pv güç üretim sistemine sahip olduğu bir grup evsel tüketiciye hizmet eden ortak enerji depolama sistemi (shared energy storage) yapısı.

pompalanmış su tabanlı (pumped hydro) depolama sistemleri ve sıkıştırılmış hava (compressed air) depolama sistemleri oluşturmaktadır [4], [9]. Konuya küçük boyutlu depolama sistemlerinin bireysel kullanımı açısından bakıldığında ise bunlar yüksek edinim, işletim ve bakım maliyetleri nedeniyle ekonomik değildirler. Burada uygun çözümlerden biri ortak bir enerji depolama (shared energy storage) sisteminin çok sayıda kullanıcıya hizmet etmesidir [10], [11]. Bir ortak enerji depolama sistemi, 1 - 4 saat arasında güç sağlayabilen genellikle 25 kWh – 75 kWh arası enerji değerine sahip, son kullanıcıya yakın konumlandırılan bir enerji depolama sistemidir ve transformatörün sekonderine bağlanarak sisteme entegre edilmektedir. Tüketiciler depolama sisteminin yük tarafındaki baraya bağlıdır [12]. Batarya olarak genellikle lityum – iyon (Li-Ion) tercih edilmektedir [13], [14]. Şekil 1’de bazılarının kendi PV güç üretim sistemine sahip olduğu bir grup evsel tüketiciye hizmet eden bir ortak enerji depolama sistemi yapısı gösterilmektedir. Ayrıca dünya genelinde ortak enerji depolama sistemlerinin talep cevabı konsepti için uygulandığı önemli örnekler Tablo 1’de verilmiştir.

Ortak enerji depolama sistemi dünyada yeni gelişen bir konsepttir. Bu nedenle literatürde bu konu ile ilgili çok fazla sayıda çalışma yer almamaktadır. Rahbar vd. [2]’de yenilenebilir enerji kaynakları ve tüketiciler arasında ortak bir enerji depolama sisteminin yönetim problemini incelemişlerdir. [15]’te, [2]’de yaptıkları çalışmaya talep cevabı uygulaması için kontrol edilebilir yükleri eklemişlerdir. Fakat enerji yönetim problemini kâr maksimizasyonunu hedefleyen tüketiciler açısından ele almışlardır. Paridari vd. [5]’te bir enerji depolama sistemini paylaşan evsel tüketiciler arasında akıllı cihazların planlanması için yeni bir dağıtılmış optimizasyon algoritması önermişlerdir. Bu sistemde evsel tüketiciler talep cevabı komutları vasıtasıyla toplayıcı (aggregator) tarafından koordine edilmiştir. Fakat bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarına yer verilmemiştir. Mediwiththe vd. [8]’de ve Huq vd. [16]’da PV güç üretim sistemleri ve ortak bir enerji depolama sisteminden oluşan bir enerji yönetim sistemini araştırmışlardır. Fakat bu çalışmalarda talep cevabı uygulamalarına yer verilmemiştir. Dimitrov vd. [17]’de tüketicilerin başka bir tüketiciye tahsis edilen ortak enerji depolama kapasitesinin bir kısmı için teklif verdikleri çift yönlü müzakere şemasına dayalı bir yapı sunmuşlardır. Wang vd. [18]’de talep cevabı yeteneğine sahip

Tablo 1: Ortak Enerji Depolama Sistemlerinin Talep Cevabı Konsepti İçin Uygulandığı Bazı Örnekler

Ülke / Yer	Depolama Sistemi Teknik Özellikler	Enerji Depolama Tipi
ABD / Kaliforniya / San Diego/ Horton Plaza	36 kW / 144 kWh	Lityum – İyon Batarya
ABD / Kaliforniya / Lancaster / Lancaster Blvd	30 kW / 30 kWh	Lityum – İyon Batarya
ABD / Ohio / Columbus / Riverside Plaza	100 kW / 100 kWh	Lityum – İyon Batarya
ABD / Michigan / Monroe / Raisinville Rd.	500 kW / 250 kWh	Lityum – İyon Batarya
ABD / Michigan / Monroe	500 kW / 1 MWh	Lityum – İyon Batarya
ABD / New York / Yonkers	96 kW / 96 kWh	Lityum – İyon Batarya
Güney Kore / Gyeonggi-do / Guri-si / Inchang-dong	250 kW / 500 kWh	Lityum – İyon Batarya
Yeni Zelanda / South Canterbury / Timaru Washdyke	36 kW / 142 kWh	Lityum – İyon Batarya

tüketiciler ve dağıtım şebeke operatörleri arasında bir depolama sisteminin işletim stratejisini tanıtmışlardır. Fakat bu çalışmada depolama sistemi bireysel bir konutta yer almaktadır ve dağıtım şebeke operatörü ile tüketici arasında ortak mülkiyete aittir. Yaho vd. [19]’da literatürde ilk gerçek zamanlı bir elektrik fiyatlandırması modeli altında, ortak bir batarya için maliyet tasarrufu bölgesini analiz etmişlerdir. Hung vd. [20]’de pik yük seviyesinde enerji kayıplarını minimize etmek için ortak enerji depolama sisteminin ideal yerleşimi, boyutu ve güç faktörünü tanımlamak için bir analitik yapı önermişlerdir. Fakat burada talep cevabı konseptine yer verilmemiştir. Parra vd. [21]’de talep yükünü değiştiren kurşun-asit ve lityum-iyon bataryaların performansını kullanım zamanı fiyatlandırma (Time of Use Pricing) ve gerçek zamanlı fiyatlandırma (Real Time Pricing) olmak üzere iki tarife ile karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışmalara göre lityum-iyon bataryaların daha verimli olduğu görülmüştür. Thomas vd. [12]’de AEP Ohio GridSmart Demonstration projesinin bir parçası olarak tek bir 13.2 kV dağıtım fiderinde toplam 2 MW olmak üzere 80 adet 25 kW/25kWh’lik ortak enerji depolama sistemi uygulamasını irdelemişlerdir. Arghandeh vd. [22]’de ortak enerji depolama sistemi tarafından elde edilecek geliri maksimize eden gerçek zamanlı kontrol stratejisi sunmuşlardır. Fakat çalışmada amaç fonksiyonunu enerji maliyetini minimum yapmak olarak belirlemişlerdir. Ayrıca Michigan’da 20 adet 50 kWh’lik ortak enerji depolama sistemi grubundan oluşan gerçek bir çalışmayı da incelemişlerdir. Bayram vd. [10] ve [11]’de ortak enerji depolama sisteminin optimum boyutlandırılması ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Wang vd. [4]’te difüzyon yaklaşımına dayalı ortak enerji depolama sisteminin stokastik modelini önermişlerdir. Önerilen modelde bazı tüketicilerin rüzgar türbini ile donatıldığı bir grup evsel tüketici ve batarya tabanlı ortak enerji depolama sistemi düşünülmüştür. Bu sistemi kuzeydoğu Çin’in Jilin eyaletindeki Changling rüzgar çiftliğinden elde ettikleri bilgilere dayalı olarak test etmişlerdir. Ven vd. [7]’de en iyi performansı sağlayan bir batarya kontrol yapısı önermişlerdir. Ayrıca aynı kapasite değerine sahip bireysel ve ortak enerji depolama sistemlerini

karşılaştırmışlar ve ortak enerji depolama sisteminin daha çok tasarruf sağladığını belirtmişlerdir. Roberts vd. [9]'da şebeke desteği için kullanılan yeni depolama sistemlerini ve şebeke entegrasyon yollarını ele almışlardır. Miller vd. [3], Black vd. [13] ve Sardi vd. [14]'te ortak enerji depolama sistemleri üzerine genel bir inceleme yapmışlardır. Zhu vd. ise [23]'te konuyu evsel tüketiciler açısından ele almışlardır.

Bu çalışmada, baralara ortak enerji depolama sistemlerinin yerleştirildiği bir elektrik güç şebekesinin Mixed-Integer Linear Programming (MILP) modeli sunulmuştur. Yapılan araştırmalara göre bilindiği kadarıyla bu çalışma, ortak enerji depolama sistemlerinin ele alındığı çalışmalar arasında amaç fonksiyonunun şebeke kayıplarını minimize etmeyi hedeflediği literatürdeki ilk çalışmadır.

Bölüm 2'de ilgili problem formülasyonuna yer verilmiştir. Bölüm 3'te ortak enerji depolama sistemlerinin kullanımının şebekedeki aktif kayıpların azaltılmasına yardımcı olduğunu göstermek amacıyla ortak enerji depolama sistemi olmayan ve farklı teknik özelliklere sahip ortak enerji depolama sistemlerinin yer aldığı farklı senaryolar ele alınmıştır ve yapılan tüm senaryo sonuçlarının şebekedeki aktif kayıpların azaltılması üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bölüm 4'te ise çalışma sonuçları genel olarak yeniden irdelenmiştir.

2. Formülasyon

Bu çalışmada, ortak enerji depolama sistemlerin yer aldığı AC bir şebekenin MILP modeli oluşturulmuştur. AC optimum güç akışı (AC OPF) problemi aslında lineer ve konveks olmayan bir problemdir. Çalışmada yer alan lineer AC optimum güç akışı denklemlerinin MILP modeli için [24]'te yer alan denklemler kullanılmıştır. Bahsedilen çalışmada bu denklemlerin lineerleştirilmesi için Disjunctive Constraints ve Special Ordered Sets of Type 2 (SOS2) teknikleri kullanılmıştır. Disjunctive Constraints, yardımcı karar değişkenlerinin değerine göre kısıtlardan birinin uygulanmasını sağlarken, diğer kısıtın gerçekleştirilmemesinin sağlanmasını garanti etmektedir. SOS2 kısıtları ise en çok iki tane değişkenin pozitif olabileceği ve eğer ikisi de pozitifse bu değerlerin birbirine yakın olmasının gerektiği bir dizi sıralı değişkenlerin modellenmesine izin vermektedir. Oluşturulan model zamana bağlı olduğu için denklemlere t zaman bileşeni eklenmiştir ve [24]'te yer almayan, gerekli bazı denklemler modele dahil edilmiştir.

Ayrıca ortak enerji depolama sistemi modeli için [25]'te yer alan denklemler modele uygun şekilde revize edilerek adapte edilmiştir. Şarj/deşarj gücü ve akımı ile ikili karar değişkenlerinin çarpımında iki değişkenin çarpımının lineerleştirilmesi tekniği kullanılmıştır.

Oluşturulan model akıllı şebeke konsepti içerisinde ileride yapılacak başka çalışmalar için (yenilenebilir enerji kaynaklarının, elektrikli araçların eklenmesi vb.) kolayca genişletilebilir ve daha spesifik uygulamalara da uyarlanabilir.

2.1. Amaç Fonksiyonu

Bu çalışmada amaç fonksiyonunun dağıtım şebekesi omik kayıplarını minimize etmek olduğu varsayılmıştır. Bir dağıtım şebekesinde omik kayıplar iki şekilde hesaplanabilmektedir. İlk seçenek, her bir devrenin kayıplarını toplayarak hesaplamaktır. İkinci seçenek ise tüketilen toplam aktif güç ve

dağıtım şebekesine enjekte edilen toplam aktif güç arasındaki farkı belirleyerek hesaplamaktır. Burada ikinci seçenek ele alınmıştır. Çalışmada, zaman periyodu ΔT dakika alındığı için eşitlikte ΔT 'ye bölme işlemi yapılmıştır.

$$z = \min \left\{ \sum_{t=1}^T \left(\sum_{k \in \Omega_{SLACK}} V_k^{ref} \cdot (\cos \theta_k^{ref} \cdot I_{g(t,k)}^{re} + \sin \theta_k^{ref} \cdot I_{g(t,k)}^{im}) \right) / \Delta T + \sum_{k \in \Omega_k} (g_{(t,k)}^p - d_{(t,k)}^p) / \Delta T \right\} \quad (1)$$

2.2. Kirchhoff Kanunları

(2) ve (3) kısıtları, sistemdeki tüm k baraları için Kirchhoff akım kanununu modellemektedir. Ω_B sistemdeki tüm baraları içeren kümeyi temsil etmektedir.

$$I_{d(t,k)}^{re} + \sum_{m \in \Omega_k} I_{km(t,k,m)}^{re} + I_{(t,k)}^{SESS_chs} = I_{g(t,k)}^{re} + I_{(t,k)}^{SESS_diss} + \sum_{m \in \Omega_k} I_{mk(t,m,k)}^{re}, \forall k \in \Omega_B \quad (2)$$

$$I_{d(t,k)}^{im} + \sum_{m \in \Omega_k} I_{km(t,k,m)}^{im} = I_{g(t,k)}^{im} + \sum_{m \in \Omega_k} I_{mk(t,m,k)}^{im}, \forall k \in \Omega_B, \forall t \quad (3)$$

Burada, $I_{d(t,k)}$ ve $I_{g(t,k)}$ sırasıyla k barasındaki yük akımını ve k barasında üretilen gücün akımını temsil etmektedir. I_{km} , k ve m baralarını bağlayan dal boyunca akan akımdır. $I_{(t,k)}^{SESS_chs}$ ve $I_{(t,k)}^{SESS_diss}$ sırasıyla ortak enerji depolama sisteminin şarj vedeşarj akımıdır. Burada ve diğer tüm denklemlerdeki re ve im üst simgeleri reel ve imajiner bileşenleri, " t " alt indisi zaman periyodunu göstermektedir. Ω_k , k barasına doğrudan bağlı dalların kümesini belirtmektedir.

(4) ve (5) kısıtları, tüm km dalları boyunca gerilim düşümünü modellemektedir. Ψ_C , sistemdeki tüm dalların kümesini belirtmektedir.

$$V_{(t,k)}^{re} - V_{(t,m)}^{re} = I_{km(t,k,m)}^{re} \cdot R_{(k,m)} - I_{km(t,k,m)}^{im} \cdot X_{(k,m)}, \forall km \in \Psi_C, \forall t \quad (4)$$

$$V_{(t,k)}^{im} - V_{(t,m)}^{im} = I_{km(t,k,m)}^{re} \cdot X_{(k,m)} + I_{km(t,k,m)}^{im} \cdot R_{(k,m)}, \forall km \in \Psi_C, \forall t \quad (5)$$

2.3. Bara Enjeksiyonları

(6), (7) kısıtları k barasında yer alan yükler tarafından talep edilen akımı modellemektedir.

$$I_{d(t,k)}^{re} = \xi_{(t,k)} \cdot d_{(t,k)}^p + \zeta_{(t,k)} \cdot d_{(t,k)}^q, \forall k \in \Omega_B, \forall t \quad (6)$$

$$I_{d(t,k)}^{im} = \zeta_{(t,k)} \cdot d_{(t,k)}^p - \xi_{(t,k)} \cdot d_{(t,k)}^q, \forall k \in \Omega_B, \forall t \quad (7)$$

Burada $d_{k(t)}^p$ ve $d_{k(t)}^q$ sırasıyla k barasındaki yükler tarafından talep edilen toplam aktif ve reaktif güçtür. Ayrıca yüklerin sabit güçlere sahip oldukları varsayılmıştır. $\xi_{k(t)}$ ve $\zeta_{k(t)}$ ifadelerinin içerikleri ise aşağıda verilmiştir.

$$\xi_{(t,k)} = V_{(t,k)}^{re} / (V_{(t,k)}^{re^2} + V_{(t,k)}^{im^2}), \forall k \in \Omega_B, \forall t \quad (8)$$

$$\zeta_{(t,k)} = V_{(t,k)}^{im} / (V_{(t,k)}^{re^2} + V_{(t,k)}^{im^2}), \forall k \in \Omega_B, \forall t \quad (9)$$

$\xi_{k(t)}$ ve $\zeta_{k(t)}$ 'nin tanımlandığı (8) – (9) denklemleri lineer değildir. Bu denklemlerin modele dahil edilebilmeleri için lineerleştirilmeleri gerekmektedir.

$$\sum_{r \in \Gamma^{re}} \sum_{s \in \Gamma^{im}} \lambda_{(t,k)}^{r,s} \begin{bmatrix} \xi_k^{r,s} \\ \zeta_k^{r,s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \xi_{(t,k)} \\ \zeta_{(t,k)} \end{bmatrix}, \forall k \in \Omega_B, \forall t \quad (10)$$

$$\sum_{r \in \Gamma^{re}} \sum_{s \in \Gamma^{im}} \lambda_{(t,k)}^{r,s} \begin{bmatrix} \hat{V}_k^{re,r} \\ \hat{V}_k^{im,s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{(t,k)}^{re} \\ V_{(t,k)}^{im} \end{bmatrix}, \forall k \in \Omega_B, \forall t \quad (11)$$

$$\sum_{r \in \Gamma^{re}} \sum_{s \in \Gamma^{im}} \lambda_{(t,k)}^{r,s} = 1, \forall k \in \Omega_B, \forall t \quad (12)$$

Burada, Γ^{re} ve Γ^{im} sırasıyla k barasındaki gerilimin reel ve imajiner bileşenleri için değerlendirme noktaları indisleri kümesidir. \wedge ile ifade edilen değişkenler değerlendirme noktalarına ve değerlendirilen değerlere karşılık gelmektedir. $\lambda_{(t,k)}^{r,s}$ değerlendirme noktaları ve değerlendirilen değerlerin kombinasyonu için kullanılan ağırlıklardır. $\xi_{(t,k)}$ ve $\zeta_{(t,k)}$ değerleri (10) denklemi yardımıyla bulunur. (11) denklemi referans satırı olarak ifade edilmektedir. Bu denklem $\lambda_{(t,k)}^{r,s}$ ağırlıklarının $V_{(t,k)}^{re}$ ve $V_{(t,k)}^{im}$ değişkenleriyle ilişkisini ifade etmektedir. (12) denkleminde $\lambda_{(t,k)}^{r,s}$, lineer fonksiyonun afinliğini garanti eder. Yani SOS2 yöntemiyle ağırlıkların toplamı 1'e eşitlenir.

Salınım baraları dışında reel ve imajiner güç üretiminin olmadığı durum aşağıdaki eşitlikler yardımı ile sağlanmıştır.

$$I_{g(t,k)}^{re} = 0, \forall k \notin \Omega_{REF}, \forall t \quad (13)$$

$$I_{g(t,k)}^{im} = 0, \forall k \notin \Omega_{REF}, \forall t \quad (14)$$

Denklemlerde bara geriliminin reel ve imajiner bileşenleri için değerlendirme noktaları ve değerlendirilen değerlerin değişebileceği alt ve üst sınırlar önceden tanımlanmıştır. Bu sınırlamalardan reel bileşenin $[V_k^{re,min}, V_k^{re,max}]$ aralığında sadece pozitif değerler alabileceği açıktır. Fakat bara gerilimlerinin imajiner bileşeni için değerlendirme noktalarının tanımı ise reel bileşene göre daha karmaşıktır, çünkü bu noktalar $[V_k^{im,min}, V_k^{im,max}]$ aralığında negatif değerler, pozitif değerler ve ayrıca 0 değerini alabilmektedir.

2.4. Bara Gerilimleri ve Dal Akımları Sınırları

Bara gerilimleri ve dal akımları büyüklüklerinin sınırları aşağıda belirtilmiştir. Bara geriliminin reel ve imajiner bileşenlerinin SOS2'ye dayalı parçalı lineer yaklaşımı daha önce bölüm 2.2'de bahsedildiği için bu bölümde sadece bara gerilimin büyüklüğü ele alınmıştır. Burada $V_{(t,k)}$, k barasındaki gerilimin ve $I_{km(t,k,m)}$, km dalı boyunca akan akımın büyüklüğüdür.

$$V_{(t,k)}^{min} \leq V_{(t,k)} \leq V_{(t,k)}^{max}, \forall k \in \Omega_B, \forall t \quad (15)$$

$$\sum_{r \in \Gamma^{re}} \sum_{s \in \Gamma^{im}} \lambda_{(t,k)}^{r,s} \cdot \hat{V}_k^{r,s} = V_{(t,k)}, \forall k \in \Omega_B, \forall t \quad (16)$$

Dal akımlarının parçalı lineer yaklaşımının oluşturulmasında, bara gerilim büyüklüğünde olduğu gibi her bir bara akımının reel ve imajiner bileşeninin lineer olmayan ve konveks olmayan farklı diğer karar değişkeni bulunması gerçeğinden yararlanılamaz. Çünkü bu değişkenlerin diğer lineer olmayan fonksiyonları yoktur. Dal akımlarının reel ve imajiner bileşenlerinin yaklaşması gereken tek fonksiyon akımın kompleks büyüklüğüdür. Bu aşağıdaki yardımcı karar değişkenleri $I_{km(t,k,m)}^{re}$ ve $I_{km(t,k,m)}^{im}$ 'nin tanımlanması ile yapılabilir.

$$I_{km(t,k,m)}^{re} \geq I_{km(t,k,m)}^{re}, \forall km \in \Psi_C, \forall t \quad (17)$$

$$I_{km(t,k,m)}^{re} \geq -I_{km(t,k,m)}^{re}, \forall km \in \Psi_C, \forall t \quad (18)$$

$$I_{km(t,k,m)}^{im} \geq I_{km(t,k,m)}^{im}, \forall km \in \Psi_C, \forall t \quad (19)$$

$$I_{km(t,k,m)}^{im} \geq -I_{km(t,k,m)}^{im}, \forall km \in \Psi_C, \forall t \quad (20)$$

$I_{km(t)}$ akımının bulunmasında kullanılan, aşağıdaki yardımcı karar değişkenleri $I_{km(t)}^{re}$ ve $I_{km(t)}^{im}$ 'nin karelerinin toplamının kareköküne ait denklem lineer değildir.

$$I_{km(t,k,m)} = \sqrt{I_{km(t,k,m)}^{re^2} + I_{km(t,k,m)}^{im^2}}, \forall km \in \Psi_C, \forall t \quad (21)$$

Bu lineerleştirme işlemi SOS2'ye dayalı parçalı lineer bir yaklaşım ile gerçekleştirilebilir.

$$\sum_{r \in \Pi^I} \sum_{s \in \Pi^I} \omega_{km(t,k,m)}^{r,s} \cdot \hat{I}_{km(t,k,m)}^{r,s} = I_{km(t,k,m)}, \forall km \in \Psi_C, \forall t \quad (22)$$

$$\sum_{r \in \Pi^I} \sum_{s \in \Pi^I} \omega_{km(t,k,m)}^{r,s} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{km(t,k,m)}^{re,r} \\ \hat{I}_{km(t,k,m)}^{im,s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{km(t,k,m)}^{re} \\ I_{km(t,k,m)}^{im} \end{bmatrix}, \forall km \in \Psi_C, \forall t \quad (23)$$

$$\sum_{r \in \Pi^I} \sum_{s \in \Pi^I} \omega_{km(t,k,m)}^{r,s} = 1, \forall km \in \Psi_C, \forall t \quad (24)$$

Burada Π^I , $I_{km(t)}^{re}$ ve $I_{km(t)}^{im}$ için değerlendirme noktaları indisleri kümesidir. \wedge işareti ile vurgulanmış değişkenler değerlendirme noktaları ve değerlendirilen değerlere karşılık gelmektedir. $\omega_{km(t)}^{r,s}$, değerlendirme noktaları ve değerlendirilen değerlerin kombinasyonu için kullanılan ağırlıklardır.

$I_{km(t,k,m)}^{re}$ ve $I_{km(t,k,m)}^{im}$ sadece negatif olmayan $[0, I_{km}^{max}]$ aralığında değişmektedir. $I_{km(t,k,m)}$ ifadesi daha önceki denklemler yardımıyla elde edildikten sonra dal akım büyüklüklerinin sınırı aşağıda belirtilen şekilde yazılabilir.

$$I_{km(t,k,m)} \leq I_{km(t,k,m)}^{max}, \forall km \in \Psi_C, \forall t \quad (25)$$

2.5. Açısız Referans Bara

Açısız referans baranın gerilim büyüklüğü sistemde bir karar değişkeni değildir. Bu nedenle bu ifade bir parametre olarak kabul edilmiştir. Açısız referans bara gerilimin reel ve imajiner kısımları ise şu şekilde tanımlanmıştır.

$$V_{(t,k)}^{re} = V_{(t,k)}^{ref} \cdot \cos \theta_{(t,k)}^{ref}, \forall k \in \Omega_{REF}, \forall t \quad (26)$$

$$V_{(t,k)}^{im} = V_{(t,k)}^{ref} \cdot \sin\theta_{(t,k)}^{ref}, \forall k \in \Omega_{REF}, \forall t \quad (27)$$

Burada $V_{(t,k)}^{ref}$, $\cos\theta_{(t,k)}^{ref}$ ve $\sin\theta_{(t,k)}^{ref}$ giriş parametreleridir. Ω_{REF} , sistemdeki referans bara kümesidir.

2.6. Ortak Enerji Depolama Sistemi Modeli

CR_{SESS} , DR_{SESS} , CE_{SESS} , $SOE_{(t,k)}^{SESS}$ değerleri sırasıyla ortak enerji depolama sisteminin şarj oranını, deşarj oranını, şarj verimliliğini ve enerji durumunu belirtmektedir. $u_{(t,k)}^{dis,SESS}$ ve $u_{(t,k)}^{ch,SESS}$ sırasıyla ortak enerji depolama sisteminin şarj ve deşarjı için kullanılan ikili karar değişkenleridir. Eğer bu değişkenler 1 değerini alırsa ortak enerji depolama sistemi şarj veya deşarj olmaktadır. Bataryanın aynı anda şarj ve deşarjından kaçınmak için bu değerlerin aynı anda 1 değerini almaması (46) denklemi ile sağlanmaktadır. (28)-(29) denklemleri ortak enerji depolama sisteminin her bir t zamanı için şarj ve deşarj akım değerini hesaplamaktadır. Ortak enerji depolama sisteminin şarj ve deşarj akım değerlerini Kirchhoff akım denklemlerine eklemek istediğimizde, $u_{(t,k)}^{dis,SESS}$ ve $u_{(t,k)}^{ch,SESS}$ ikili karar değişkenleri ile bu akım değerlerinin çarpımının lineer olmamasından dolayı bu ifadeler denklemlere dahil edilememektedir. $I_{(t,k)}^{SESS,dis}$ ve ikili karar değişkeni $u_{(t,k)}^{dis,SESS}$ ile $I_{(t,k)}^{SESS,ch}$ ve ikili karar değişkeni $u_{(t,k)}^{ch,SESS}$ ’in çarpımından elde edilen sırasıyla $I_{(t,k)}^{SESS,dis}$ değeri (30)-(33) denklemlerinden ve $I_{(t,k)}^{SESS,chs}$ değeri (34)-(37) denklemlerinden bulunmaktadır. (30)-(33) ve (34)-(37) denklemlerinde lineerleştirme yöntemi kullanılarak iki farklı değişkenin çarpım işlemi yapılmıştır. Yeni hesaplanan bu akım değerleri Kirchhoff akım denklemlerine eklenebilmektedir. Denklemlerdeki M ifadesi çok büyük bir sayıyı temsil etmektedir. (47)-(50) denklemleri enerji depolama sisteminin enerji durumunu belirtmektedir. (47) kısıtı her bir t zamanındaki enerji durumunun ($SOE_{(t,k)}^{SESS}$) bir önceki zamanda ($t-1$) sahip olduğu değer ($SOE_{(t-1,k)}^{SESS}$) ve bataryadan şarj/deşarj yapılan değer toplandı ya da çıkarılmasıyla elde edileceğini belirtmektedir. (48) kısıtı ortak enerji depolama sisteminin enerji durumunun ($SOE_{(t,k)}^{SESS}$) zaman aralığının başlangıcında başlangıç enerji durumuna ($SOE_{(t,k)}^{SESS,ini}$) eşit olduğunu belirtmektedir. (49) kısıtı ortak enerji depolama sisteminin şarj durumunun maksimum enerji depolama kapasitesinden küçük olmasını sağlamaktadır. Benzer şekilde (50) kısıtı bataryanın derin deşarjdan kaçınılması için bataryadaki enerji durumunun minimum depolama sistemi değerinden büyük olmasını sağlamaktadır. Şarj gücü $P_{(t,k)}^{SESS,ch}$ ve deşarj gücü $P_{t,k}^{SESS,dis}$ ’ın ikili karar değişkenleri ile çarpımının lineerleştirilmesi için yukarıda akım için bahsedilenlere benzer işlemler kullanılmıştır. Bu işlemler, şarj gücü ve deşarj gücü için sırasıyla (38)-(41) ve (42)-(45) denklemlerinde verilmiştir. Ortak enerji depolama sisteminin şarj ve deşarj gücünün sınırlarına da bu denklemlerde yer verilmiştir.

$$I_{(t,k)}^{SESS,ch} = E_{(t,k)} \times CR_{SESS}, \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (28)$$

$$I_{(t,k)}^{SESS,dis} \leq E_{(t,k)} \times DR_{SESS} \times DE_{SESS}, \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (29)$$

$$I_{(t,k)}^{SESS,dis} \leq M \times (u_{(t,k)}^{dis,SESS}), \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (30)$$

$$I_{(t,k)}^{SESS,dis} \leq I_{(t,k)}^{SESS,dis}, \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (31)$$

$$I_{(t,k)}^{SESS,dis} \geq I_{(t,k)}^{SESS,dis} - (1 - (u_{(t,k)}^{dis,SESS})) \times M, \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (32)$$

$$I_{(t,k)}^{SESS,dis} \geq 0, \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (33)$$

$$I_{(t,k)}^{SESS,chs} \leq M \times (u_{(t,k)}^{ch,SESS}), \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (34)$$

$$I_{(t,k)}^{SESS,chs} \leq I_{(t,k)}^{SESS,chs}, \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (35)$$

$$I_{(t,k)}^{SESS,chs} \geq I_{(t,k)}^{SESS,chs} - (1 - u_{(t,k)}^{ch,SESS}) \times M, \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (36)$$

$$I_{(t,k)}^{SESS,chs} \geq 0, \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (37)$$

$$P_{(t,k)}^{SESS,dis} \leq M \times (u_{(t,k)}^{dis,SESS}), \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (38)$$

$$P_{(t,k)}^{SESS,dis} \leq DR_{SESS} \times DE_{SESS}, \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (39)$$

$$P_{(t,k)}^{SESS,dis} \leq DR_{SESS} \times DE_{SESS} - (1 - (u_{(t,k)}^{dis,SESS})) \times M, \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (40)$$

$$P_{(t,k)}^{SESS,dis} \geq 0, \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (41)$$

$$P_{(t,k)}^{SESS,ch} \leq M \times (u_{(t,k)}^{ch,SESS}), \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (42)$$

$$P_{(t,k)}^{SESS,ch} \leq CR_{SESS}, \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (43)$$

$$P_{(t,k)}^{SESS,ch} \leq CR_{SESS} - (1 - (u_{(t,k)}^{ch,SESS})) \times M, \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (44)$$

$$P_{(t,k)}^{SESS,ch} \geq 0, \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (45)$$

$$u_{(t,k)}^{ch,SESS} + u_{(t,k)}^{dis,SESS} \leq 1, \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (46)$$

$$SOE_{(t,k)}^{SESS} = SOE_{SESS((t-1),k)} + CE_{SESS} \cdot \frac{P_{(t,k)}^{SESS,ch}}{\Delta T} - \frac{P_{(t,k)}^{SESS,dis}}{\Delta T}, \forall k \in \Psi_k, \forall t \geq 1 \quad (47)$$

$$SOE_{(t,k)}^{SESS} = SOE_{(t,k)}^{SESS,ini}, t = 1, \forall k \in \Psi_k \quad (48)$$

$$SOE_{(t,k)}^{SESS} \leq SOE_{(t,k)}^{SESS,max}, \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (49)$$

$$SOE_{(t,k)}^{SESS} \geq SOE_{(t,k)}^{SESS,min}, \forall k \in \Psi_k, \forall t \quad (50)$$

3. Test ve Sonuçlar

3.1 Giriş verileri

Yukarıda açıklanan matematiksel model GAMS v.24.1.3'te uygulanmıştır ve optimizasyon problemi ticari çözücü CPLEX v.12.5.1 kullanılarak çözülmüştür.

Tablo II: Test Sistemi Sonuçları

	MILP Çözümü (Test Sistemi)	MILP Çözümü [28]
Şebeke Kayıpları (kW)	462,63	466,127

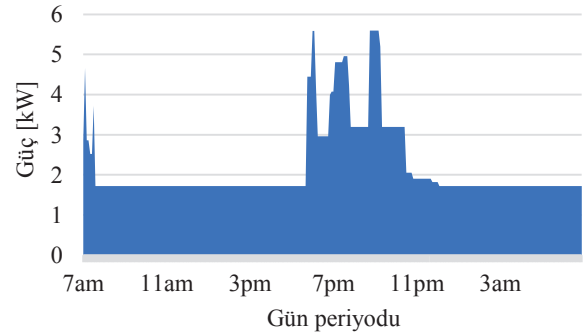
Tablo III: Ev Aletleri Bilgileri

Cihaz	Anma Gücü [kW]	Periyot (5 dakika) Sayısı		
		Ev 1	Ev 2	Ev 3
Buzdolabı	1.67	288	288	288
Ütü	2.4	6	13	15
Tost Makinası	0.8	2	3	4
Su Isıtıcısı	2	2	4	6
Saç Kurutma Makinası	1.8	1	4	6
Telefon	0.005	288	288	288
Televizyon	0.083	58	85	187
Masaüstü Bilgisayar	0.15	40	22	33
Klima	1.14	58	64	101
Saç Düzleştirici	0.055	0	2	0
Fırın	2.4	5	18	24
Mikrodalga Fırın	1.2	1	2	2
Yazıcı	0.011	0	1	1
Davulbaz	0.225	5	18	20
Aydınlatma	0.1	76	82	93
Diğer (Sabit)	0.05	288	288	288
Çamaşır Makinası	0.733	8	20	24
Bulaşık Makinası	1.03	12	15	15

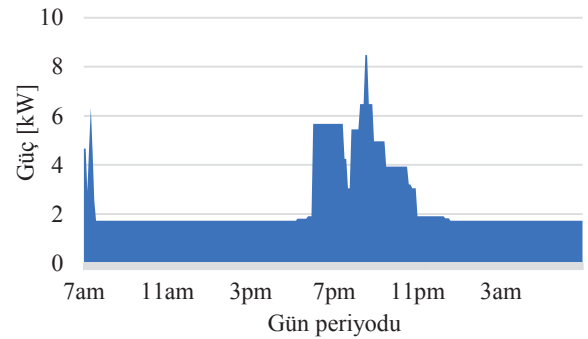
Güç akışı formülasyonunun doğruluğunu kanıtlamak için [26]'da Tablo 1 ve Şekil 2'de yer alan test sistemi verileri kullanılmıştır. Test sistemi 3 ayrı fiderden (salınım barasından) ve 16 baradan oluşmaktadır. Toplam sistem aktif yükü 28,7 MW'dır. Çalışma sonucunda güç akışı için [27]'de aynı sistem için yapılan çalışmanın sonuçları ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo II'de verilmiştir.

Önerilen metodolojiyi kanıtlamak için test sisteminde kullanılan hat modeli kullanılmıştır. Hat modeli Şekil 5'de verilmiştir. Sistemde her bir barada 3 tip evden oluşan yüklerin oluşturduğu yük grupları düşünülmüştür. İlk ev tipi (Ev 1), tipik hafta içi saatlerinde çalışan tek bir kişinin yaşadığı evdir. Bu ev tipine ait esnek olmayan yük profili Şekil 2'de verilmiştir. İkinci ev tipi (Ev 2), tipik hafta içi saatlerde çalışan iki sakinden oluşmaktadır. Bu ev tipine ait esnek olmayan yük profili Şekil 3'te verilmiştir. Son olarak, üçüncü ev tipi (Ev 3) ise çalışmayan bir ebeveynin yer aldığı 4 kişilik bir aileden oluşmaktadır. Bu ev tipine ait esnek olmayan yük profili Şekil 4'te verilmiştir. Bu 3 ev tipinin yük

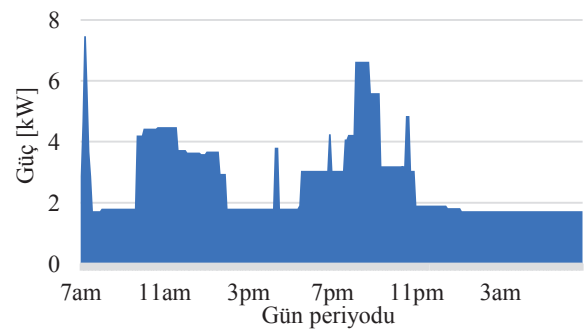
profilleri Tablo III'te nominal güç ve kullanım süreleri verilen çeşitli tipik ev aletleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Sistemdeki her bir evin kendi aktif gücünün %10'u kadar reaktif güç tükettiği kabul edilmiştir.



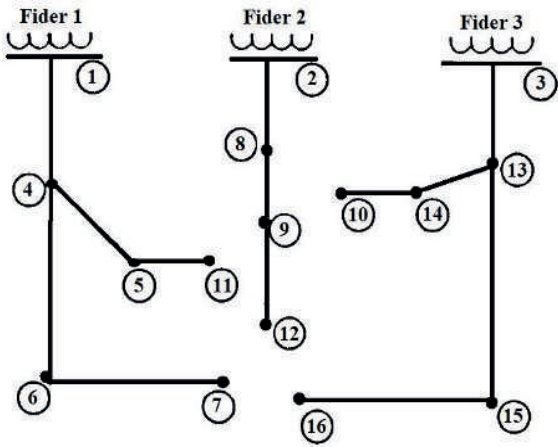
Şekil 2: Ev 1'in esnek olmayan yük profili (tek kişinin yaşadığı konut).



Şekil 3: Ev 2'nin esnek olmayan yük profili (gün boyu çalışan çiftin yaşadığı konut).



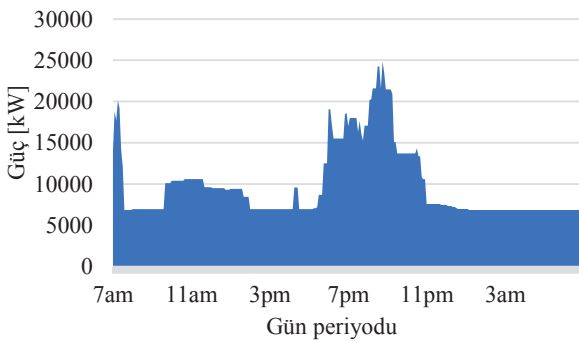
Şekil 4: Ev 3'ün esnek olmayan yük profili (dört üyeli bir ailenin yaşadığı konut).



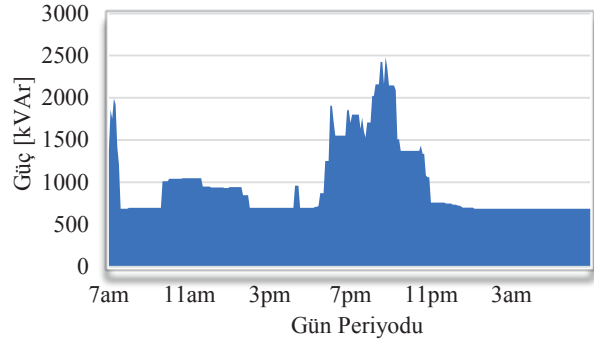
Şekil 5: Çalışmada kullanılan hat modeli

Tablo IV: Baralarda Ev Sayıları

Baralar	Ev1 Sayısı	Ev2 Sayısı	Ev3 Sayısı	Toplam Ev Sayısı
Bara 1	100	80	60	240
Bara 2	80	60	100	240
Bara 3	60	100	80	240
Bara 4	90	70	50	210
Bara 5	70	50	90	210
Bara 6	50	90	70	210
Bara 7	110	90	70	270
Bara 8	90	70	110	270
Bara 9	70	110	90	270
Bara 10	100	95	85	280
Bara 11	95	85	100	280
Bara 12	85	100	95	280
Bara 13	75	85	90	250
Bara 14	90	75	85	250
Bara 15	85	90	75	250
Bara 16	100	80	60	240



Şekil 6: Sistemdeki toplam aktif yük (kW).



Şekil 7: Sistemdeki toplam reaktif yük (kVAr).

Oluşturulan modelde baralarda yükleri oluşturan ev tiplerinin sayıları Tablo IV’te verilmiştir. Zamana bağlı toplam sistem aktif ve reaktif yükleri sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilmiştir.

Çalışmada üç senaryo incelenmiştir. İlk senaryo temel durum olarak adlandırılan, ortak enerji depolama sistemlerinin olmadığı durumdur. Senaryo 2 ve Senaryo 3’te ortak enerji depolama sistemleri kullanılmıştır ve bunlara ait veriler Tablo V’te verilmiştir. Senaryo 2’de kullanılan ortak enerji depolama sistemi (OEDS 1)’nin enerji kapasitesi 250 kWh, Senaryo 2’de kullanılan ortak enerji depolama (OEDS 2)’nin enerji kapasitesi 500 kWh’dir. OEDS 1 ve OEDS 2 sırasıyla şebekeye 1 ve 2 saat enerji sağlayabilmektedir. Her iki tip depolama sisteminin şarj ve deşarj verimlilikleri 0,99 olarak alınmıştır. Başlangıçtaki enerji durumları her iki depolama sistemi için de minimum enerji düzeyi olarak düşünülmüştür. Bataryaların derin deşarjından kaçınılmak için minimum enerji düzeyi, batarya enerji kapasitelerinin %20’si kadar belirlenmiştir.

3.2 Sonuçlar ve Karşılaştırmalar

Yapılan senaryo sonuçlarına göre hat kayıpları Tablo VI’da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, temel durum ile karşılaştırıldığında her iki tip depolama sisteminin yer aldığı durumda da kayıpların azaldığı görülmüştür. Senaryo 3’te enerji kapasitesinin 250 kWh’den 500 kWh’e artırılması ile enerji kayıplarında enerji tasarrufu artmıştır. Fakat depolama sisteminin enerji kapasitesi 2 katına çıkarken, elde edilen enerji tasarrufu bu orandan daha azdır.

Baralara ortak enerji depolama sistemlerinin yerleştirildiği Senaryo 2 ve Senaryo 3’te ortak enerji depolama sistemleri enerji tüketiminin nispeten daha az olduğu saatlerde şarj olarak ve enerji tüketiminin pik olduğu saatlerde deşarj olarak hattan çekilen toplam aktif akım değerini (I_g^e) azaltmıştır.

Senaryo 2 ve Senaryo 3’te ortak enerji depolama sistemlerinin (OEDS 1, OEDS 2) özellikle enerji talebinin arttığı 18:00 – 22:30 saatleri arası enerji durumlarını gösteren şekillerle sırasıyla Şekil 8 ve 9’da verilmiştir.

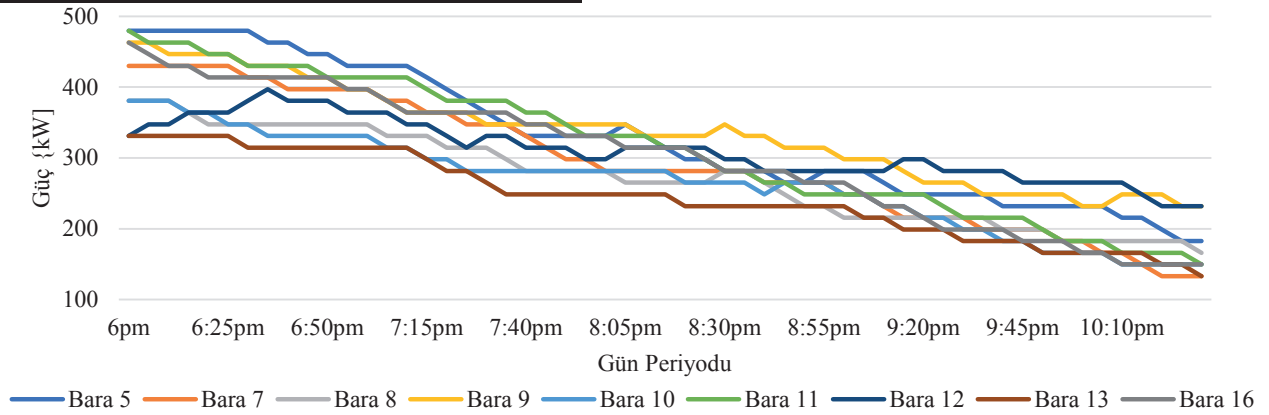
Senaryo 2 ve Senaryo 3’te ortak enerji depolama sistemlerinin kullanılması durumunda şebekeden çekilen akımın aktif değerleri Şekil 10 ve 11’de verilmiştir. Şekillere göre pik saatlerde enerjinin bir kısmı ortak enerji depolama sistemlerinden sağlanmıştır. Ortak enerji depolama sistemleri pik enerji tüketimini nispeten daha az enerji tüketimi olan saatlere kaydırarak yük düzeltme yapmıştır.

Tablo V: Ortak Enerji Depolama Sistemi Verileri

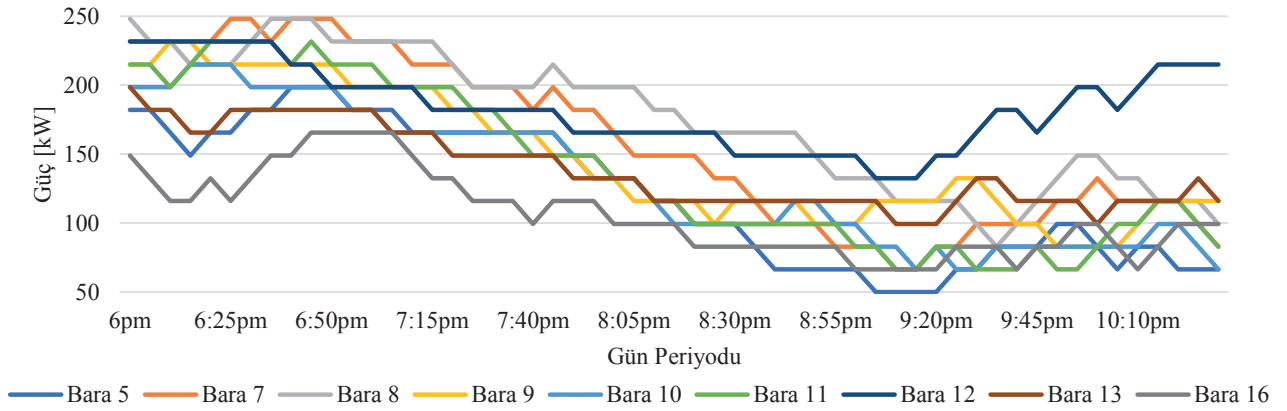
OEDS Bilgileri	OEDS 1	OEDS 2
Şarj Oranı	200 kW	200 kW
Deşarj Oranı	200 kW	200 kW
Şarj Verimliliği	0,99	0,99
Deşarj Verimliliği	0,99	0,99
Başlangıç Enerji Durumu	50 kWh	100 kWh
Maksimum Enerji Durumu	250 kWh	500 kWh
Minimum Enerji Durumu	50 kWh	100 kWh

Tablo VI: Hat Kayıpları

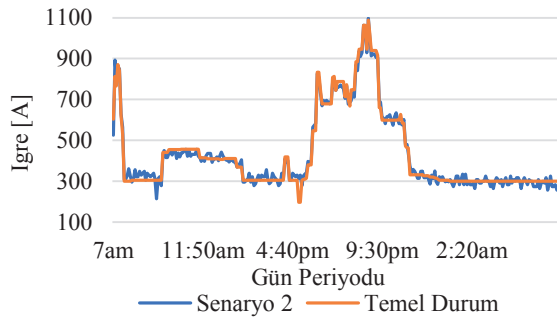
Ortak Enerji Depolama Sistemi (OEDS)		Toplam Hat Kaybı (kWh)
Senaryo / OEDS	Yer Aldığı Baralar	
Senaryo 1 (Temel Durum)	-	891,37
Senaryo 2 / OEDS 1	5,7,8,10,11,12,13,16	846,66
Senaryo 3 / OEDS 2	5,7,8,10,11,12,13,16	836,46



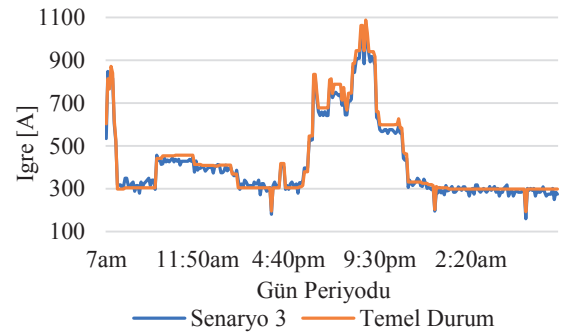
Şekil 8: Senaryo 2'de ortak enerji depolama sistemlerinin (OEDS 1) enerji durumu



Şekil 9: Senaryo 3'te ortak enerji depolama sistemlerinin (OEDS 2) enerji durumu



Şekil 10: Senaryo 2'de şebekeden çekilen akımın aktif değeri.



Şekil 11: Senaryo 3'te şebekeden çekilen akımın aktif değeri.

Her iki senaryo için de enerji talebinin yoğun olduğu periyotta ortak enerji depolama sistemlerinin şebekeden çekilen akımın

değerini düşürmek için beklendiği gibi deşarj oldukları görülmektedir. Her iki senaryoda da ortak enerji depolama sistemleri başlangıçtaki enerji durumları minimum seviyede yoğun enerji talep periyotlarından önce şarj olup yoğun pik talep periyotlarında şebekeye yardımcı olmuşlardır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, ortak enerji depolama sistemlerinin kullanılması ile şebeke kayıplarının minimize edilmesi için bir çalışma yapılmıştır. Test sonuçlarından belirli bir tüketici grubu için tahsis edilen ve baralara yerleştirilen ortak enerji depolama sistemlerinin hat kayıplarını azalttığı, yük faktörünü iyileştirdiği ve pik yükün azaltılmasına yardımcı olduğu görülmüştür. Bunların dışında, akıllı şebeke yapısı içerisinde ortak enerji depolama sistemleri hem tüketici hem de şebeke açısından faydalı sonuçlar getirecek çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Doğası gereği değişken güç üretimine sahip yenilenebilir enerji kaynaklarının kolay entegre edilmesinde, toplu olarak kullanıldığında adalama, yedek güç sağlama, frekans düzenleme gibi şebekeye hizmet edebilmektedir. Tüketici açısından ise yenilenebilir kaynaklara sahip tüketicilere fazla yenilenebilir enerjilerini ortak enerji depolama sistemlerine satarak elektrik maliyetlerini düşürme imkânı sunmaktadır. Gün geçtikçe artan bir ilgiye sahip bu sistemlerin günümüzde uygulanmış birçok örneği varken, akıllı şebeke yapısının etkinliğinin geliştirilmesi açısından çeşitli faydalar getireceği aşikârdır. Ortak enerji depolama sistemlerinden tüketici ve şebeke tarafından elde edilen kazançlar ile bu sistemlerin yaygınlıkları daha da artacaktır.

5. Kaynaklar

- [1] U.S. Energy Information Administration (EIA): International energy outlook 2014, available online at [http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2014\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2014).pdf).
- [2] Katayoun Rahbar, Mohammad Reza Vedady Moghadam, Thomas Reindl, "Energy Management for Demand Responsive Users with Shared Energy Storage System", *IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, Sidney, Avustralya, Kasım 2016.
- [3] Troy MILLER, Michael EDMONDS, "Energy Storage Can Enable Wider Deployment Of Distributed Generation", *22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED)*, Sayfa:1-4, Stocholm, İsveç, Haziran 2013.
- [4] Weiran Wang, Hao Liang, Jie Chen, "Stochastic Modelling of Community Energy Storage System based on Diffusion Approximation", *IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM)*, Sayfa:1-5, Haziran 2016.
- [5] Kaveh Paridari, Alessandra Parisio, Henrik Sandberg, Karl Henrik Johansson, "Demand Response for Aggregated Residential Consumers with Energy Storage Sharing", *2015 IEEE 54th Annual Conference on Decision and Control (CDC)*, Osaka, Japonya, Aralık 15-18, 2015.
- [6] Nikolaos Paterakis, "Reserve Services Provision By Demand Side Resources in Systems With High Renewables Penetration Using Stochastic Optimization", Covilha, Eylül 2015.
- [7] Peter M. van de Ven, Nidhi Hegde, Laurent Massoulié, Theodoros Salonidis, "Optimal Control of End-User Energy Storage", *IEEE Transactions On Smart Grid*, Cilt:4, Sayı:2, Sayfa:789-797, Haziran 2013.

- [8] Chathurika P. Mediwaththe, Edward R. Stephens, David B. Smith, Anirban Mahanti, "A Dynamic Game for Electricity Load Management in Neighborhood Area Networks", *IEEE Transactions on Smart Grid*, Cilt:7, Sayı:3, Sayfa:1329-1336, Mayıs 2016.
- [9] Bradford P. Roberts, Chet Sandberg, "The Role of Energy Storage in Development of Smart Grids", *Proceedings of the IEEE*, Cilt:99, Sayı:6, Sayfa:1139-1144, Haziran 2011.
- [10] I. Safak Bayram, Ali Tajer, Mohamed Abdallah, Khalid Qaraqe, "Energy Storage Sizing for Peak Hour Utility Applications", *2015 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Sayfa:770-775, Londra, Birleşik Krallık, Haziran 2015.
- [11] I. Safak Bayram, Mohamed Abdallah, Ali Tajer, Khalid A. Qaraqe, "A Stochastic Sizing Approach for Sharing-Based Energy Storage Applications", *IEEE Transactions on Smart Grid*, Ağustos 2015.
- [12] P.R. Thomas, T. J. Walker Jr., C. A. McCarthy, "Demonstration of Community Energy Storage Fleet for Load Levelling, Reactive Power Compensation and Reliability Improvement", *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, Sayfa:1-4, Haziran 2012.
- [13] Clifton R. Black, "Key Considerations for Deploying Storage at the Edge of the Grid", *Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)*, 2016 *IEEE/PES*, Dallas, ABD, Mayıs 2016.
- [14] Junainah Sardi, N. Mithulanathan, "Community Energy Storage: A Critical Element in Smart Grid: A Review of Technology, Prospect, Challenges and Opportunity", *4th International Conference on Engineering Technology and Technopreneurship (ICE2T)*, Sayfa:125-130, Kuala Lumpur, Malezya, Ağustos 2014.
- [15] Katayoun Rahbar, Mohammad Reza Vedady Moghadam, Sanjib Kuamr Panda, Thomas Reindl, "Shared Energy Storage Management for Renewable Energy Integration in Smart Grid", *IEEE Innovative Smart Grid Technologies (ISGT) Conference*, Minneapolis MN, ABD, Kasım 2016.
- [16] Kazi M. Moeenull Huq, M.E. Baran, Srdjan Lukic, Osebele E Nare, "An Energy Management System for a Community Energy Storage System", *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Sayfa:2759-2763, Eylül 2012.
- [17] P. Dimitrov, L. Piroddi, M. Prandini, "Distributed Allocation of a Shared Energy Storage System in a Microgrid", *American Control Conference (ACC)*, Sayfa:3551-3556, Boston, ABD, Temmuz 2016.
- [18] Zhimin Wang, Chenghong Gu, Furong Li, Philip Bale, Hongbin Sun, "Active Demand Response Using Shared Energy Storage for Household Energy Management", *IEEE Transactions on Smart Grid*, Cilt:4, Sayı:4, Sayfa:1888-1897, Aralık 2013.
- [19] Jiyun Yao, Parv Venkatasubramaniam, "Optimal End User Energy Storage Sharing in Demand Response", *2015 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, Sayfa:175-180, Miami, ABD, Kasım 2015.
- [20] Duong Quoc Hung, Nadarajah Mithulanathan, "Community Energy Storage and Capacitor Allocation in Distribution Systems", *AUPEC*, Sayfa:1-6, Eylül 2011.
- [21] David Parra, Stuart A. Norman, Gavin S. Walker, Mark Gillott, "Optimum Community Energy Storage System

- for Demand Load Shifting”, *Applied Energy*, Sayfa:130-143, Haziran 2016.
- [22] Reza Arghandeh, Jeremy Woyak, Ahmet Onen, Jaesung Jung, Robert P. Broadwater, “Economic Optimal Operation of Community Energy Storage systems in Competitive Energy Markets”, *Applied Energy*, Sayfa:71-80, Aralık 2014.
- [23] Wei Zhu, Dale Garrett, John Butkowski, Yang Wang, “Overview of Distributive Energy Storage Systems for Residential Communities”, *IEEE Energytech*, Sayfa:1-6, Mayıs 2012.
- [24] Rafael S. Ferreira, Carmen L.T. Borges, Mario V. F. Pereira, “A Flexible Mixed-Integer Linear Programming Approach to the AC Optimal Power Flow in Distribution Systems”, *IEEE Transactions on Power Systems*, Cilt:29, Sayı:5, Sayfa:2447-2459, Eylül 2014.
- [25] Ozan Erdinc, Nikolaos G. Paterakis, Tiago D. P. Mendes, Anastasios G. Bakirtzis, João P. S. Catalão, “Smart Household Operation Considering Bi-Directional EV and ESS Utilization by Real-Time Pricing-Based DR”, *IEEE Transactions On Smart Grid*, Cilt:6, Sayı:3, Mayıs 2015.
- [26] S. Civanlar, J.J. Grainger, H. Yin, S.S.H. Lee, “Distribution Feeder Reconfiguration For Loss Reduction”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Cilt:3, Sayı:3, Sayfa:1217-1223, Temmuz 1988.
- [27] A. Borghetti, “A Mixed-Integer Linear Programming Approach for the Computation of the Minimum-Losses Radial Configuration of Electrical Distribution Networks”, *IEEE Transactions on Power Systems*, Cilt:27, Sayı:3, Sayfa:1264-1273, Ağustos 2012.

Özilinti ve Spektral Güç Yoğunluğu Kullanarak Radar Darbe Tekrarlama Aralığı Tahmini ve Karakterize Edilmesi

Bora COŞKUN, M. Emre ÇEK

Dokuz Eylül Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

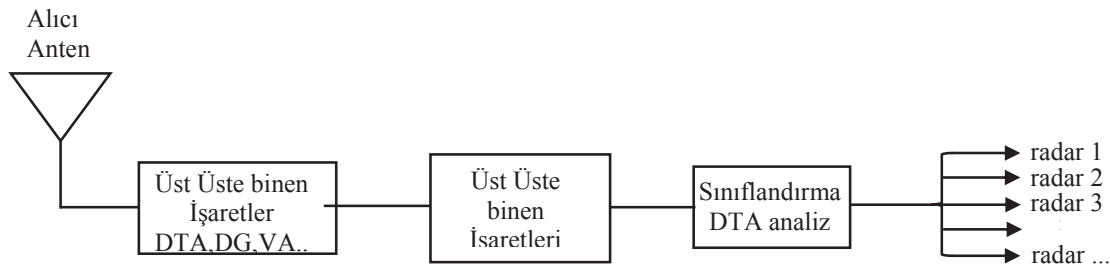
{bora.coskun, emre.cek}@deu.edu.tr

boracoskun1907@gmail.com

Anahtar Kelimeler: Elektronik Savaş, Radar İşaret İşleme, Darbe Tekrarlama Aralığı, Darbe Tekrarlama Frekansı, Özilinti, Güç Spektrum Yoğunluğu.

Özet: Bu çalışmada amaç, radar Darbe Tekrarlama Aralığı (DTA) kiplenimi ile elde edilen işaretlerin, özilinti, spektral güç yoğunluğu ve yüksek mertebeden öz ilinti, tahmin edilmesi, tanımlanması ve sınıflandırılmasının sağlanmasıdır. Buna göre farklı DTA kiplenim türlerine göre oluşturulan özniteliklerden, DTA kiplenimi verilerinden elde edilen ilinti fonksiyonu ve spektral değişimlerden işaret gürültü oranına bağlı olarak gözlenen radar işaretlerinin ayrıştırıcı değerlere sahip olduğu görülmüştür.

Giriş: Elektronik Harp (EH), elektromanyetik görüneyi (ing. spectrum) kontrol etmek amacıyla elektromanyetik yayınların aranması, tespit edilmesi, teşhis edilmesi, elektromanyetik görüngenin (EMG) muhasım tarafından kullanımının azaltılması veya önlenmesi, elektromanyetik ve yönlendirilmiş enerji kullanılarak taarruz edilmesi ve kendi kuvvetlerimiz tarafından EMG'nin en etkili şekilde kullanılmasını sağlayan faaliyetlerdir. Bu çerçevede alıcıya gelen radar işaretlerinin sınıflandırılması sonucu dost, düşman ve tarafsız ayrımları yapılabilmektedir. Radar işaretlerinin işlenmesindeki aşamalar, kimliklendirme süreci, konum/uzaklık belirleme, tanıma ve sınıflandırma temelinde gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda, literatürde, algılayıcılar ile düşman radar yayımlarından elde edilen elektronik istihbarat (ELİS) analiz edilip sinyal tanımlaması yapılır [1]. Burada, alıcıya ulaşan radar işaretleri doğrudan sinyal işleme teknikleri ile analiz edilebileceği gibi, ELIS ile düşman radar yayımlarından frekans, Darbe Genişliği (DG, ing. Pulse Width (PW)), Darbe Tekrarlama Aralığı (DTA, İng. Pulse Repetition Interval (PRI)), Tarama Paterni (ing. Scan Pattern (SP)), Tarama Tipi (TT, ing. Scan Type (ST)) işaretin varış açısı (VA, ing. Angle of Arrival (AoA)), Hüzmeye Genişliği (HG, ing. Beam Width BW) ve genlik (ing. Amplitude) parametreleri elde edilebilmektedir. Elektronik Destek (ED) uygulamalarında temel amaç radar işaretlerinin darbe dizilerini analiz etmektir. Bu işlem ile her darbe, farklı parametre özelliklerine sahip (fr, DG; DTA vb.) örtüşen diğer darbelerden ayrıştırılır (ing. deinterleaving) ve sonrasında kullanışlı hale getirmek için ayrıştırılan işaretler sıralanır. Ayrıştırma işlemi genellikle varış zamanı, darbe geniş ve frekans gibi parametrelerin kümelenmesi ile elde edilir. Şekil 1'de alıcıya gelen radar işaretlerinin analiz edilmesinde izlenen yol blok diagram ile gösterilmektedir.

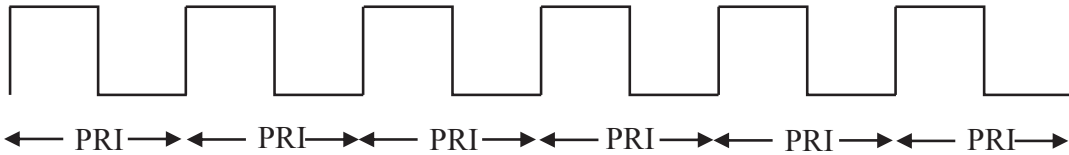


Şekil 1 Radar işaretlerinin sınıflandırılmasında izlenen aşamalar

Yöntem:

Bu çalışmada, DTA kiplenimi ile belirtilen zaman serileri MATLAB program ile simüle edilmekte, öz ilinti ve yüksek mertebeden momentler gibi zamansal analizler ile birlikte DTA'ların hızlı

Fourier dönüşümü (İng. FFT) tabanlı spektral güç yoğunluğu analizleri tanımlamada kullanılmaktadır. Buradan elde edilen öznelikler darbe tekrarlamaya aralığına ilişkin farklı sinyal yayıcı kaynaklara özgün bir şekilde farklı etiketleme yapılmasını sağlamaktadır. DTA kiplenim tipine bağlı olarak darbe dizilerinin karakteristikleri genellikle radarın marka, modelini, kullanım işlevini (Hava ve Su üstü Radarları, Atış Kontrol Radarları), hangi ülkenin hangi birliği tarafından kullanıldığını ortaya çıkarır [2]. Temel olarak Darbe Tekrarlamaya Aralığı, bir radarın bir tam iletim döngüsü için gereken zaman olarak düşünülebilir. Temel olarak darbenin başlangıcından bir sonraki darbenin başlangıcına kadar geçen zamandır. DTA, mikro saniye cinsinden ölçülen bir zaman serisidir. Darbe tekrarlamaya aralığının oluşturduğu işaret, literatürde Sabit, Rastgele Değişkenli, Kademeli, Sürgülü, Periyodik, Beklemeli&Değişmeli olarak karakterize edilmektedir ve PRI kiplenim türleri içerisinde en yaygın karşılaşılanlardır [3]. Darbe tekrarlamaya aralığı veya darbe tekrarlamaya frekansı elde edildikten sonra bu zaman serilerinden öznelik çıkarılması sınıflandırmanın temel aşamalarından birisidir [3]. Bunun yanı sıra DTA analizinde dalgacık dönüşümü tabanlı öznelik çıkarımı da literatürde yer almaktadır [4]. Buna ek olarak özilinti fonksiyonunun temel periyodu ve buna bağlı spektral değişimlerden daha farklı öznelikler çıkarılması da literatürde düşünülmüştür [5]. DTA türleri içerisinde analizi daha zor olan rastgele değişkenli darbe tekrarlamaya aralığı analizi güncel olarak literatürde incelenmektedir [6]. Mevcut Şekil 2’de sabit DTA değerine sahip alıcıya gelen işaret ve buna karşılık gelen DTA dizisi gösterilmektedir.

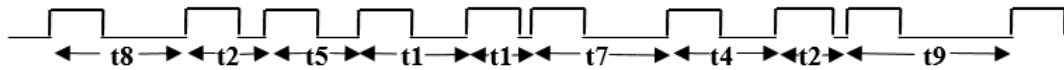


Şekil 2 Sabit değerinde DTA (İng. PRI) dizi yapısı.

Sabit DTA, iki ardışık darbe aralığının sabit olmasına karşılık gelmekte olup N darbe aralığı için $P_{sabit}(\cdot)$ fonksiyonu ile (1)’deki gibi ifade edilmektedir.

$$P_{sabit}(k) = c \quad k = 1, \dots, N - 1 \quad (1)$$

Yukarıda c sabit bir reel sayıya karşılık gelmektedir. Rastgele değişen DTA (ing. jitter PRI) aralığı kipleniminde ise ardışık darbe aralıkları rastgele değişmektedir. Konvansiyonel olarak, rastgele değişim değeri ortalama DTA değerinin en fazla %30’u kadar değişecek şekilde modellenmektedir. Şekil 3’te k ’ncü darbe zaman aralığı, T ortalama değer ve $\varepsilon_{gauss} \sim \mathcal{N}(T, \sigma^2)$ rassal değişim altında $t_k \sim \mathcal{N}(T, \sigma^2)$ ile Şekil 3’teki gibi modellenebilir.



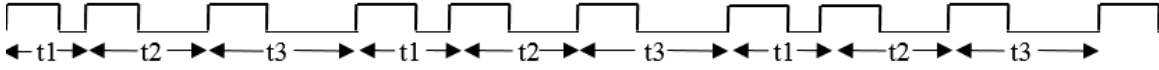
Şekil 3 Rastgele değişen DTA dizi yapısı.

Bu durumda DTA fonksiyonu $P_{rastgele}(\cdot)$ fonksiyonu ile (2)’deki gibi ifade edilir

$$P_{rastgele}(k) = T + \varepsilon_{gauss} \quad (2)$$

Kademeli DTA, (ing. Staggered PRI), DTA aralıklarının önceden belirlenmiş sabit değerlerin kademeli olarak değişmesi ile tanımlanmaktadır. Darbe zaman aralığı değişimi N periyodu içerisinde değişen T_k değerine bağlı olarak (3) ile ifade edilmekte olup örnek gösterimi Şekil 4’te sunulmaktadır.

$$P(k) = T_k \bmod(N) \quad (3)$$



Şekil 4 Kademeli değişen DTA dizi yapısı.

Sürgülü DTA (İng. Sliding PRI), darbe dizisinin önceden belirlenen maksimum ve minimum eşikler arasında T_{ilk} değerinden başlayarak $T_{basamak}$ değerinde zaman aralığı artışlarıyla (4)'teki gibi elde edilir.

$$P(k) = T_{ilk} + (k - 1) T_{basamak} \text{ mod}(N) \quad (4)$$

Periyodik DTA (İng. Wobulated PRI), darbe dizisinin belirli aralık içerisinde sürekli ve periyodik olarak değiştirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak sinüzoidal değişimle DTA değeri (5)'teki gibi bulunabilir

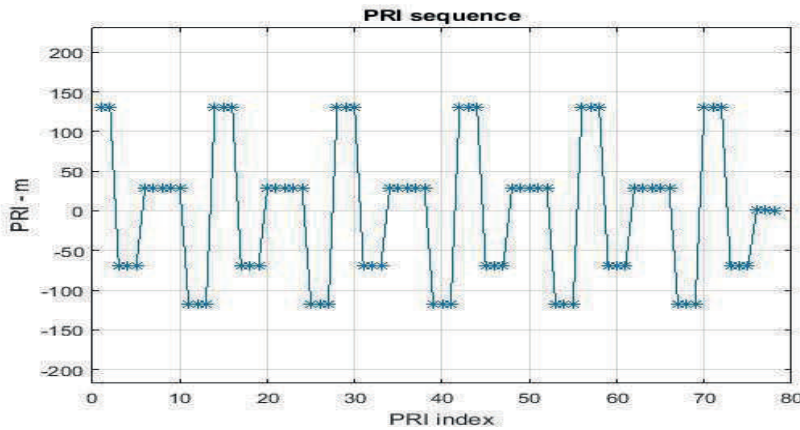
$$P(k) = T + A \sin(w.k + \Phi) \quad (5)$$

Yukarıda, T ortalama darbe tekrarlama aralığı, A değişimin genliği, w tekrarlama aralığının değişim hızını olan frekansı ve Φ faz değeri olmaktadır.

Beklemeli & Değişmeli DTA (İng. Dwell & Switch PRI), farklı değerlerde ve süreler içerisinde darbe tekrarlama aralığının kendisini tekrar etmesi şeklinde ifade edilir. Bu durumda Q farklı değerlerde darbe tekrarlama aralığı, $N = \sum_{q=1}^Q N_q$ farklı DTA dizisinin oluşturduğu $T_q(\cdot)$ fonksiyonu cinsinden (6)'daki gibi elde edilmektedir.

$$P(k) = T_q(k) \quad k = 1, \dots, N_q, \quad q = 1, \dots, Q \quad (6)$$

Beklemeli Değişmeli darbe tekrarlama türüne ilişkin ortalama değeri çıkarılmış örnek bir DTA dizisi Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5 Beklemeli Değişmeli örnek DTA dizi yapısı

Yukarıda belirtilmiş olan farklı DTA türlerinin analizi için özilinti fonksiyonu ile darbe dizisindeki benzerlik derecesi belirlenmiş olup gözlenen sonlu sayıdaki DTA değerlerini ifade eden N uzunluğundaki X DTA vektörüne ilişkin örnek öz ilinti fonksiyonu, maksimum zaman gecikmesi $0 \leq k \leq N - 1$ olacak şekilde (7)de verilmektedir.

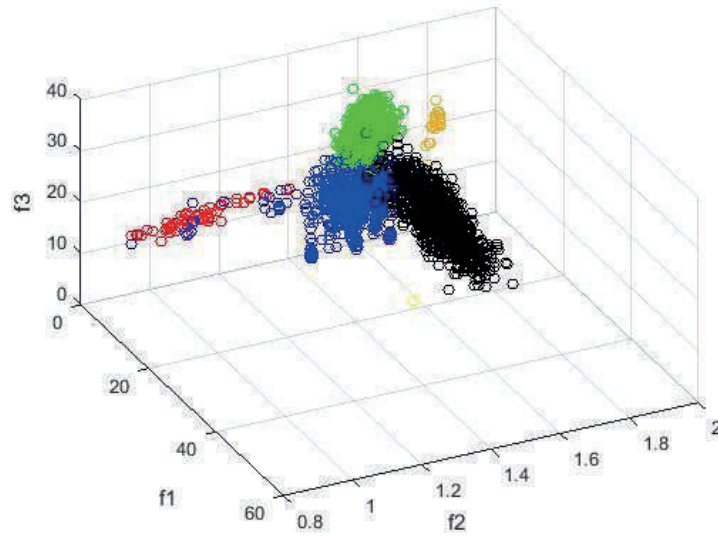
$$R_{XX}[k] = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N-k} (X_n - \mu_x)(X_{n+k} - \mu_x)}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N-k} (X_n - \mu_x)^2} \quad (7)$$

Bunun yanında, Fourier dönüşümü kullanılarak DTA'ların kiplenim türüne göre farklı karakteristiklere sahip olduğu spektral güç yoğunluğu (8)'deki gibi gösterilmektedir.

$$P(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{XX}[k] e^{-j\omega k} dk \quad (8)$$

Buradaki temel varsayım, DTA dizileri bir hedefe bağlı olarak zaman içerisinde değişmediği durağan bir davranış gösterdiği'dir. Bu çalışmada, konvansiyonel öznelik çıkarımına ek olarak DTA dizilerinden ve bunların spektral davranışlarından elde edilen f_1 , f_2 ve f_3 özneliklerine göre DTA türleri Şekil 6'da gösterilmektedir.

Sonuçlar: İncelemeler sonucu, DTA değerleri; özilinti, ayrık Fourier dönüşümü ve güç spektrum yoğunluklarına göre analiz edildiğinde DTA'ların kiplenimlerine göre farklı davranışlar gösterdiği görülmüştür.



Şekil 6 DTA Kiplenimlerinin öznelik uzayında gösterimi

Burada f_1 özneliği; ardışık iki PRI arasındaki fark dizisindeki minimum değer, ardışık iki PRI arasındaki fark dizisi ile karşılaştırılarak (fark, dizinin o elemanından küçükse 0, büyükse 1) elde edilen dizinin fark dizisine ilave edilmesi ulaşılmıştır. f_2 özneliği; ardışık iki PRI arasındaki farkın ortalamadan çıkarılması sonucu elde edilen dizinin ardışık değerler arasındaki açısal farkın ortalaması alınarak bulunmuştur. f_3 özneliği; PRI dizisinin özilinti fonksiyonun Fourier dönüşümü sonucu elde edilen frekans tepe noktalarından uygun bir eşik değerinin üzerinde olanların bulunması ile hesaplanmıştır. Matlab bilgisayar benzetimlerinde 1000 gerçekleştirilmiş olup alıcıya gelen radar sinyali farklı işaret gürültü oranında (İng. Signal to Noise Ratio (SNR)) incelenmiştir. Bulgulara göre işaret gürültü oranı 10 dB'nin altına düştüğünde DTA kiplenim tiplerinin ayrımının zorlaştığı, 15 dB ve üzerinde çalışılması durumunda ayrımın ideal düzeyde sağlandığı görülmüştür. Genellikle radar sistemlerinin ortalama SNR çalışma aralığının 15-20 dB olduğu göz önüne alındığında kullanılan parametrelerin farklı DTA kiplenimlerini ayırt etmede yeterli olabileceği değerlendirilmiştir. Sırasıyla 5 dB, 15 dB ve 25 dB SNR için DTA kiplenimi türlerinin ikili olarak birbirinden ayırıştırması başarımı Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'te gösterilmiştir. Bu sonuçlardan da görülebileceği gibi 5 dB SNR durumunda bazı DTA kiplenimli işaretlerin birbirinden ayırıştırılmadığı görülmektedir.

Tablo1 5 dB SNR için ayırıştırma başarımların değerleri

SNR=5dB	Sabit	Rastgele	Kademeli	Sürgülü	Periyodik	Beklemeli&Değişmeli
Sabit		%98	%97	%97	%96	%98
Rastgele	%98		%68	%24	%42	%22
Kademeli	%97	%68		%25	%18	%62
Sürgülü	%97	%24	%25		%28	%25
Periyodik	%96	%42	%18	%28		%33
Beklemeli&Değişmeli	%98	%22	%62	%25	%33	

Tablo 2’de 15 dB SNR için ikili ayırıştırma başarımlarının yükseldiği net bir şekilde görülmektedir. Tablo 3’te ise çoğunluk %90’nın üzerinde başarımların yakalandığı gözlenmiştir.

Tablo2 15 dB SNR için ayırıştırma başarımların değerleri

SNR=15dB	Sabit	Rastgele	Kademeli	Sürgülü	Periyodik	Beklemeli&Değişmeli
Sabit		%98	%95	%96	%94	%99
Rastgele	%98		%94	%91	%93	%89
Kademeli	%95	%94		%88	%83	%78
Sürgülü	%96	%91	%88		%82	%69
Periyodik	%94	%93	%83	%82		%87
Beklemeli&Değişmeli	%99	%89	%78	%69	%87	

Tablo 3 25 dB SNR için ayırıştırma başarımların değerleri

SNR=25dB	Sabit	Rastgele	Kademeli	Sürgülü	Periyodik	Beklemeli&Değişmeli
Sabit		%99	%99	%99	%99	%99
Rastgele	%99		%98	%99	%99	%95
Kademeli	%99	%98		%95	%87	%89
Sürgülü	%99	%99	%95		%94	%93
Periyodik	%99	%99	%87	%94		%92
Beklemeli&Değişmeli	%99	%95	%89	%93	%92	

Bu kapsamda farklı sinyal yayıcı kaynaklara ait alıcıda gözlenen radar işaretlerinden kiplenimlerinin sınıflandırılması, tahmini ve tanınmasının yapılabileceği değerlendirilmektedir.

Kaynakça

- [1] NATO Multinational Maritime Tactical Instructions and Procedures. Newport, MTP 1(D)vol.1, 2nd Edition, 8 January 2002
- [2] Kauppi J-P., Martikainen K. S., An Efficient Set of Features for Pulse Repetition Interval Modulation, IET International Conference on Radar Systems, pp. 1-5, 2007
- [3] R. G. Wiley, ELINT: the interception and analysis of radar signals, Artech House, (2006).
- [4] Gençol K., At N., Kara A., A wavelet-based feature set for recognizing pulse repetition interval modulation patterns, Tubitak Turkish Journal of Electrical engineering, 24, pp. 3078-3090, 2016.
- [5] Ahmadi M., Mohamedpour K., PRI Modulation Type Recognition Using Level Clustering and Autocorrelation, American Journal of Signal Processing, 2, (5), pp. 83-91, 2012.
- [6] Yang Z., Quan G., Ma Y., Huang J., Compressive Space-Time Adaptive Processing Airborne Radar with Random Pulse Repetition Interval and Random Arrays. International workshop on Compressed Sensing on Radar, Sonar, and Remote Sensing, pp. 247-251, 2016

PowSysGUI: Güç Sistemi Analizi ve Simülasyonu için MATLAB Tabanlı bir GUI Programı

PowSysGUI: A MATLAB-based GUI Program for Power System Analysis and Simulation

Serdar Ekinci

Batman Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü.
serdar.ekinci@batman.edu.tr

Özet

Bu çalışma güç sistemi analizi, kontrolü ve kararlılığı için geliştirilen PowSysGUI adında etkili bir eğitim aracını önermektedir. PowSysGUI, MATLAB tabanlı grafiksel kullanıcı ara-yüzü olan bir simülasyon programıdır ve bilhassa eğitim ve araştırma amaçlarına uygundur. Program yük akışı, küçük işaret kararlılığı, zaman domeni simülasyonu ve bazı evrimsel hesaplama tekniklerini kullanarak güç sistemi kararlı kılıcısı (PSS) tasarımı için güçlü grafiksel ara-yüze sahiptir. Geliştirilen programın başlıca özellikleri ve etkinliği örnek olması amacıyla çok makinalı bir güç sistemi üzerinde test edildi.

Anahtar Kelimeler: Eğitim, MATLAB, güç sistemi dinamik kararlılığı, güç sistemi simülasyonu.

Abstract

This work proposes an efficient educational tool called PowSysGUI developed for power system analysis, control and stability. It is a MATLAB-based graphical user interface (GUI) simulation program and is especially suited for educational and research aims. The program has powerful graphical interfaces for power flow, small-signal stability, time-domain simulation and power system stabilizer (PSS) design by using some evolutionary computation techniques. As an example, the main features and efficiency of developed program are tested on a multi-machine power system.

Keywords: Education, MATLAB, power system dynamic stability, power system simulation.

1. Giriş

Bozucu etkilere maruz kalan güç sisteminin senkronizasyonda kalma kabiliyeti olarak tanımlanan kararlılık, güç sistemi mühendisliğinin en ilgi çeken araştırma konularından biridir. Genel olarak güç sistemlerinde kararlılık üç ana sınıfta incelenmekte olup, bunlar rotor açısı kararlılığı, gerilim kararlılığı ve frekans kararlılığıdır [1-3]. Bu makale çalışması daha çok rotor açısı kararlılığı kapsamındadır.

Yüksek dereceden doğrusal olmayan özelliğe sahip ve oldukça karmaşık olan güç sistemlerinde küçük genlikli ve düşük frekanslı salınımlar yeterince sönümlenmediklerinde güç sistemini kararsızlığa sürüklerler. Güç sistemlerinde görülen ve istenmeyen bu salınımların sönümlenmesi ve sistemin dinamik kararlılığının iyileştirilmesi için çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Güç sistemi kararlı kılıcılar (power system

stabilizers, PSS) basit yapısı ve uygulama kolaylığından ötürü, sistemde kararsızlığa neden olan salınımların giderilmesi için önerilen en etkili çözümlerden biridir. Güç sistemi kararlı kılıcılarının esas işlevi, senkronlayıcı momente ilave olarak uyarma sistemi üzerinde destekleyici sönüm momenti sağlamaktır [4].

Son yıllarda, karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek amacıyla çeşitli sezgisel optimizasyon teknikleri önerilmiştir. Bu yöntemlerin birçoğu doğadan esinlenilmiş olup, evrimsel algoritmalar ve sürü zekâları olmak üzere iki önemli kategoride sınıflandırılabilir. Problem ve modelden bağımsız olan doğadan esinlenmiş sezgisel optimizasyon teknikleri, geleneksel optimizasyon tekniklerindeki eksikliklerin giderilmesi için önerilmektedir. Bu yöntemlere dayalı genetik algoritma (genetic algorithm, GA), parçacık sürüsü optimizasyonu (particle swarm optimization, PSO), diferansiyel gelişim (differential evolution, DE) algoritması ve yapay arı kolonisi (artificial bee colony, ABC) algoritması gibi çeşitli teknikler en uygun PSS parametrelerini etkin şekilde bulmak için yaygın olarak uygulandı [4].

Güç sistemlerinde çeşitli analizler yapmak, kararlılık kavramını irdelemek ve kararsızlığa neden olanları belirleyerek önleyici tedbirler geliştirmek için pratik analitik metotlar ve yazılım paketlerinin geliştirilmesi gereklidir. Güç sistemleri analizi ve simülasyonlarında hesaplama açısından çok etkili ve oldukça kullanıcı dostu olan Power System Simulator (Simpow), DigSilent, SimPowerSystems (SPS), Power System Toolbox (PST) ve EuroStag gibi programlar piyasada mevcuttur. Öğrenilmesi genellikle ciddi eğitimler gerektiren bu programların çoğu ücretlidir ve normal derslik kullanımlarına uygun değildir [4,5].

Bu çalışmada, güç sistemlerinin dinamik analizlerinde en yaygın kullanılan programlarından biri olan MATLAB yazılımını kullanarak çalışan ve grafiksel kullanıcı ara-yüzüne (graphical user interface, GUI) sahip PowSysGUI adında yeni bir eğitsel yazılım paketi, elektrik güç sistemleri analizi ve tasarımlarında kullanılması için geliştirildi. Bu program açık kaynak kodlu yazılımdır ve güç sistemleri alanında kod yazmayı öğrenmek isteyen biri bu programın iç yapısını görebilir. Bu program paketi, araştırmacılar ve eğitimciler için kullanması ve değiştirmesi kolay olan bir simülasyon aracı olarak amaçlandı. PowSysGUI, anlaşılması ve değiştirilmesi için kodu yeterince basit tutarak olası en iyi performansı vermesi için tasarlandı. PowSysGUI yük akışı analizi, küçük işaret kararlılık analizi, zaman domeni simülasyonu ve bazı evrimsel hesaplama tekniklerini kullanarak PSS tasarımı için verimli algoritmalara sahiptir ve kolay kodlamaya izin verir.

2. Güç Sistemi Modeli

Lineer olmayan bir güç sistemi genel olarak diferansiyel cebirsel denklemlerle aşağıdaki gibi ifade edilebilir [4,6].

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(x, y, u) \\ 0 &= g(x, y) \end{aligned} \quad (1)$$

(1) denklemi herhangi bir denge noktası civarında doğrusallaştırılması (2) denkleminde verilmektedir.

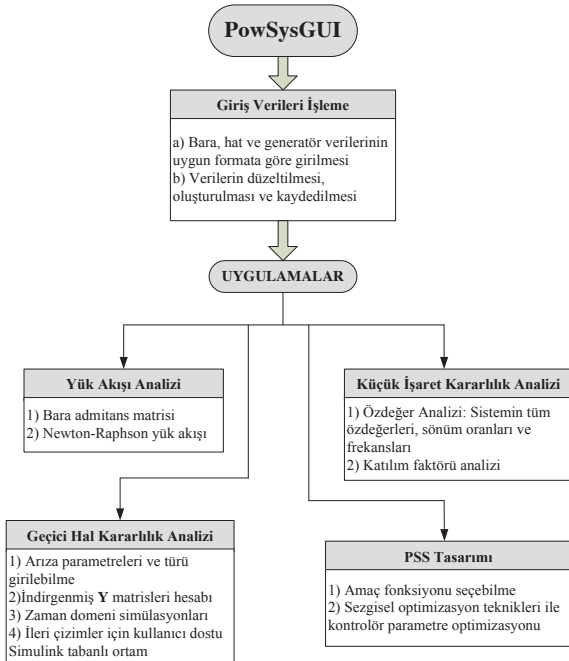
$$\begin{aligned} \Delta \dot{x} &= \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial f}{\partial u} \Delta u \\ 0 &= \frac{\partial g}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial g}{\partial y} \Delta y \end{aligned} \quad (2)$$

Güç sistemlerinde iki eksenli, akı sönümlü ve klasik modeller literatürde daha çok tercih edilmekte olup bu modellere ilişkin diferansiyel cebirsel denklem takımlarına [6]'da detaylı olarak bakılabilir.

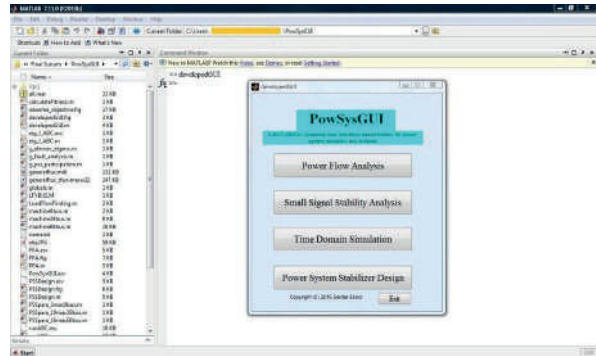
3. PowSysGUI Paket Programına Genel Bakış

Matematiksel temele dayalı, güç sistemlerinde açısal kararlılık analizi yapabilen ve ayrıca eğitim alanında da kullanılabilen yeni ve gelişmiş grafiksel kullanıcı ara-yüzüne sahip olan PowSysGUI programının çalışma akışı ve özellikleri Şekil 1'de görülmektedir.

Çalışmada belirtilen PowSysGUI paket programını çalıştırmadan önce mevcut dosya konumu PowSysGUI olacak şekilde ayarlanır ve Şekil 2'de görüleceği gibi MATLAB komut satırına "developedGUT" yazılarak ana programın menüsü açılır. Güç sistemleri analizi ve kararlılık çalışmaları amacıyla geliştirilen PowSysGUI dört temel fonksiyonu yerine getirebilecek yapıdadır ve programın özellikleri detaylıca açıklanacaktır.



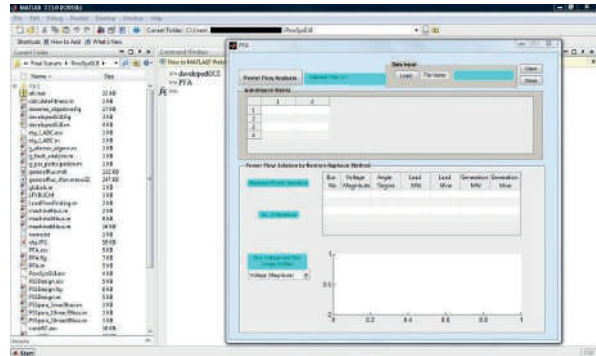
Şekil 1. PowSysGUI programının yapısı



Şekil 2. PowSysGUI programının çalıştırılması

3.1. Yük Akışı Analizi Modülü

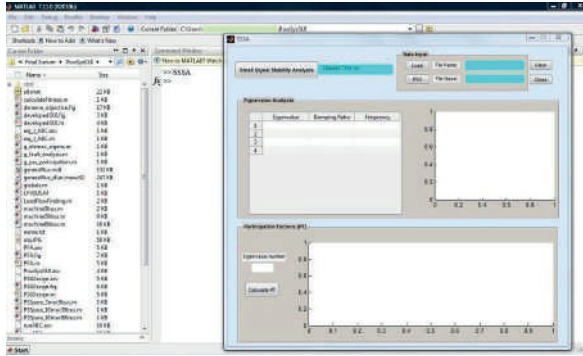
PowSysGUI ana programındaki *Power Flow Analysis* butonuna basılarak veya MATLAB komut satırına "PFA" yazılarak bu alt program açılır. Bu modülün çalıştırılması ve ara-yüzü Şekil 3'te verilmiştir. Yük akışı analizi (PFA) modülünü aktif hale getirmek için önce "Data Input" kısmına incelenecek güç sistemine ilişkin bara, hat, generatör ve uyarma sistemi gibi verilerin girilmesi gerekmektedir. Veri girişinden sonra "File Name:" yanındaki kutucukta yüklenen verilerin dosya adı görünür. Eğer veri yükleme başarısız olursa o kutucukta "0" yazılmış görülür. Veriler başarılı şekilde yüklendikten sonra Şekil 3'teki *Power Flow Analysis* butonuna tıklanarak sisteme yüklenen veriler kullanılmak suretiyle PFA modülü çalışmaya başlar ve program çalışması bittince *Elapsed Time* kutucuğunda geçen süre saniye olarak görülür. Bu alt program sayesinde istenilen güç sistemine ait admitans matrisi ve Newton-Raphson metodu kullanılarak yük akışı sonucu bulunur.



Şekil 3. Yük akışı analizi modülü

3.2. Küçük İşaret Kararlılık Analizi Modülü

Küçük işaret kararlılığı analizi (SSSA) modülünü çalıştırmak için PowSysGUI ana programındaki *Small Signal Stability Analysis* sekmesinin tıklanması veya MATLAB komut satırına "SSSA" yazılması gereklidir. SSSA modülü Şekil 4'te gösterildiği gibi ekrana gelir.

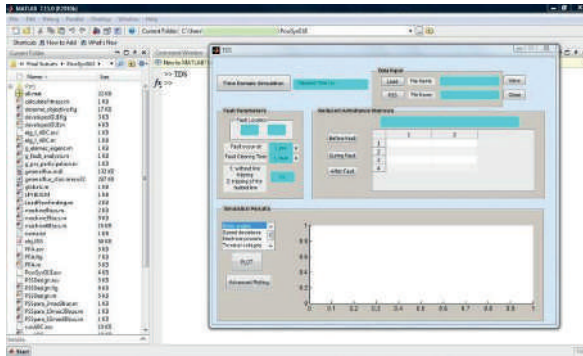


Şekil 4. Küçük işaret kararlılık analizi modülü

PFA modülüne benzer şekilde SSSA modülünü kullanmak için üzerinde çalışılacak örnek sistemin dataları ve PSS parametreleri yüklenir. SSSA modülü güç sisteminin başlangıç çalışma koşullarının bulunması, öz-değer analizi (sistemin tüm öz-değerlerin çözülmesi ve çizdirilmesi) ve katılım faktörü analizi yapabilecek kapasitedir. Sistemin öz-değerleri, analitik Jakobiyan matrisler kullanılarak hesaplanmaktadır ve bu metot öz-değerlerin yüksek hassasiyetle hesaplanmasını sağlar. SSSA modülü aynı zamanda PFA modülü ile etkileşim halindedir.

3.3. Zaman Domeni Simülasyonu Modülü

Güç sistemlerinin geçici hal kararlılık davranışını inceleyen TDS modülünü çalıştırmak için PowSysGUI ana programındaki *Time Domain Simulation* sekmesinin tıklanması veya MATLAB komut satırına “TDS” yazılması gereklidir. TDS modülü Şekil 5’te gösterildiği gibi ekrana gelir.



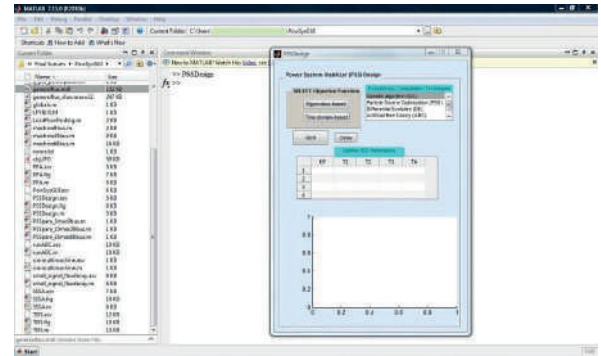
Şekil 5. Zaman domeni simülasyonu modülü

Diğer iki modülde olduğu gibi bu modülü çalıştırmadan önce örnek güç sisteminin verileri başarıyla yüklenir. Şekil 5’te gösterilen bu modül aracılığıyla, ‘Fault Parameters’ paneli kullanılarak istenilen hat yerinde (hattın devreden çıkarılması/yeniden eski haline dönmesi) ve istenilen arıza temizleme süreleri seçilerek değişik arıza türleri oluşturulabilir. Herhangi bir arızaya maruz kalan lineer olmayan güç sisteminin zaman domeninde analizi yapılabilir. Rotor açıları, rotor hız değişimleri, uç gerilimleri, elektriksel güçler ve istenilen her işaretten çıkış alınabilir. Bu modül ayrıca güç sisteminin indirgenmiş admitans matrislerini (arıza öncesi, esnası ve sonrası için) ekrana yansıtılabilmektedir.

İleri kullanımlar ve sisteme değişik türden arızalar verilmek istenirse Şekil 5’teki “Advanced Plotting” butonuna tıklanır. Butona tıkladığında çeşitli alt bloklar kullanarak modellenen güç sisteminin Simulink tabanlı tasarım dosyası açılır. Simulink tabanlı bu dosya yardımıyla lineer olmayan güç sisteminin modellenmesi açık şekilde görülebilir ve bu dosya üzerinde ekleme değişiklikler de yapılabilmektedir.

3.4. Güç Sistemi Kararlı Kılıcı Tasarımı Modülü

Bu modülü etkinleştirmek için PowSysGUI ana programındaki *Power System Stabilizer Design* sekmesinin tıklanması veya MATLAB komut satırına “PSSDesign” yazılması yeterlidir. Şekil 6’da PSSDesign modülünün arayüzü görülmektedir. Diğer üç modül (PFA, SSSA, TDS) çalıştırıldıktan sonra bu modül çalışır hale gelmektedir.



Şekil 6. Güç sistemi kararlı kılıcı tasarımı modülü

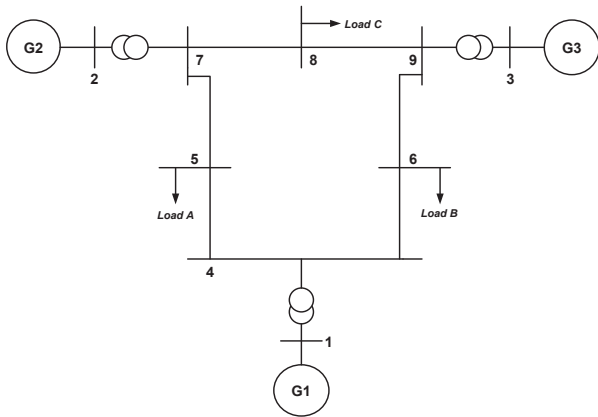
PSSDesign modülü vasıtasıyla PSS tasarımı ve parametrelerinin optimizasyonu, istenilen amaç fonksiyonu ve istenilen optimizasyon tekniği seçilerek yapılır. Amaç fonksiyonu olarak özdeğer tabanlı veya zaman domeni tabanlı çeşitli fonksiyonlar seçilebilir. Ayrıca, kullanıcı yeni bir amaç fonksiyonu tanımlayıp tasarım yapabilir.

Bu modülde halen aktif olarak çalışan algoritmalar GA, PSO, DE ve ABC optimizasyon teknikleridir ve bu modülün esneklik özelliğinden dolayı ileride diğer algoritmalar etkin şekilde eklenebilir. İlgili amaç fonksiyonu ve optimizasyon tekniği seçildikten sonra “RUN” butonuna basılarak optimizasyon süreci başlatılmış olur. Optimizasyon süreci bittikten sonra, optimize edilen parametreler tablo halinde ekrana gelir ve seçilen amaç fonksiyonun iterasyon sayısına göre grafiği de ekrana yansır.

4. PowSysGUI Uygulamaları

4.1. Durum İncelemeleri

Bu çalışmada güç sistemlerinin dinamik analizi için geliştirilen PowSysGUI programının geçerliliği ve etkinliği çeşitli güç sistemleri üzerinde başarıyla test edildi ve örnek teşkil etmesi bakımından Şekil 7’de gösterilen 3-makinalı 9-barlı güç sistemi [6,7] ele alındı.



Şekil 7. 3-makinalı 9-baralı sistem

Örnek güç sisteminin bara, hat, generatör ve uyarma sistemi dataları sırasıyla Çizelge 1-4’te verilmiştir. Örnek sistem için statik uyarmalı akı sönümlü model kullanıldı [8].

Çizelge 1. Bara verileri

Bara No	Tür	Gerilim	Açı	$-P_L$	$-Q_L$	P_G	Q_G
1	gevşek	1.040	0	0	0	0	0
2	PV	1.025	0	0	0	1.63	0
3	PV	1.025	0	0	0	0.85	0
4	PQ	1.000	0	0	0	0	0
5	PQ	1.000	0	1.25	0.50	0	0
6	PQ	1.000	0	0.90	0.30	0	0
7	PQ	1.000	0	0	0	0	0
8	PQ	1.000	0	1.00	0.35	0	0
9	PQ	1.000	0	0	0	0	0

Çizelge 2. Hat verileri

Hat No	Baradan	Baraya	R	X	B	Tap
1	1	4	0	0.0576	0	1.0
2	2	7	0	0.0625	0	1.0
3	3	9	0	0.0586	0	1.0
4	4	5	0.0100	0.0850	0.0880	1.0
5	4	6	0.0170	0.0920	0.0790	1.0
6	5	7	0.0320	0.1610	0.1530	1.0
7	6	9	0.0390	0.1700	0.1790	1.0
8	7	8	0.0085	0.0720	0.0745	1.0
9	8	9	0.0119	0.1008	0.1045	1.0

Çizelge 3. Generatör verileri

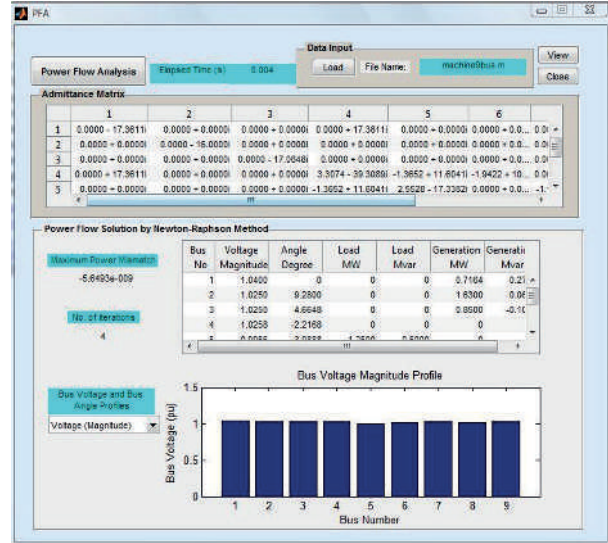
No	H	x_d	x'_d	x_q	x'_q	T'_{d0}	T'_{q0}
1	23.64	0.1460	0.0608	0.0969	0.0969	8.96	0.310
2	6.40	0.8958	0.1198	0.8645	0.1969	6.00	0.535
3	3.01	1.3125	0.1813	1.2578	0.2500	5.89	0.600

Çizelge 4. Uyarma sistemi verileri

Makina	K_A	T_A	E_{fd}^{\max}	E_{fd}^{\min}
1	100	0.05	7.3	-7.3
2	100	0.05	7.3	-7.3
3	100	0.05	7.3	-7.3

4.2. Örnek sistem için yük akışı analizi

3-makinalı 9-baralı güç sisteminin verileri (*machine9bus.m*) yüklendikten sonra, “Power Flow Analysis” sekmesine tıklanarak yük akışı analizi süreci başlatılmış olur. Şekil 8’de örnek güç sistemin yük akışı sonuçları görülmektedir. Şekilden açıkça görüleceği gibi örnek sistemin yük akışı analizi için geçen süre 0.004 saniyedir. Yük akışı analizi, Newton-Raphson metoduyla 4. iterasyonda ve maksimum güç uyumsuzluğu -5.6493×10^{-9} olacak şekilde bulunur. Ayrıca, her baraya ait gerilimler ve açıları da ‘Bus Voltage and Bus Angle Profiles’ kısmında grafik olarak görülebilir.



Şekil 8. Yük akışı sonuçları

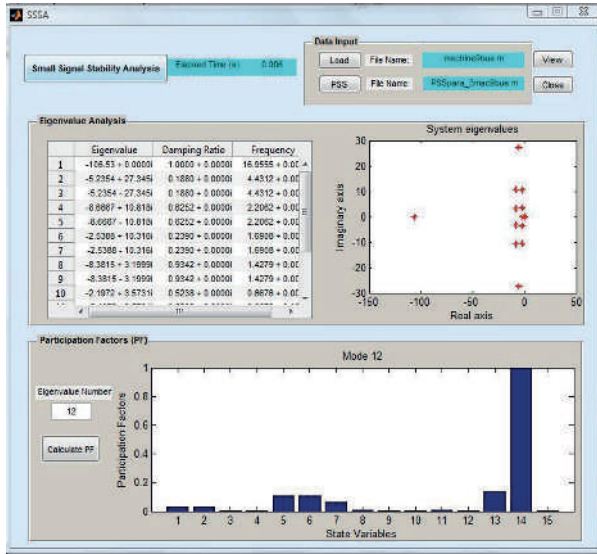
4.3. Örnek sistem için küçük işaret kararlılık analizi

Örnek sistemin verileri olan *machine9bus.m* ve güç sistemi kararlı kılıcılara ait olan *PSSpara_3mac9bus.m* yüklendikten sonra, “Small Signal Stability Analysis” sekmesine tıklanarak küçük işaret kararlılık analizi süreci başlatılmış olur. Şekil 9’da örnek güç sisteminin küçük işaret kararlılık sonuçları görülmektedir. Öz-değer analizi kısmında, sistemin öz-değerleri ve o öz-değerlere karşılık düşen sönüm oranları ve frekansları tablo halinde verilmiştir ve öz-değerler çizdirilmiştir. Ayrıca her öz-değere ait katılım faktörü analizi de kolaylıkla yapılabilmektedir.

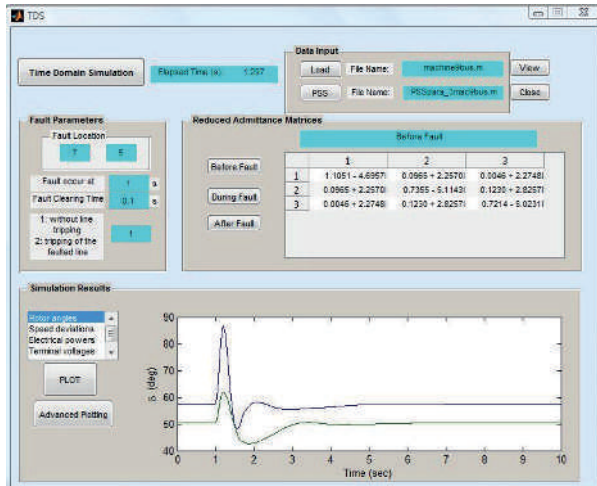
4.4. Örnek sistem için geçici hal kararlılık analizi

Örnek sistemin verileri başarılı bir şekilde yüklendikten sonra, “Time Domain Simulation” sekmesine tıklanarak geçici hal kararlılık analizi süreci başlatılmış olur. Örnek sistemde zaman domeni simülasyonları için, $t = 1$ saniyede (arızadan önceki sistem durumu daha açık görülsün diye) 7 nolu barada ve 7-5 hattının sonunda üç fazlı bir arıza olduğu düşünüldü. Arızalı 7-5 hattı yeniden devreye sokularak (without line tripping) arıza giderildi. Şekil 10’da büyük arızaya maruz kalan örnek güç sisteminin indirgenmiş admitans matrisleri ve simülasyon sonuçları görülmektedir.

“Advanced Plotting” sekmesine tıkladığında, lineer olmayan çok makinalı güç sisteminin Simulink tabanlı modellenmesi görülecektir. Bu model kullanılarak istenilen her işaretten çıkış kolaylıkla alınabilir ve ayrıca simülasyon süresi, tolerans, çözüm tekniklerinin vs. ne olacağına karar verilebilir.



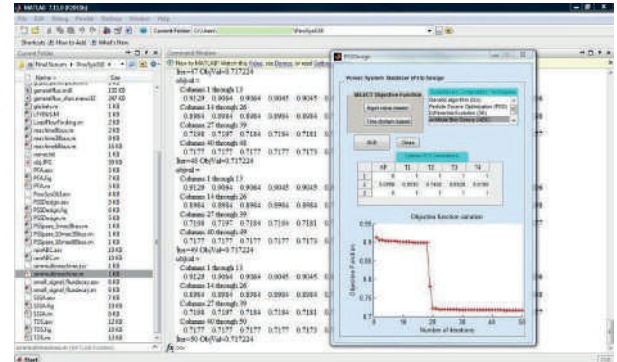
Şekil 9. Küçük işaret kararlılık sonuçları



Şekil 10. Zaman domeni simülasyon sonuçları

4.5. Örnek sistem için PSS tasarımı

3-makinalı 9-baralı sistem için, örnek teşkil etmesi açısından sezgisel optimizasyon tekniklerinden biri olan ABC algoritması ve öz-değer tabanlı amaç fonksiyonlarından biri olan $J = 1 - \zeta$, [4] kullanıldı. İstenilmesi durumunda diğer algoritmalar ve zaman domeni tabanlı diğer amaç fonksiyonları da tercih edilebilir. Bu tasarım aşamasında iterasyon sayısı 50 olarak seçildi ve katılım faktörü analizinden sadece 2 nolu makineye PSS tasarlanması yapıldı. Bu örnek sistemde optimize edilen parametre sayısı 5'tir. "RUN" sekmesine tıklanarak optimizasyon süreci başlatılır. Şekil 11'de ABC tekniği kullanılarak örnek güç sisteminin optimum PSS parametreleri tablo halinde verilmiştir. Bu modülün (PSSDesign) kullanılması diğer modüllerin (PFA, SSSA, TDS) kullanılmasından daha zordur ve iyi bir kullanıcı eğitimi gerektirmektedir.



Şekil 11: PSS tasarımı

5. SONUÇ

MATLAB tabanlı ve GUI özelliğini kullanan PowSysGUI paket programı; yük akışı analizi, küçük işaret kararlılık analizi, zaman domeni simülasyonu (geçici hal kararlılık analizi) ve bazı sezgisel optimizasyon teknikleri ile PSS tasarımı programları olmak üzere GUI tabanlı dört modülden oluşmaktadır. PowSysGUI programındaki modüller birbiriyle etkileşimli olarak çalışabilmektedir. PowSysGUI programıyla üzerinde çalışılacak sistemin sadece verileri yüklendikten sonra, istenilen analizler GUI alt programlarındaki menüler yardımıyla kolaylıkla yapılabilmektedir. PowSysGUI programındaki alt programların geçerliliği, etkinliği ve çalışma performansları elektrik güç sistemleri analizi kitaplarında oldukça kullanılan 3-makinalı 9-baralı güç sistemi ele alınarak incelendi. Çeşitli analiz sonuçlarından görüleceği gibi geliştirilen PowSysGUI programının güç sistemlerinde öğretici bir araştırma aracı olduğu kanıtlandı.

MATLAB ortamında çalışan PowSysGUI paket programı açık kaynak kodlu bir yazılımdır ve güç sistemlerinde kod yazmayı öğrenmek isteyenler bu programın içyapısını kolaylıkla görebilir. Özellikle eğitim ve araştırma amaçları için kullanılabilen PowSysGUI paket programı, üniversitelerde lisans ve yüksek lisans düzeyindeki güç sistemleri derslerini gören öğrencilerin ödev hazırlamalarında ve araştırmacıların tasarım projelerinde de kullanılabilir. Bu çalışmada geliştirilen PowSysGUI paket programına [9]'dan ulaşılabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Kundur, P., "Power system stability and control", **McGraw-Hill**, New York, (1994).
2. Demirören, A., ve Zeynelgil, H.L., "Elektrik enerji sistemlerinin kararlılığı kontrolü ve çalışması", **Birsen Yayınevi**, İstanbul, (2004)
3. Ekinci, S., Zeynelgil, H.L. and Demiroren, A., "A didactic procedure for transient stability simulation of a multi-machine power system utilizing SIMULINK", *International Journal of Electrical Engineering Education*, 53(1): 54-71, (2016).
4. Ekinci, S., "Çok makinalı güç sisteminde açılabilir kararlılık analizi ve kontrolör parametre Optimizasyonu", *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2015).
5. Ekinci, S. and Demiroren, A., "Transient stability simulation of multi-machine power systems using

- Simulink”, **IU-Journal of Electrical & Electronics Engineering**, 15(2): 1937-1944, (2015).
6. Sauer, P.W. and Pai, M.A. “Power system dynamics and stability”, **Prentice Hall**, New Jersey, (1998).
 7. Anderson, P.M. and Fouad, A.A., “Power system control and stability”, **Iowa State Univ. Press**, Ames, IA, (1977).
 8. Mondal, D., Chakrabarti, A., & Sengupta, A., “Power System Small Signal Stability Analysis and Control”, **Academic Press**, (2014).
 9. PowSysGUI, web.itu.edu.tr/demiroren/ (accessed 23 June 2017).

Sabit Mıknatıslı Senkron Makine İçin Hassas Moment Tahmininin Gerçekleştirilmesi

Realization of Precision Moment Estimation for Permanent Magnet Synchronous Machine

Ahmet Faruk BAKAN, Abdülkerim GÜNDOĞAN
fbakan@yildiz.edu.tr, kerimg@yildiz.edu.tr

Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü

Özet

Sabit mıknatıslı senkron makinalarda (PMSM) sabit mıknatısların oluşturduğu vuruğu momenti ve akı harmonikleri moment salınımlarına yol açmaktadır. Tıbbi cihazlar, savunma sanayi, uzay ve havacılık teknolojileri gibi hassasiyetin yüksek olduğu uygulamalarda moment dalgalanmalarını azaltmak oldukça önemlidir. Bu dalgalanmaları bastırmak için üretilen momentin doğru bir şekilde tahmin edilmesi gereklidir. Bu çalışmada PMSM’de meydana gelen moment dalgalanmalarını azaltmak için kontrol yöntemlerinde kullanılmak üzere momenti hassas bir şekilde tahmin edebilen bir analitik model önerilmiştir. Önerilen analitik modelde makinenin vuruğu momenti, rotor açısına bağlı olarak değişen endüktans ve akı değişimleri ile akı harmonik bileşenleri hesaba katılmıştır. Makine önce sonlu elemanlar programı *Maxwell* ile modellenerek parametre değişimleri tespit edilmiştir. Makinenin parametre değişimlerini hesaba katan analitik model *MATLAB/Simulink* yazılım paket programı ile simüle edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Moment Kontrolü, Hassas Moment Tahmini, PMSM, Moment Dalgalanmaları, Değişken Makine Parametreleri

Abstract

The cogging torque and flux harmonics of permanent magnets in permanent magnet synchronous machines (PMSM) lead to moment ripples. It is very important to reduce moment ripples in applications where precision is high, such as medical devices, defense industry, aviation and space technologies. In order to suppress these fluctuations, the generated moment must be accurately estimated. In this study, an analytical model is proposed which can estimate the moment accurately to be used in control methods to reduce torque ripples in PMSM. In the proposed analytical model, the stiction moment of the machine, the inductance and the flux changes depending on the rotor angle and the flux harmonic components are added to the calculator. The machine was first modeled with the finite element program *Maxwell* and parameter changes were determined. The analytic model that simulates the parameter changes of the machine is simulated with *MATLAB/Simulink* software package program.

1. Giriş

Sabit mıknatıslı senkron makinalar (PMSM) güç yoğunluğu, yüksek verim karakteristiği ve güvenilirlik gibi birçok nedenlerden dolayı yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir. Genel olarak moment dalgalanmaları, akı harmonikleri, vuruğu momenti, akım ölçümündeki hatalar, anahtarlama nedeniyle oluşan akım harmonikleri ve faz dengesizliği gibi problemlerden kaynaklanmaktadır. Moment dalgalanmaları sistemi olumsuz yönde etkiler ve servo uygulamaların performansını düşürür. Düşük hızlarda istenmeyen mekanik titreşimler, yüksek hızlarda ise akustik gürültü meydana getirir [1-4].

Moment dalgalanmalarını azaltmak için uygulanan teknikler makine tasarımındaki ve kontrol sistemindeki iyileştirmeler olmak üzere iki ana başlıkta ifade edilebilir [4,5].

Makine tasarımındaki iyileştirmeler, sabit mıknatısların manyetik tasarımı, bobin dağılımı, kayk, oluk-kutup kombinasyonları gibi tasarım kriterleri ile yapılabilmektedir. Moment dalgalanmalarının azaltılmasında motor tasarım teknikleri etkili olmakla birlikte vuruğu momenti tamamen ortadan kaldırılamamaktadır [6]. Tasarım teknikleri ile her zaman optimum sonuca ulaşılammakta, makine yapısında karmaşıklık oluşabilmekte ve üretim maliyeti de artabilmektedir.

Dalgalanmaları azaltmadaki bir diğer yaklaşım aktif kontrol tekniklerinin kullanılmasıdır. Burada makinenin moment dalgalanmaları PMSM’in matematiksel modeli kullanılarak tahmin edilir ve dalgalanmaları giderebilecek kontrol sinyalleri üretilir. Momentin harmonik bileşenlerini elimine etmek için önceden programlanmış stator akım formları kullanılabilir [7,8]. Bu yöntemde, PMSM parametrelerinin hassas bilgisi ve momentin dalgalanma karakteristikleri gereklidir. Parametrelerdeki küçük bir hata veya değişim, açık çevrim kontrolünde daha da yüksek bir moment dalgalanmasına neden olabilir. Açık çevrim kontrol şemasının uygulamadaki kısıtlamaları göz önüne alındığında, moment dalgalanmalarını azaltmak için çevrimiçi tahmin teknikleriyle, uyarlanabilir kontrol algoritması gibi alternatif yaklaşımlar da önerilmektedir [9,10].

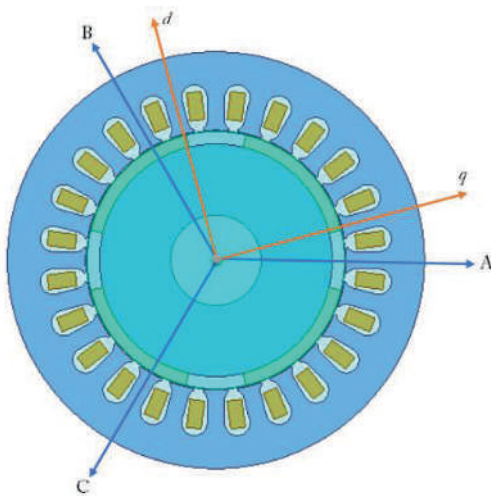
Moment kontrol yöntemlerinde genellikle elektriksel değişkenlere dayalı çevrimiçi moment tahmini kullanılmaktadır. Moment tahmini için literatürde çeşitli algoritmalar önerilmiştir [11-14]. Ancak mevcut moment kontrol modellerinin birçoğunda endüktansın harmonik bileşenleri ve vuru momentini gibi moment etkileyen bazı bileşenler ihmal edilmektedir [15]. Bundan dolayı bu tür modeller sadece belirli makineler için geçerli olabilmektedir. Buna ek olarak rotor konumuna bağlı akı değişim bilgisinin, vuru momentinin makine yapısına göre değişmesi ve bu değişimlerin ölçülmesinin zor olması nedeniyle uygun analitik modellerin kullanılması yaygınlaşmamıştır. [16]'da PMSM'in moment tahmini için bir yük momentini gözlemcisi kullanılmıştır. Bu teknik için moment, motor hızından türetilmektedir. Tahminin uygulanabilmesi için hassas hız ölçümünün yapılması ve sistem ataletinin önceden bilinmesi gereklidir.

Moment sensörleri kullanılarak üretilen moment anlık olarak ölçülebilir. Motorda meydana gelebilecek mekanik rezonanslar nedeniyle zamanla sensör doğrulukları bozulabilir ve sensör kullanımı pahalı bir yöntem olduğundan genellikle tercih edilmemektedir [17].

Aktif kontrol tekniklerinin uygulanmasında zorluklar oluşabilmektedir. Ancak kontrol sistemleri ile moment dalgalanmasının azaltılması motor tasarım tekniklerine göre daha fazla uygulanabilir. Bu çalışmada moment dalgalanmalarını bastırmak için tasarlanan aktif kontrol sistemlerinde kullanılmak üzere gelişmiş bir analitik moment tahmini yöntemi sunulmuştur. Modelin doğruluğu simülasyon programlarıyla test edilmiştir. Önerilen model sonlu elemanlar programının çıktıları ile bazı çevrimiçi ölçümleri kullanarak momentini doğru bir şekilde tahmin edebilmektedir [4].

2. Sabit Mıknatıslı Senkron Makinenin Matematiksel Modeli ve Moment Tahmini

Şekil 1'de analizde kullanılan PMSM modeli ile 3 faz a-b-c eksen takımı ve d-q eksen takımı gösterilmiştir.



Şekil 1: PMSM d-q eksen modeli

PMSM'in gerilim denklemleri 3 faz stator a-b-c eksen takımında aşağıdaki gibi ifade edilir. Burada $u_{a,b,c}$ faz-nötr gerilimlerini, $R_{a,b,c}$ stator sargı dirençlerini, $\lambda_{a,b,c}$ ise toplam akıları ifade etmektedir.

$$u_a = R_a i_a + \frac{d\lambda_a}{dt} \quad (1)$$

$$u_b = R_b i_b + \frac{d\lambda_b}{dt} \quad (2)$$

$$u_c = R_c i_c + \frac{d\lambda_c}{dt} \quad (3)$$

$$\lambda_a = L_{aa} i_a + L_{ab} i_b + L_{ac} i_c + \Psi_{Ma} \quad (4)$$

$$\lambda_b = L_{ba} i_a + L_{bb} i_b + L_{bc} i_c + \Psi_{Mb} \quad (5)$$

$$\lambda_c = L_{ca} i_a + L_{cb} i_b + L_{cc} i_c + \Psi_{Mc} \quad (6)$$

Burada toplam akılar öz ve karşıt endüktanslara bağlı olarak verilmiştir. $\Psi_{Ma,b,c}$ ise rotordaki sabit endüktansların stator sargılarında oluşturduğu akıları ifade etmektedir.

$$\Psi_{Ma} = \Psi_M \sin \theta_r \quad (7)$$

$$\Psi_{Mb} = \Psi_M \sin(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) \quad (8)$$

$$\Psi_{Mc} = \Psi_M \sin(\theta_r + \frac{2\pi}{3}) \quad (9)$$

Rotor açısına bağlı olarak sabit mıknatısların stator oluşturduğu akı ve endüktansların ani değerleri değişmektedir. Modelde bu değişimler dikkate alınmalıdır. Makinenin doyuma girmedigi, eddy akımı ile histerezis kayıplarının ihmal edildiği durumda senkron referans eksen takımında PMSM'in stator d-q gerilim denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$u_d = R i_d + \frac{d\lambda_d}{dt} - \omega_e \lambda_q \quad (10)$$

$$u_q = R i_q + \frac{d\lambda_q}{dt} + \omega_e \lambda_d \quad (11)$$

Burada $\lambda_d = L_d i_d + \Psi_{Md}$ ve $\lambda_q = L_q i_q + \Psi_{Mq}$ d-q eksenindeki toplam akıları ifade etmektedir. Ψ_{Md} ve Ψ_{Mq} sabit mıknatıs akılarını, ω_e ise elektriksel olarak açısal hızı göstermektedir.

Yüzey mıknatıslı senkron makinede ideal olarak L_d ve L_q endüktansları birbirine eşit kabul edilir. Ancak bu değerler rotor konumuna bağlı olarak değişmektedir. Bundan dolayı ideal tahmin yöntemleri pratikte geçerli olamamakta, ideal olmayan makine modelleri için tam olarak bir doğruluk sağlayamamaktadır.

Tork eşitliğinin genel ifadesi (12) nolu denklemde verilmiştir. Yukarıda ifade edilen kabullerle birlikte alan yönlendirmeli kontrol (FOC) uygulanarak makinenin d eksenindeki akımının sıfırda tutulduğu kabul edilirse λ_d ifadesi (12) nolu denklemde yerine yazıldığında (13) elde edilir. p çift kutup sayısıdır.

$$T_e = \frac{3}{2} p (\lambda_d i_q - \lambda_q i_d) \quad (12)$$

$$T_e = \frac{3}{2} p (L_d i_d + \Psi_{Md}) i_q \quad (13)$$

(13) nolu denklem ideal bir makine için geçerlidir. Pratikte yeteri kadar doğru sonuç verememektedir. Özellikle moment dalgalanmaları açısından yetersiz kalmaktadır.

Moment dalgalanmalarının başlıca nedenleri arasında vuruğu momenti, akı harmonikleri ve akım ölçüm hataları bulunmaktadır. Vuruğu momenti manyetik akı ile stator olukları arasındaki etkileşimden kaynaklanır. Stator yuvalarının ve rotor kutup çiftlerinin sayısına bağlı olarak rotor pozisyonunun periyodik bir fonksiyonu şeklinde modellenilebilmektedir [18].

Moment dalgalanmalarının bir diğer sebebi akı harmonikleridir. Kalıcı mıknatıslar ve stator akımları arasındaki halkalanan akı, hava boşluğundaki sinüzoidal olmayan akı yoğunluğu dağılımından dolayı, a - b - c ekseninde 3, 5, 7, 11,... nolu harmonikleri içerir [19]. Bu harmonikler d - q ekseninde altı ve altının katları şeklinde ortaya çıkar. λ_d aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$\lambda_d(\theta_e) = \lambda_0 + \lambda_{d6} \cos(6\theta_e) + \lambda_{d12} \cos(12\theta_e) + \dots \quad (14)$$

Burada $\lambda_0 = \Psi_M$ rotordaki sabit mıknatıs akısıdır. $\lambda_{d6}, \lambda_{d12}, \dots$ sabit mıknatıs akısına bağlı katsayılar ve θ_e elektriksel açıdır.

(14) denklemi (13)'te yerine yazılırsa

$$T_e = T_0 + T_6 \cos(6\theta_e) + T_{12} \cos(12\theta_e) + \dots \quad (15)$$

elde edilir. Sinüzoidal olmayan akı dağılımından kaynaklanan harmonikler, θ_e 'ye bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.

Bunlara ek olarak akım ofsetleri ve kazanç hataları da, momentin belirli frekanslarda salınmasına neden olur [20,21]. Akım ölçümünde DC ofsetler temel frekansta moment salınımına neden olurken, kazanç hataları momentin temel frekansın iki katında salınmasına neden olur [1]. Bu etkenler, elektromanyetik momentin, temel bileşenin yanında 1, 2, 6, 12,... nolu harmonikleri içerdiğini de göstermektedir. Literatürde bu periyodik moment dalgalanmalarını azaltmak için birçok çalışma yapılmıştır.

Geleneksel metotlar stator sargılarında depolanan enerjiden dolayı üretilen moment bileşeni ve vuruğu momenti bileşenini ihmal ederek moment tahmini yapmaktadır. Ancak bu bileşenlerin etkisi özellikle hassas uygulamalarda makine yapısına bağlı olarak etkili olabilmekte ve moment dalgalanması üzerinde etkileri görülmektedir. Bu analizde bu bileşenler de hesaba katılmıştır.

Bir elektrik makinesi tarafından üretilen elektromanyetik moment ifadesi manyetik ko-enerji'nin (W_f'), elektriksel açıya (θ_e) göre türevidir [4].

Manyetik enerji ve manyetik ko-enerji makinedeki hava aralığında dalgalanır. Manyetik akı yoğunluğu da bu enerjiye bağlıdır. Moment, ko-enerjiye bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$T_e = p \frac{dW_f'}{d\theta_e} \quad (16)$$

Sabit mıknatıslı senkron bir makinede W_f' ifadesi aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır.

$$W_f' = W_{fI}' + W_{fIM}' + W_{fM}' \quad (17)$$

Burada I indisi stator akımını, IM indisi stator akımı ve sabit mıknatıs arasındaki etkileşimi, M indisi ise sabit mıknatıs akısını ifade etmektedir. (16) ve (17) eşitlikleri kullanılarak

$$T_e = p \left[\frac{dW_{fI}'}{d\theta_e} + \frac{dW_{fIM}'}{d\theta_e} + \frac{dW_{fM}'}{d\theta_e} \right] \quad (18)$$

elde edilir. $\frac{dW_{fI}'}{d\theta_e}$ stator sargılarında depolanan enerjiden elde edilen moment ifadesini verir ve W_{fI}' aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$W_{fI}' = \frac{1}{2} [i_a \quad i_b \quad i_c] \begin{bmatrix} l_{aa}(\theta_e) & l_{ab}(\theta_e) & l_{ac}(\theta_e) \\ l_{ab}(\theta_e) & l_{bb}(\theta_e) & l_{bc}(\theta_e) \\ l_{ca}(\theta_e) & l_{bc}(\theta_e) & l_{cc}(\theta_e) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (19)$$

$\frac{dW_{fIM}'}{d\theta_e}$ stator sargıları ile rotordaki sabit mıknatısların karşılıklı endüktanslarında depolanan enerjiden elde edilen moment ifadesini verir. W_{fIM}' aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$W_{fIM}' = [i_a \quad i_b \quad i_c] \begin{bmatrix} \Psi_{Ma} \\ \Psi_{Mb} \\ \Psi_{Mc} \end{bmatrix} \quad (20)$$

$\frac{dW_{fM}'}{d\theta_e}$ ise mıknatısların oluşturduğu ko-enerji'den elde edilen moment değerini verir. Bu değer vuruğu momentine eşittir.

$$\frac{dW_{fM}'}{d\theta_e} = T_{cog} \quad (21)$$

Moment dalgalanmasına yol açan bir diğer etken de akılardaki harmoniklerdir. Endüktans matrisi ($[L_T]$) ve mıknatısların statorda oluşturduğu akı bileşenleri ($[\Psi_{Mabc}]$) harmonik ve temel bileşenler olarak (22)'te verilmiştir.

$$T_e = p \left[\frac{1}{2} [i_a \quad i_b \quad i_c] \frac{d[l_{Habc}]}{d\theta_e} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \frac{1}{2} [i_a \quad i_b \quad i_c] \frac{d[l_{Fabc}]}{d\theta_e} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + [i_a \quad i_b \quad i_c] \frac{d[\Psi_{MHabc}]}{d\theta_e} + [i_a \quad i_b \quad i_c] \frac{d[\Psi_{MFabc}]}{d\theta_e} \right] + T_{cog} \quad (22)$$

Yukarıdaki temel bileşenlerin toplamı toplam akı $\Psi_{MFa,b,c}$ ve stator akımları $i_{a,b,c}$ 'nin vektörel çarpımına eşittir. (22) nolu eşitlik düzenlenerek (23) nolu denklem elde edilir.

$$T_e = p \left[\frac{1}{2} [i_a \quad i_b \quad i_c] \frac{d[l_{Habc}]}{d\theta_e} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + [i_a \quad i_b \quad i_c] \frac{d[\Psi_{MHabc}]}{d\theta_e} + \begin{bmatrix} \Psi_{MFa} \\ \Psi_{MFb} \\ \Psi_{MFC} \end{bmatrix} \times [i_a \quad i_b \quad i_c] \right] + T_{cog} \quad (23)$$

Üç faz eksenindeki denklemler d - q eksenine dönüştürülerek

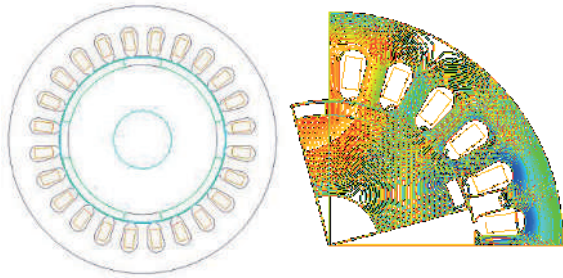
$$T_e = p \left[\frac{1}{2} [i_d \quad i_q] \frac{d \begin{bmatrix} l_q^0 \\ 0 \quad l_q \end{bmatrix}}{d\theta_e} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + [i_d \quad i_q] \frac{d \begin{bmatrix} \Psi_{Md} \\ \Psi_{Mq} \end{bmatrix}}{d\theta_e} + \begin{bmatrix} \Psi_{Md} \\ \Psi_{Mq} \end{bmatrix} \times [i_d \quad i_q] \right] + T_{cog} \quad (24)$$

elde edilir. Burada $\frac{d[l_{Habc}]}{d\theta_e} = \frac{d[l_{dq}]}{d\theta_e}$ ve $\frac{d[\Psi_{MHabc}]}{d\theta_e} = \frac{d[\Psi_{Mdq}]}{d\theta_e}$ olarak tanımlanır. $[l_{dq}]$ ve $[\Psi_{Mdq}]$ 'nin temel bileşenleri ise sabittir. Çünkü temel bileşenler θ_e açısı ile senkronizedir. $\Psi_{Mq} = 0$ ve $\Psi_{Md} = \Psi_M$ yani sabit mıknatıs akısına eşittir [4].

3. Analiz ve Simülasyon Sonuçları

Çalışmada yüzey mıknatıslı senkron makine modeli kullanılmıştır. Analitik modelin doğruluğunun gözlemlenmesi için makine, sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan *Maxwell* programında analiz edilmiştir. Analizde PMSM manyetik doyuma ulaşmamaktadır. Şekil 2 ve Tablo 1’de makine modeli ve parametre değerleri verilmiştir.

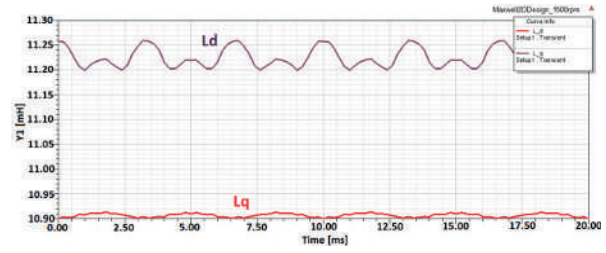
Makine 100 d/dk ve 1500 d/dk hızlar için farklı akım değerlerinde iki ayrı durum için analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Şekil 3-10’da gösterilmiştir.



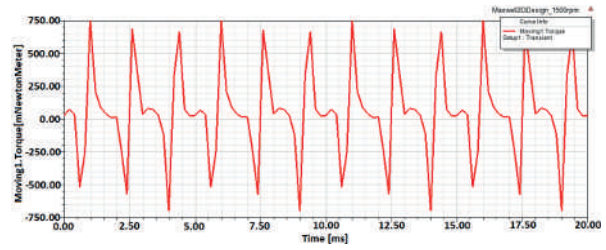
Şekil 2: Yüzey mıknatıslı makine modeli

Tablo 1: Tasarım programından elde edilen makine parametreleri

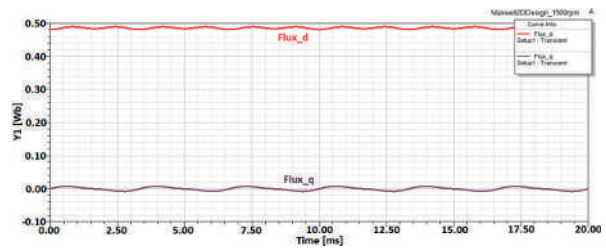
Tanımlar	Değerler
Nominal Güç	0.55 kW
Nominal Hız	1500 rpm
Stator Direnci	1.65 ohm
d Eksen Endüktansı	11.6 mH
q Eksen Endüktansı	11.6 mH
Kutup Sayısı	4
Mıknatıs Akısı	0.48 Wb



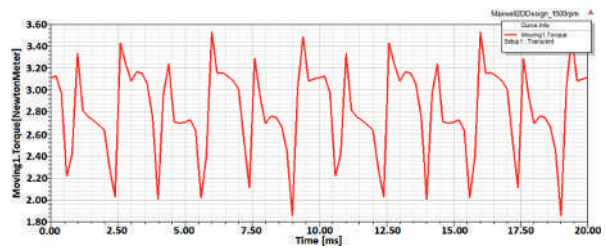
Şekil 3: 1500 d/dk hızdaki endüktans değişimleri



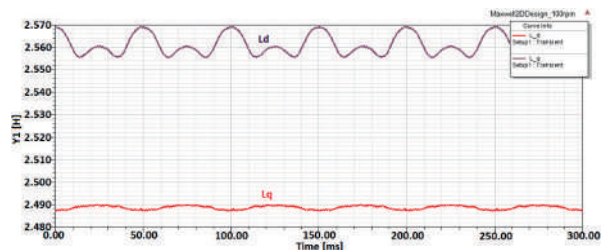
Şekil 4: 1500 d/dk'da vuruğu momenti



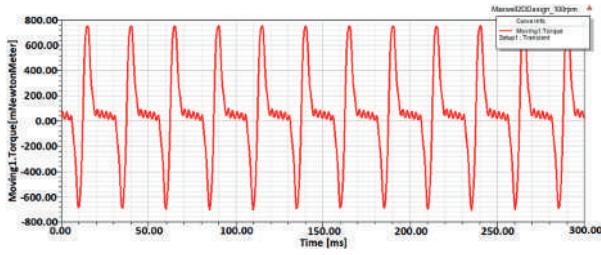
Şekil 5: 1500 d/dk'da akı değişimleri



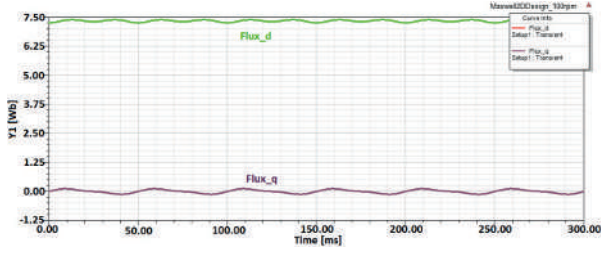
Şekil 6: 1500 d/dk'da PMSM'den üretilen moment



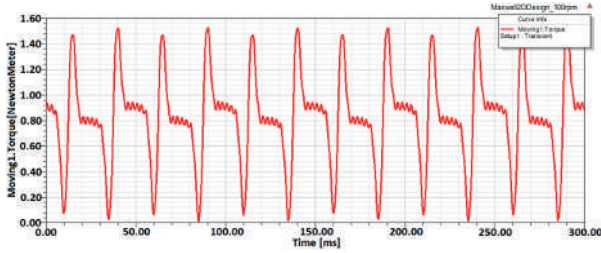
Şekil 7: 100 d/dk'da endüktans değişimleri



Şekil 8: 100 d/dk'da vurutu momenti



Şekil 9: 100 d/dk'da akı değişimleri



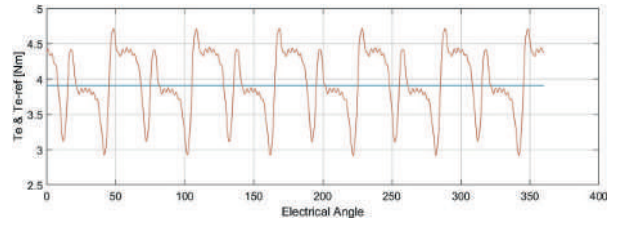
Şekil 10: 100 d/dk'da PMSM 'den üretilen moment

PMSM'in analiz sonuçlarında değişimlerin periyodik olduğu görülmektedir. Dalgalanmalar da büyük ölçüde bu değişimlerden kaynaklandığı için üretilen moment periyodik olarak salınmaktadır. Makinenin $L_{d,q}$ değeri, akı değişimleri ve vurutu momenti bilindiğinde yukarıda ifade edilen analitik model etkin sonuçlar vermektedir. Modelin doğruluğu *MATLAB/Simulink* programında yapılan simülasyonlarla gösterilmiştir.

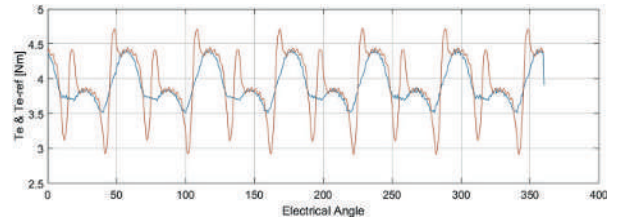
Sonlu Elemanlar yöntemi ile yapılan analiz sonucunda elde edilen parametre değişimlerinin verileri analitik modelde kullanılmak üzere *MATLAB/Simulink* programına aktarılmıştır.

Şekil 11-14'de 1500d/dk ve 100 d/dk hızlarda makinenin, sonlu elemanlar yöntemi sonucu ürettiği moment turuncu ile gösterilmiştir.

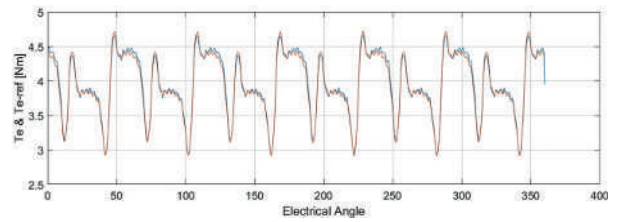
Şekil 11'de (13) nolu klasik moment denklemi kullanılarak yapılan tahmin sonucu mavi ile simüle edilmiştir. Simülasyon sonucundan da görüldüğü üzere klasik yöntem momentin ortalama değerini doğru olarak bulmakta fakat dalgalanma konusunda bir bilgi vermemektedir.

Şekil 11: 1500 d/dk hızda PMSM 'in ürettiği moment ve (13) nolu ideal moment denklemi ile *MATLAB/Simulink*'te yapılan tahmin karşılaştırması

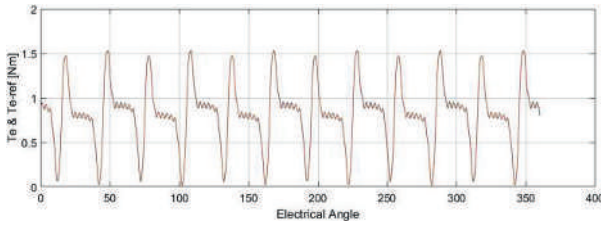
Şekil 12'de endüktans ve akı değişimlerinin dikkate alındığı ancak vurutu momentinin ihmal edildiği model kullanılarak yapılan tahmin mavi ile gösterilmiştir. Bu model ile de üretilen momentin takip edilmeye çalışıldığı ancak tam olarak doğru tahminin yapılamadığı gözlemlenmektedir.

Şekil 12: 1500 d/dk hızda PMSM 'in ürettiği moment ve vurutu momenti ihmal edilerek *MATLAB/Simulink*'te yapılan tahmin karşılaştırması

Şekil 13'te parametre değişimlerinin ve vurutu momentinin dikkate alınması sonucunda (24) nolu denklem ile yapılan tahmin mavi ile gösterilmiştir. PMSM tarafından üretilen momentin, klasik yöntemlere göre çok daha doğru bir şekilde tahmin edilebildiği gözlemlenmektedir.

Şekil 13: 1500 d/dk hızda PMSM 'in ürettiği moment ve analitik model ile *MATLAB/Simulink*'te yapılan tahmin karşılaştırması

Önerilen analitik modelin farklı hızlardaki doğruluğunu göstermek adına 100 d/dk hız değerinde de karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 14'te (24) nolu denklem kullanılarak yapılan tahmin sonucu mavi ile gösterilmektedir. Simülasyon sonucundan da görüldüğü üzere 100 d/dk hızda üretilen moment değeri de doğru bir şekilde tahmin edilebilmektedir.



Şekil 14: 100 d/dk hızda üretilen moment ve analitik model ile MATLAB/Simulink'te yapılan tahmin karşılaştırması

4. Sonuç

Bu çalışmada motor momentinin doğru tahmin edilebilmesi için önce sonlu elemanlar yöntemi ile parametre değişimleri ve vuruş momentini değişiminin analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları moment tahmin eşitliğinde kullanılarak moment hesabı yapılmıştır. Tahmin sonuçları ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Momentteki dalgalanmanın doğru olarak tahmin edilebilmesi kontrol algoritmaları ile bu dalgalanmaları giderecek ve makinanın servo kontrol performansını artıracak yöntemlerin geliştirilmesine imkân sağlayacaktır.

Simülasyon sonuçlarının sonlu elemanlar yöntemi ile benzer sonuçlar ürettiği görülmüştür. Klasik moment eşitliği ile karşılaştırıldığında parametre değişimlerinin hesaba katıldığı moment tahmin yönteminin çok daha doğru sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Weizhe Qian, Sanjib K.Panda, and Jian-Xin Xu, "Torque ripple minimization in PM synchronous motors using iterative learning control", *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol.19, no. 2, pp.272-279, Mar. 2004.
- [2] J.A. Güemes, A.A. Iraolagoitia, J.J. Del Hoyo, and P. Fernández, "Torque Analysis in Permanent-Magnet Synchronous Motors: A Comparative Study," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 26, no. 1, pp. 55-63, Feb. 2011.
- [3] A. Gebregergis, M. Chowdhury, M. Islam, and T. Sebastian, "Modeling of Permanent Magnet Synchronous Machine including Torque Ripple Effects," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 51, no. 1, pp. 232-239, Jan. 2015.
- [4] Noriya. Nakao, Kan. Akatsu, "Suppressing Pulsating Torques: Torque Control for Synchronous Motors," *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 20, no. 6, pp. 33-44, Sep. 2014.
- [5] T. M. Jahns and W. L. Soong, "Pulsating torque minimization techniques for permanent magnet ac drives - A review," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 43, pp. 321-330, Apr. 1996.
- [6] C. Studer, A. Keyhani, T. Sebastian, and S. K. Murthy, "Study of cogging torque in permanent magnet machines," in *Proc. IEEE 32nd Ind. Appl. Soc. (IAS) Annu. Meeting*, vol. 1, New Orleans, LA, Oct. 1997, pp. 42-49.
- [7] J. Y. Hung and Z. Ding, "Design of currents to reduce torque ripple in brushless permanent magnet motors," *Proc. Inst. Elect. Eng. B*, vol. 140, no. 4, pp. 260-266, 1993.
- [8] D. C. Hanselman, "Minimum torque ripple, maximum efficiency excitation of brushless permanent magnet motors," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 41, pp. 292-300, June 1994.
- [9] J. Holtz and L. Springob, "Identification and compensation of torque ripple in high-precision permanent magnet motor drives (Invited paper)," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 43, pp. 309-320, Apr. 1996.
- [10] V. Petrovic, R. Ortega, A. M. Stankovic, and G. Tadmor, "Design and implementation of an adaptive controller for torque ripple minimization in PM synchronous motors," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 15, pp. 871-880, Sept. 2000.
- [11] T. S. Low, T. H. Lee, K. J. Tseng, and K. S. Lock, "Servo performance of a BLDC drive with instantaneous torque control," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 28, pp. 455-462, Apr. 1992.
- [12] N. Matsui, T. Makino, and H. Satoh, "Autocompensation of torque ripple of direct drive motor by torque observer," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 29, pp. 187-194, Feb. 1993.
- [13] S. K. Chung, H. S. Kim, C. G. Kim, and M.-J. Youn, "A new instantaneous torque control of PM synchronous motor for high-performance direct-drive applications," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 13, pp. 388-400, May 1998.
- [14] F. Colamartino, C. Marchand, and A. Razeq, "Torque ripple minimization in permanent magnet synchronous servodrive," *IEEE Trans. Energy Conv.*, vol. 14, pp. 616-621, Sept. 1999.
- [15] S. Clenet, Y. Lefevre, N. Sadowski, S. Astier, and M. Lajoie-Mazenc, "Compensation of permanent magnet motors torque ripple by means of current supply waveshapes control determined by finite element method," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 29, no. 2, pp. 2019-2023, Mar. 1993.
- [16] N. Matsui, T. Makino, and H. Satoh, "Auto-compensation of torque ripple of DD motor by torque observer," in *Proc. IEEE Industry Applications Society Annu. Meeting, Dearborn, MI*, Sept. 1991, pp. 305-311.
- [17] K. Nakamura, H. Fujimoto, and M. Fujitsuna, "Torque ripple suppression control for PM motor with high bandwidth torque meter," in *Proc. IEEE Energy Conversion Congr. Expo., San Jose, CA*, Sept. 2009, pp. 2572-2577.
- [18] L. Zhu, S.Z. Jiang, Z.Q. Zhu, and C.C. Chan, "Analytical methods for minimizing cogging torque in permanent-magnet machines," *IEEE Trans. on Magnetics*, vol. 45, no. 4, pp. 2023-2031, Apr. 2009.
- [19] Weizhe Qian, S.K.Panda, and J.ianxin.Xu, "Speed ripple minimization in PM synchronous motor using iterative learning control," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 20, no. 1, pp. 53-61, Mar. 2005.
- [20] Jing Liu, Hongwen Li, Yongting Deng, "Torque Ripple Minimization of PMSM based on Robust ILC via Adaptive Sliding Mode Control", *IEEE Trans. on Power Electronics*, DOI 10.1109/TPEL.2017.2711098
- [21] D.W. Chung and S. K. Sul, "Analysis and compensation of current measurement error in vector-controlled ac motor drives," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 34, pp. 340-345, Mar./Apr. 1998.

Oyun Motoru Kullanılarak Sanal Prototipleme Altyapısı : Augmea Immersive Platform™

Ali Mehmet Altundağ¹, Luke Edwards¹, Cihan Demirkan¹, Orhan Aksoy¹

¹ Augmea Simülasyon Teknolojileri A.Ş., İstanbul, Türkiye
{mehmet.altundag, luke.edwards, cihan.demirkan, orhan.aksoy}@augmea.com

Özet: İnteraktif tasarım yönteminin bir parçası olarak, ürün modelleme sürecinin sonucunda ürün prototipinin ortaya çıkabilmesi için günümüzde sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik gibi ileri prototipleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bunun sonucu olarak, sanal prototipleme, tasarım optimizasyonu, çalışma alanı analizi ve simülasyonu, yeniden yapılandırılabilir üretim sistemi ve yapısal tasarım ve analiz fonksiyonlarını gerçekleştirmek için tasarım ve analiz süreçlerini bütünleştirerek ürün tasarım sürecini hızlandırabilmekte ve ürün maliyetini düşürebilmektedir. Bu hedefe yönelik olarak, henüz analiz aşamasında olan “İşbirlikli Mühendislik ve Sanal Prototipleme Platformu” projesinde ilk olarak “Sanal Gerçeklik Ortamında Montaj/De-montaj” uygulaması gerçekleştirilmiş, AIP altyapısı, geliştirilen uygulama ve sanal gerçeklik donanımı üzerinden bu senaryonun gerçekçi olarak uygulanabildiği ve daha karmaşık senaryolarda kullanılabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sanal Gerçeklik, Oyun Motoru, İnteraktif Tasarım, AIP

1. Giriş

Tüketicilerin yüksek kalitede, düşük fiyatlı ve özelleştirilmiş ürünler talep ettiği çağımızda, artık üretici firmalar arasındaki rekabet sadece fiyatlarda değil, aynı zamanda ürün çeşitliliği ve piyasaya sürme sürelerinde olmaktadır. Ürünlerin özelleştirilmesi ürün çeşitliliğinin artmasına, dolayısıyla tasarımların ve üretim süreçlerinin farklılaşmasına sebep olmaktadır. Bu durum, çok sayıda üretim yaparak maliyeti düşürme stratejisi ile ters düşmektedir. Bu çatışmayı ele alabilmek için, ürün tasarımcılarının, ürünler daha fikir aşamasındayken üretim, kalite ve test süreçlerinden geri bildirim alabilmeleri çok önemlidir [1].

Bu ihtiyacı karşılamak üzere, üretim süreçlerinin sıralı olarak gerçekleştirilmesine dayalı geleneksel yöntemler artık yerini eş zamanlı mühendisliğe (*İng.: Concurrent Engineering*) bırakmıştır. Bu yöntemde üretim süreçleri aynı anda yürütülmekte, böylece tasarım aşamasında, bir yandan ürün fonksiyonlarının mekân, kararlılık ve estetik yönlerden değerlendirilebilmesi, diğer yandan da üretim ve montaj gibi ürün yaşam döngüsü süreçlerinin değerlendirilebilmesi mümkün olmaktadır [2], [3], [4], [5]. Ürün daha fikir aşamasındayken ürünün kendisinin ve üretim süreçlerinin optimize edilebilmesi de ürün maliyeti-çeşitliliği arasındaki çelişkinin çözümlenmesine yardım etmektedir.

Tasarım ve üretim süreçlerinin bu şekilde birleşmesinin sonucu olarak, ürün modelleyicilerinin artık sadece ürün geometrisini değil üretimle ilgili bilgileri de ele almaları gerekmektedir. Ürün modelleme, interaktif süreç planlama, CNC programlama, maliyet mühendisliği, üretilebilirlik değerlendirilmesi ve hatta parça işleme simülasyonları aynı uygulama uzayında gerçekleştirilebilmektedir [6]. Özellik tabanlı mühendislik (*İng.: Feature-Based Engineering*), tüm bu faaliyetlerin ihtiyaç duyduğu bilgilerin aynı ortamda bir araya getiren CAD, CAM, CAPP uygulamalarının gerçekleştirilebilmesine önyak olmuştur [7].

İnteraktif tasarım yönteminin bir parçası olarak, ürün modelleme sürecinin sonucunda ürün prototipinin ortaya çıkabilmesi için günümüzde sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik gibi ileri prototipleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, ürün tasarım ve üretiminde daha iyi karar vermeyi sağlayabilmek üzere karmaşık simülasyon ve çok duyuya yönelik etkileşimler (*İng.: Multi-sensory interaction*) gerçekleştirirler [8]. Bunun sonucu olarak, sanal prototipleme, tasarım optimizasyonu, çalışma alanı analizi ve simülasyonu, yeniden yapılandırılabilir üretim sistemi ve yapısal tasarım ve analiz fonksiyonlarını gerçekleştirmek için tasarım ve analiz süreçlerini bütünleştirerek ürün tasarım sürecini hızlandırabilmekte ve ürün maliyetini düşürebilmektedir [9].

Otomotiv sanayiinde, tamamıyla yeni bir aracın sıfırdan yaratılmasının 1-6 milyar dolar arasında olduğu düşünüldüğünde [10], fikir aşamasındaki bir aracın deneyimini sanal bir ortamda yaşatabilmek, oldukça verimli bir yöntem olarak düşünülebilir. Sanal ortamda yaşanan tecrübenin gerçeğe oldukça yakın olmasını sağlayabilecek teknoloji (foto-gerçekçi desenler, gerçekçi ışıklandırma ve gerçek zamanlı gölgeler gibi), günümüzde, 2010 ESA verilerine göre yıllık 25,1 milyar dolarlık bilgisayar oyun endüstrisi tarafından desteklenen oyun motorlarında mevcuttur.

Yürütülmekte olan sanal gerçeklik-sanal prototipleme çalışmalarından biri, halen analiz aşaması devam etmekte olan “İşbirlikli Mühendislik ve Sanal Prototipleme Platformu” projesi olup otomotiv sanayi ve taşıt araçları yan sanayine yönelik, “Sanal Gerçeklik” kavramını, tekniklerini ve teknolojilerini içeren ve aynı anda birden fazla tasarımcının, mühendisin veya ilgili kullanıcının sanal ortamda aynı 3B CAD montaj modeli üzerinde, montaj parçaları ile etkileşimli bir şekilde ve aynı zamanda yine sanal ortamda birbirleriyle işbirliği yaparak “Sanal Prototipleme” amaçlı tasarım ve mühendislik çalışmaları yapabildikleri bir yazılım/donanım platformunun geliştirilmesini kapsamaktadır.

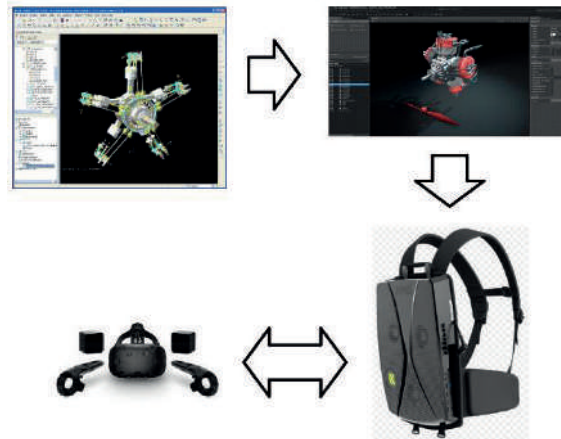
Bu bildiriye, CryEngine oyun motoru altyapısı üzerinde geliştirilmiş *Augmea Immersive Platform (AIP)* kullanılarak “İşbirlikli Mühendislik ve Sanal Prototipleme Platformu” projesi kapsamında geliştirilen “Sanal Gerçeklik Ortamında Montaj/De-montaj” uygulaması tanıtılmaktadır. İkinci bölümde, geliştirilen uygulamanın gereksinim ve tasarım bilgileri verilmiş, üçüncü bölümde bir uçak motoru montajında elde edilen tecrübe ve karşılaşılan zorluklar açıklanmıştır. Dördüncü bölümde yapılan çalışmadan çıkarılan sonuç ve planlanan çalışmalar verilmiştir.

2. AIP Sanal Montaj: Fonksiyonlar ve Tasarım

Uygulamayı başlıca hedefi, kullanıcının üzerinde çalıştığı prototipi taktığı sanal gerçeklik gözlüğü ile üç boyutlu olarak gözlemlenmesi, sanal ortamda hareket ederek farklı açı ve mesafelerden prototipe bakabilmesi, prototiple etkileşebilmesi ve kullanıcının içinde bulunduğu sanal ortamın inandırıcı olabilmesidir. Kullanıcının prototiple etkileşiminden, bir parçanın uygun yere doğru bir şekilde montajı ve de-montajı için gereken operasyonlar ifade edilmektedir.

Kullanıcının içerisinde bulunduğu sanal ortamın inandırıcı olabilmesi için ihtiyaç duyduğu özelliklerin belirlenmesinde sezgisel değerlendirme yöntemleri kullanılabilir [11]. Bu özelliklerden doğal meşguliyet (*İng.: Natural Engagement*), aslına uygun görüş (*İng.: Faithful Viewpoint*) ve mevcudiyet (*İng.: Sense of Presence*) hislerinin gerçeğe yakınlığı, kullanıcıya sunulan görüntünün gerçekçiliği (örneğin foto-gerçekçi görüntüler), canlandırılan dünyadaki fiziksel olayların gerçekçiliği ve kullanıcının gerçek dünyadaki hareketleriyle sanal dünya arasındaki tutarlılık ile doğru orantılıdır.

Bilgisayar oyunlarının 30 yılı aşan tarihsel gelişiminde bilgisayar bilimlerinin birçok alt çalışma alanından (algoritmalar, veri yapıları, yazılım mühendisliği, bilgisayar grafikleri, yapay zekâ gibi) ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerden (geometrik işlem yapmaya özelleşmiş grafik kartları, sanal gerçeklik gözlükleri gibi) faydalanılmış, hatta bu bilim ve teknoloji alanları oyun endüstrisi tarafından yönlendirilmiştir. Oyun teknolojisinin günümüzde vardığı noktada karşıladığı gereksinimler, sanal dünyanın inandırıcılığı için ihtiyaç duyulan özelliklerle büyük ölçüde örtüşmektedir. Bu bağlamda AIP mimarisinin tasarımı ve geliştirilmesi sırasında oyun sektöründeki kazanımlardan faydalanılmasına karar verilmiş ve AIP mimarisi bir oyun motoru altyapısı kullanılarak tasarlanmıştır. Bu projede kullanılan bileşenler Şekil 2-1’de görülebilir:



Şekil 2-1 Proje Bileşenleri

2.1. Fonksiyonel Özellikler

2.1.1. Genel

- Sistem, CAD verisini sağlanan bir prototip cihazı sanal gerçeklik gözlüğü üzerinden kullanıcı tarafından tasarlanabilecek bir ortamda gerçekçi olarak göstermektedir.

- Sistem, kullanıcının sanal ortamda hareket etmesine, yön değiştirmesine, prototip cihaza istediği uzaklıktan ve açıdan bakmasına olanak sağlamaktadır.
- Sistem, kullanıcının kontrol cihazları kullanarak prototip cihaz üzerinde montaj ve de-montaj operasyonları yapmasına imkân vermektedir.

2.1.2. Kullanıcı Etkileşimi

- Kullanıcı, elinde tuttuğu bir kontrol cihazının konumunu ve yönünü değiştirerek sanal dünyada prototip ile etkileşeceği bir ara yüzü konumlandırabilmekte ve yönlendirebilmektedir.
- Kullanıcı, kontrol cihazının tetiğine basarak prototip üzerindeki elemanları tutma ve bırakma işlemlerini yapabilmektedir.
- Kullanıcı, prototip üzerinde tuttuğu bir parçayı yerinde sökebilmekte, aynı veya uygun bir başka yere takabilmektedir.
- Kullanıcı, tuttuğu parçayı kontrol cihazını yönlendirerek çevirebilmekte, konumunu değiştirebilmekte, istediği açıdan ve uzaklıktan bakabilmektedir.

2.1.3. CAD Verilerinin Kullanımı

- Sistem, CAD verilerini kullanarak bir kullanıcının görsel modeli oluşturmasına imkân vermektedir. Model oluşturulurken nesnenin boyutları yanında ağırlık gibi fiziksel özellikleri de aktarılmaktadır.
- Sistem, CAD verilerine uygun olarak malzeme bilgilerinin de görsel modele uygulanmasına imkân vermektedir. Böylece, deri, çizilmiş, hatta eskimiş bir metal yüzeyi, ahşap dokusu gibi ışıkla birbirinden farklı şekilde etkileşen yüzeylerin doğru şekilde gösterilmesini sağlamaktadır.
- Sistem, CAD modeldeki parçalar arasındaki hiyerarşinin görsel modelde de kurulmasına imkân vermekte, parçalar arasındaki montaj uyumluluğunun oluşturulmasını, böylece, örneğin, aynı özelliklere sahip bir vidanın prototipin farklı yerlerine takılabilmesini sağlamaktadır.

2.1.4. Fizik

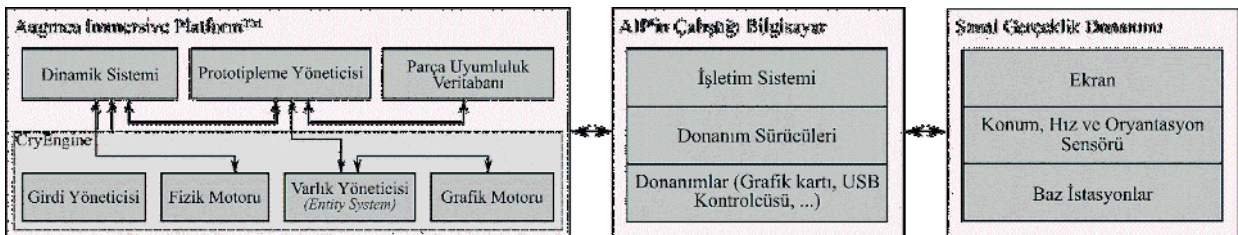
- Sistem nesnelerin kullanıcı tarafından bir ilk hız verildikten sonra yerçekimi etkisi altındaki hareketini gerçekçi olarak uygulayacaktır.
- Sistem, nesnelere arasında ve nesne-ortam arasındaki çarpışma etkilerini gerçekçi olarak uygulayacaktır (hareket sonrasında sekme, kayma, yuvarlanma gibi).

2.1.5. Sanal Ortam

- Sistem, kullanıcının içinde hareket ettiği, prototipi incelediği ortamın tasarlanabilmesine imkân sağlamaktadır (laboratuvar, atölye gibi).
- Sistem, kullanıcının sanal ortamın görüntüsü ve fizik dinamiklerini istediği gibi ayarlayabilmesine imkân sağlamaktadır (uzayda yerçekimsiz ortamlar gibi).

2.2. Tasarım

Sistemin, oyun motoru altyapısı ile entegre olarak gerçekleştirdiği fonksiyonlar Şekil 2-2'de görülebilir.



Şekil 2-2 AIP Sanal Montaj Uygulaması Bileşenleri

2.2.1. Girdi Yöneticisi

Farklı marka ve modellerde çeşitli girdi birimlerinden (klavye, fare, özelleşmiş kontrolcüler vs.) veri okuyup, okuduğu veriyi ilgili diğer sistemlere dağıtmaktan sorumludur. Girdi Yöneticisinin sisteme dağıttığı veri donanımdan bağımsızdır; yani farklı marka ve modellerde olan aynı girdi donanımının ürettiği veriler, Girdi Yöneticisi tarafından standartlaştırılır. Bu da AIP'e girdi donanımından bağımsızlık imkânı sağlar.

2.2.2. Fizik Motoru

Sanal ortamdaki nesnelere için fizik benzetiminin yapıldığı kısımdır ve nesnelerin ortamdaki fiziksel durumlarının yönetiminden sorumludur. AIP'in mevcut fizik motoru merkezi işlem birimi üzerinde çalışmaktadır ve bununla birlikte, NVIDIA tarafından geliştirilen ve grafik kartı üzerinde çalışan PhysX fizik motorunu da

kullanabilmektedir. Bu da AIP'in gerektiği halde yoğun olarak fiziksel olayların gerçekleştiği sanal ortamların benzetimini grafik kartından faydalanarak gerçekleştirebileceği anlamına gelir.

2.2.3. Varlık Yöneticisi

AIP'in oluşturduğu sanal ortamdaki görünür ya da görünmez her bir nesne (sanal bir atölyedeki masa, masa üzerinde yer alan araçlar örnek olarak hayal edilebilir) "varlık" olarak ifade edilir. AIP'in bir nesnenin varlığından haberdar olabilmesi için o nesne önce Varlık Yöneticisinde (*İng.: Entity System*) tanımlanmış olması gerekmektedir. Bu tanımlamadan sonra AIP gerekli mesajlaşmalarla bu nesnelere gerektiğinde belirli olayların haberini (örneğin bir nesnenin başka bir nesne ile çarpışması olayı her iki nesneye de haber olarak gönderilebilir) gönderir ve onların durumlarını yönetir.

2.2.4. Grafik Motoru

Ortamdaki nesnelere görselleştirilmesi için kullanılır ve ışığın davranışı göz önünde bulundurularak belirli bir gerçeklikte görsel çıktılar üretmek için grafik kartından faydalanır. Görsel çıktının üretildiği bu süreç foto-gerçekçi görüntülerin üretilmesi ve performans göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Bu sürece kullanıcı tarafından görülmeyen geometri verisinin elenmesi (*İng.: View Frustum Culling*), yüzey kabarıklıklarının geometrik veri gözetilmeden ışıkla etkileşiminin canlandırılması (*İng.: Normal Mapping/Bump Mapping*), ışık kaynağının konumuna ve özelliklerine bağlı olarak gerçek zamanlı gölgelerin üretilmesi, ışığın çarptığı yüzeylerden etkilenerek ortamı aydınlatması (*İng.: Global Illumination*), günün saatlerine göre küresel ışık kaynağının renginin ve şiddetinin değişmesi gibi pek çok aşama ve işlem dahildir. Sıralanan bütün bu aşamalar yoğun hesaplama ve veri erişim operasyonu anlamına gelmektedir ve neden bu süreç tasarlanırken ağırlıklı olarak performansın gözetildiğini açıklamaktadır.

2.2.5. Dinamik Sistemi

Sanal gerçeklik donanımının ürettiği çıktıları (kullanıcının kafa pozisyonu, hızı, ivmelenmesi ve oryantasyonu -bu veriler kontrolcüler için de sağlanmaktadır) girdi olarak alarak kullanıcının sanal dünyadaki durumunu belirlemektedir. Kullanıcı durumunun belirlenmesinde, elde edilen girdilerle sanal ortamdaki nesnelere fiziksel varlığı arasında ilişkiler kurulmaktadır. Örneğin, kullanıcının elindeki kontrolcüyü bir nesneye yaklaştırıp tetiği çekmesi o nesnenin tutulması anlamına gelmektedir ve bu anlamın çıkarılması için sanal ortamda çeşitli fiziksel sorguların (ışın-nesne kesişim testi gibi) yapılması gerekmektedir. Benzer şekilde bir nesnenin tutulup yere fırlatılması sırasında fizik motorundan faydalanılmaktadır.

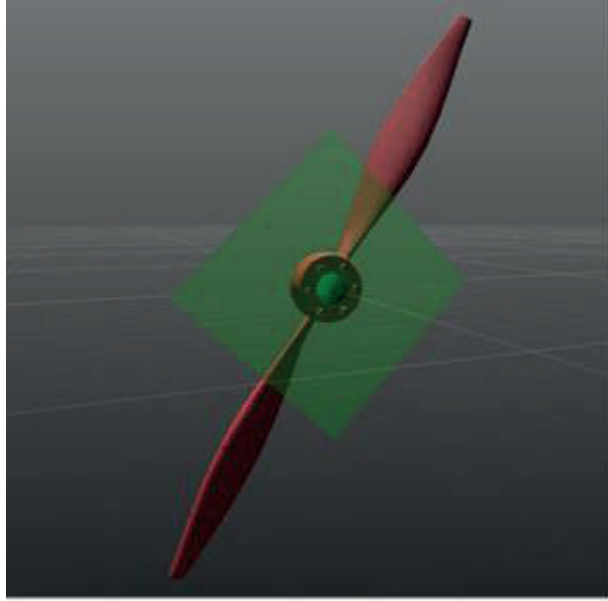
Dinamik Sistemi prototipe ait bir parçanın montajlanacağı ya da de-montajlanacağı yorumunu yaptığında Prototipleme Yöneticisi'ne bu yorumu aktarmaktadır.

2.2.6. Parça Veritabanı

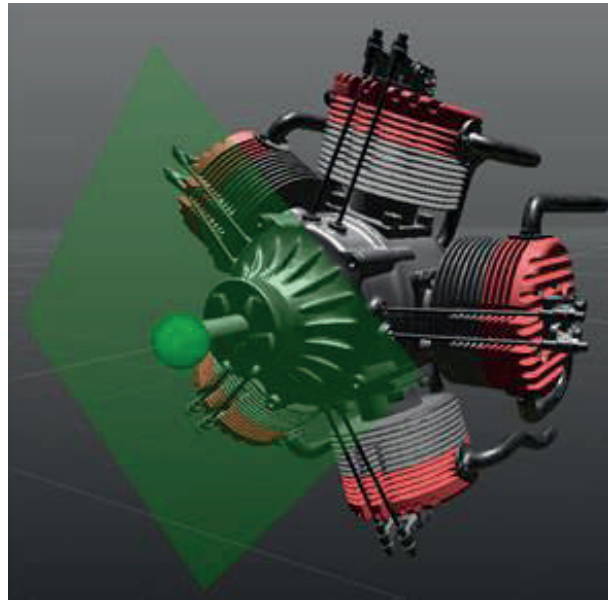
Sanal ortamdaki parçalar arasındaki ilişkiler ve montaj bilgileri (bir parçanın montajlanabileceği diğer parçalar, montajlama ya da de-montajlama işlemi için tanımlanan mesafe aralığı ve açı aralığı gibi bilgiler) Parça Veritabanı'nda saklanmaktadır. Bu veritabanı sorgulanarak sanal ortamda gerçekleştirilen montajlama ya da de-montajlama işlemlerinin geçerli olup olmadığı kontrol edilir. Veritabanındaki girdiler gerekli bilgilerin yer aldığı CAD model dosyasından otomatik olarak oluşturulabileceği gibi özel durumlar için manuel olarak da oluşturulabilir ya da düzenlenebilir.

2.2.7. Prototipleme Yöneticisi

Montaj ya da de-montaj eylemi için yerine getirilmesi gereken hareketlerin (belirli bir açıda çekmek, doğru bir eksenle kaydırmak vs.) sağlanıp sağlanmadığının testi bu modülde yapılmaktadır. Bu testler için parça bilgilerinin yer aldığı Parça Veritabanı sorgulanır ve yapılan sorgular sonrasında montajın ya da de-montajın yapıldığı parça ile o parçanın sabitleneceği ya da ayrılacağı parça arasındaki bağlantıyı tanımlayan veriler (Montajlama yüzeyleri: Şekil 2-3, Şekil 2-4) elde edilir. Daha sonra elde edilen verilere göre kullanıcının sanal ortamdaki montajlama ve de-montajlama faaliyetinin geçerliliği kontrol edilir. Eğer kullanıcı bir parçayı uygun bir şekilde montajlıyorsa parça yerine sabitlenir, eğer faaliyet geçerli değilse ve kullanıcı parçayı sabitlediğini düşünüp bırakırsa, parçanın doğal fiziksel benzetimi gerçekleştirilir (düşme, düşüp diğer parçalarla çarpışma vs.). Benzer şekilde, kullanıcı de-montaj için de uygun bir şekilde parçayı sabitlediği yerden ayırmalıdır, aksi halde parça yerinde sabit kalacaktır.



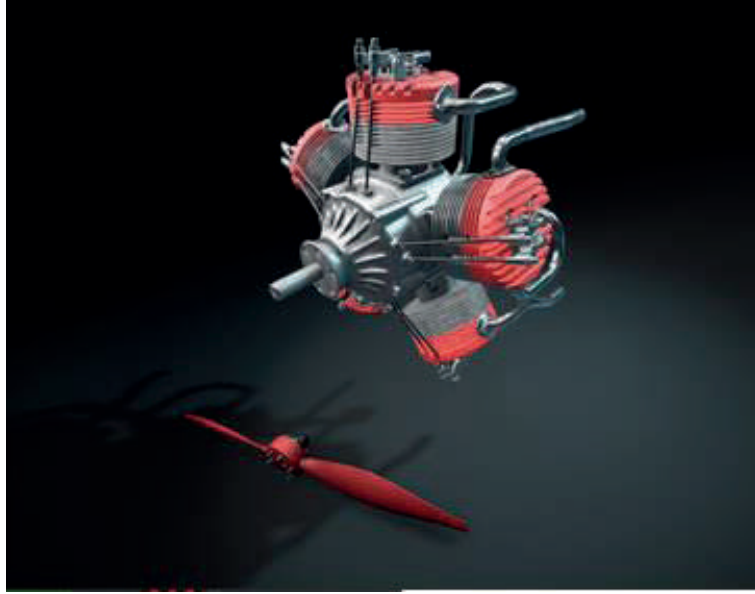
Şekil 2-3 Pervane Montaj Yüzeyi



Şekil 2-4 Motor Mili Montaj Yüzeyi

3. Örnek Uygulama: Uçak Motoru

AIP’te ortaya koyulan yaklaşımın kullanıcı açısından başarımının test edilmesi için örnek bir senaryo belirlenmiş ve bu senaryoya uygun olarak sanal bir ortam yaratılmıştır. Senaryoya göre kullanıcı, sanal ortamda yer alan pervaneli uçak motoru üzerinde incelemelerde bulunup, başlangıçta yerde duran pervaneyi eliyle alarak motora uygun bir şekilde montajlayacaktır. Sahnenin başlangıçtaki durumu Şekil 3-1’de gösterilmiştir:



Şekil 3-1 Montaj Öncesi Sahnenin Durumu

Ortamdaki motor toplamda 1312 adet parçadan oluşmaktadır. Motorun modeli AIP'e CAD modelden aktarılmış olup parçalar arasındaki ilişki de AIP'in Parça Uyumluluk Veritabanına aktarılmıştır. Uygulama başlatıldığında motoru oluşturan parçalar montajlanmış haldedir ve yalnızca pervane ayrıktır.

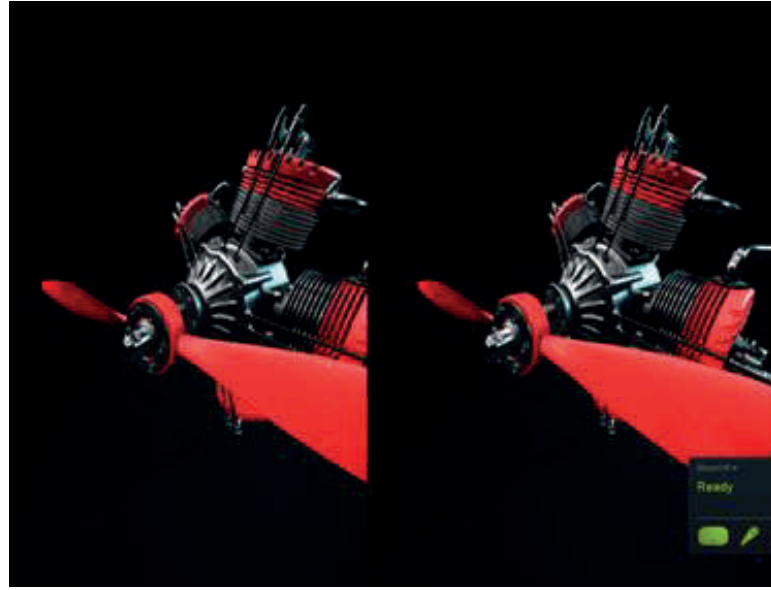
AIP, parçalar arasındaki ilişki ve montaj bilgisine sahip olmakla birlikte parçaların materyal bilgisine de sahiptir. Parçaların materyal bilgileri AIP'in sahip olduğu materyal editörü kullanılarak sisteme girilmiştir. Şekil 3-1'de parlaklık, yansıtıcılık ve renk gibi materyal özelliklerinin kullanıcı tarafından gözlenebileceği görülebilir.

Sanal ortamda gözlem ve etkileşimde bulunan kullanıcının dışardan görüntüsü Şekil-3.2'deki gibidir. Kullanıcı sırtında taşıdığı bilgisayar sayesinde herhangi bir kablo kısıtlamasına maruz kalmadan gerçek ortamda ve bununla uyumlu olarak sanal ortamda hareket edebilmektedir.



Şekil 3-2 Kullanıcının Dışarıdan Görünümü ve sanal gerçeklik cihazları

Kullanıcı, taktığı sanal gerçeklik gözlüğü ile sanal ortamı gözlemlemekte, ortamla etkileşimini iki elinde bulunan kontrol cihazlarıyla sağlamaktadır. Bu cihazlar, sanal ortamda kullanıcının ellerini temsil etmekte, üzerinde bulunan tetikler vasıtasıyla tutma ve bırakma işlemlerinin gerçekleştirilmesine imkân sağlamaktadır. Gözlüğün kullanıcıya üç boyutlu ortam hissini sağlaması için AIP altyapısı her iki göz için ayrı birer sahne görüntüsü oluşturmaktadır. Gözlük tarafından kullanıcının sağ ve sol gözüne sağlanan görüntü Şekil-3.3'te görülebilir.



Şekil 3-3 Her iki göz için sağlanan görüntüler

Kullanıcı, elindeki kontrolcülerini kullanarak yerde duran pervaneyi tuttuktan sonra uygun açı ve konuma taşıyarak pervaneyi bırakması durumunda pervane motor üzerindeki yerine monte edilmektedir. Kullanıcının pervaneyi uygun konum ve açıda bırakmaması durumunda ise pervane fiziksel ortamla uygun şekilde etkileşerek (örneğin motorun kenarına çarparak) yere düşmektedir.

4. Sonuçlar

Çalışma sonunda, AIP altyapısı ve üzerinde geliştirilen uygulamalar üzerinde:

1. CAD model verileri kullanılarak bir sanal ortam görüntüsü oluşturulmuş;
2. Bu ortam görüntüsü, HTC Vive sanal gerçeklik gözlüğü üzerinden üç boyutlu olarak görselleştirilmiş;
3. Kullanıcının oluşturulan üç boyutlu ortam ve nesnelere etkileşimi sağlanmış;
4. Bir montaj senaryosunun gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir.

Geliştirilen uygulama, bir teknoloji demonstrasyonu çerçevesi ile sınırlandırılmış olup daha karmaşık montaj ve de-montaj senaryolarında da kullanılabilirliğini göstermiştir.

Yapılan denemelerde gözlemlenen ilk problem kullanıcının sanal ortamda tuttuğu nesnelere ortamda bulunan diğer nesnelere olan etkileşiminde yaşanan gerçek dışı davranışlar olmuştur. Sistem, ortamda yer alan nesnelere arası fiziksel etkileşimi gerçekçi bir şekilde canlandırmak üzere tasarlanmıştır, ancak kullanıcı bir nesneyi tutup onu itemeyeceği sabit bir nesnenin içine doğru taşırırsa AIP buna izin vermektedir. Bu durum karşısında iki olası davranış düşünülmüştür. Bunlardan ilki, sistemin mevcut davranışı, yani tutulan nesnenin sabit bir nesnenin içinden geçirilebilmesine izin verilmesidir. İkinci yöntem ise, kullanıcının sanal ortamdaki nesne etkileşimini tut-taşı-bırak olarak değil de tut-kuvvet uygula-bırak olarak gerçekleştirmesidir. Bu sayede kullanıcı nesnelere taşıyarak değil, kuvvet uygulayarak hareket ettirecek ve bu da hareket ettirilen nesnenin fiziksel ortamla AIP fiziksel altyapısı üzerinden etkileşerek herhangi bir sabit nesne içerisinden geçmesine engel olacaktır.

Yapılan denemelerde, kullanıcının elini özgürce hareket ettirebilmesine rağmen sanal olarak elinde tuttuğu nesneyi ortamdaki bir engelden dolayı taşıyamamasının gerçek ve sanal ortamlar arasında tutarsızlık oluşturacağı, bunun da olumsuz bir kullanıcı deneyimine sebep olacağına karar verilmiştir. Bu sebeple, bu çalışma kapsamında kullanıcının gerçek dünyada yaptığı hareketlere sadık kalınmasına karar verilmiştir.

5. Kaynaklar

1. Tseng, Mitchell M., Jianxin Jiao, and Chuan-Jun Su. "Virtual prototyping for customized product development." *Integrated Manufacturing Systems* 9.6 (1998): 334-343
2. Ma, Y-S., Gang Chen, and Georg Thimm. "Paradigm shift: unified and associative feature-based concurrent and collaborative engineering." *Journal of Intelligent Manufacturing* 19.6 (2008): 625-641.
3. Xue, Deyi, Swatantra Yadav, and Douglas H. Norrie. "Knowledge base and database representation for intelligent concurrent design." *Computer-Aided Design* 31.2 (1999): 131-145.

4. Xue, Deyi, and Haoguang Yang. "A concurrent engineering-oriented design database representation model." *Computer-Aided Design* 36.10 (2004): 947-965.
5. Roucoules, Lionel, Otto Salomons, and Henri Paris. "Process planning as an integration of knowledge in the detailed design phase." *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 16.1 (2003): 25-37.
6. Vosniakos, G. C. "Feature-based product engineering: A critique." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 14.7 (1998): 474-480.
7. Harald E, Otto. "From concepts to consistent object specifications: translation of a domain-oriented feature framework into practice." *Journal of Computer Science and Technology* 16.3 (2001): 208-230.
8. Verlinden, Jouke, Imre Horváth, and Tek-Jin Nam. "Recording augmented reality experiences to capture design reviews." *International Journal on Interactive Design and Manufacturing* 3.3 (2009): 189-200.
9. He, Bin, et al. "Design resource management for virtual prototyping in product collaborative design." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 229.12 (2015): 2284-2300.
10. Holweg, Matthias, and Nick Oliver. *Crisis, Resilience and Survival: Lessons from the Global Auto Industry*. Cambridge University Press, 2015.
11. Alistair Sutcliffe and Brian Gault. "Heuristic evaluation of virtual reality applications." *Interacting with Computers* 16.4 (2004): 831:849

Şebekeden Bağımsız H5 Eviricili Fotovoltaik Sistem Tasarımı

Standalone Photovoltaic System with H5 Inverter Design

Ahmet Yüksel, Adnan Cora

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Karadeniz Teknik Üniversitesi
ahmetyuksel@ktu.edu.tr, cora@ktu.edu.tr

Özet

Bu çalışma tek fazlı şebekeden bağımsız transformatörsüz H5 eviricinin denetimi benzetimsel olarak gösterilmiştir. Sistemin güç elektronığı yapısını DA-DA yükselten çevirici ve H5 evirici oluşturmaktadır. Sistemin kontrolü H5 eviricinin anahtarlarının doluluk boşluk oranını PI denetleyici ile değiştirerek çıkış gerilimi kontrol edilmiştir. Çıkış filtresi olarak LCL tip filtre kullanılmıştır.

Abstract

In this study, a control of standalone H5 inverter without transformer is presented by simulation. The system power electronic structure is consisted of DC-DC converter and H5 inverter. Control of the system the output voltage is controlled by replacing the duty-cycle ratio of the switches of H5 inverter with the PI controller. LCL type filter is used as output filter.

1. Giriş

Yenilenebilir Fotovoltaik(PV) enerji sistemleri temiz ve güvenilir olmaları sebebiyle gelecek vaat eden yenilenebilir enerji sistemlerinden biridir. PV enerji üretimi geçmiş yıllara nazaran maliyetinin düşmesiyle klasik fosil yakıtlardan daha düşük maliyetli duruma gelmiştir[1]. Canadian Solar olarak adlandırılan global PV panel firması tarafından PV panellerinin maliyeti üzerine çalışmada,2014 yılının sonunda maliyet 0.47 \$/W iken 2017 yılının sonunda 0.36 \$/W 'a düşecektir. Bu son üç yıl zarfında ise Pv panellerin fiyatları yüzde 25 kadar düşmüştür[2]. Bu rakamlarda PV güç sistemlerinin günden güne yaygınlaştığını göstermektedir.

1992 ve 2004 yılı arasında PV paneller genellikle yerleşik pazarda 2-10 kW üretim amacıyla kullanılırken Günümüzde ise PV panel güç sistemleri şebeke bağlantılı olarak 100 MW dan daha büyük güç sistemleri olarak karşımıza çıkmaktadır[3,4,5,6]. Şebeke bağlantılı kullanılmasının yanında direkt yük bağlantılı olarak da karşımıza çıkmaktadır.

Dünya çapında 2015 yılında yenilenebilir enerji kaynakları dünya enerji tüketiminin %19'unu karşılamaktayken 228 GW PV panellerden elde edilmekteydi, 2016 yılında bu rakam 303 GW'a ulaşmıştır.[7].

PV güç sistemleri temel olarak, PV panellerden, dönüştürücü, trafo ve kontrol biriminden oluşmaktadır. Trafolar PV güç sistemlerinde, kişi güvenliğini sağlayarak izolasyon amacıyla kullanılır, şebekeye doğru akım aktarmayarak dağıtım trafolarının doymaya gitmesini engeller son olarak eviricinin çıkış gerilimini yükselterek şebeke gerilim seviyesini karşılar[8]. PV güç sistemlerinde trafoların kullanılması eviricinin verimini düşürerek boyut ve maliyetinin artmasına sebep olur. Bu sebepten dolayı trafolar kaldırılmıştır. Trafoların kaldırılmasıyla değişken ortak mod gerilimi paneller ile toprak arasında oluşan kapasitelerden akan sızıntı akımlarını meydana getirir. Bu sızıntı akımları güvenlik için belli bir sınırdan tutulması gerekmektedir[9].

Birçok araştırmacı çeşitli yaklaşımlarla belirli standartlara oturtarak bu sızıntı akımının makul seviyelere çekmeye çalışmıştır[10].Bu yöntemler eviricilerin modülasyon yöntemlerini değiştirerek ve yeni topoloji türleri literatüre dahil edilmiştir. Bu topolojilerden biri H köprülü eviriciden meydana gelen H5 eviricidir[2005 Victor]. Victor tarafından patentlenen H5 evirici, yüksek verimi ve düşük sızıntı akımıyla ön plana çıkmaktadır[11].

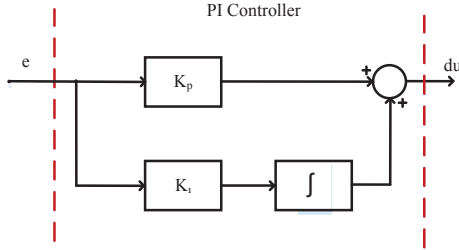
Trafosuz fotovoltaik eviricilerin güç sistemi içerisinde akım ve gerilim esaslı olarak denetimleri yapılmaktadır. Denetim yapılmasının birkaç amacı şu şekilde sıralanabilir. Fotovoltaik panelden en büyük güç elde etmek için, reaktif güç denetimi, çıkış bara gerilimi, akım denetimi için ve yüke kaliteli güç aktarımında kullanılmaktadır. [12, 13, 14].

Bu çalışmada şebekeden ayrı tek fazlı H5 eviricili fotovoltaik sistem tasarımı ve denetimi yapılmıştır.

Burada $e(k)$ hata sinyali, $r(k)$ referans sinyali ve $y(k)$ çıkış gerilimidir.

2.2.1. PI Denetleyici

PI denetleyici çıkış gerilimi ile referans gerilim arasındaki hatayı sifira çekebilmek için tasarlanır. PI denetleyiciye ait blok diyagram Şekil 3’de görülmektedir.



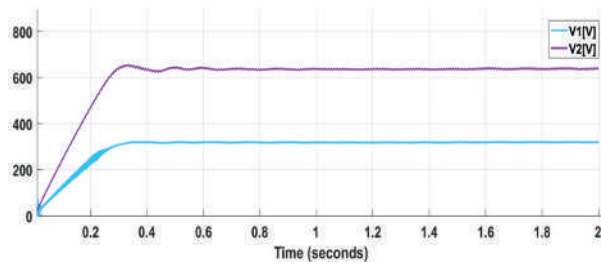
Şekil.3 PI denetleyici Blok Diyagramı

PI denetleyicinin çıkışı du sinyaline göre hatayı sifira çekebilmek için PWM işareti üretir.

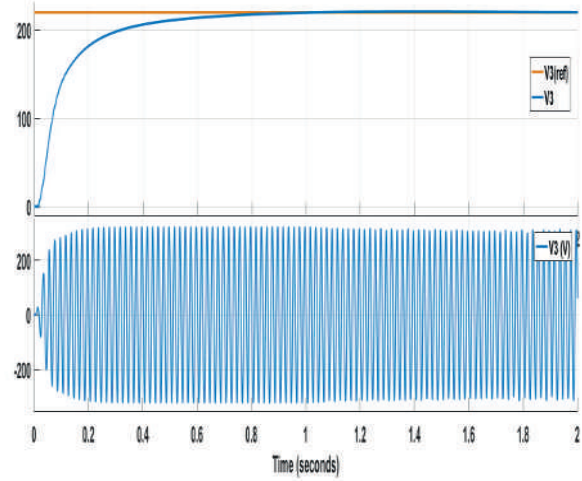
3. Benzetim Çalışmaları

B1 kısımda Şebekeden ayrı H5 eviricinin Matlab/SIMULINK ortamında oluşturulan benzetim çalışması gösterilmiştir. Sistemin benzetimi sonucunda elde edilen dalga şekilleri Şekil 4-6’da gösterilmiştir. Tek fazlı şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem çıkış gerilimi H5 evirici tarafından referans olarak belirtilen gerilim değerine yükseltilmekte ve transformatörsüz evirici olan H5 evirici topolojisi kullanılarak AA gerilim dalga şekline dönüştürülmektedir. Elde edilen dalga şeklindeki harmonik değerlerini standartlarda belirtilen sınırdan tutmak için LCL filtre yapısı kullanılmaktadır.

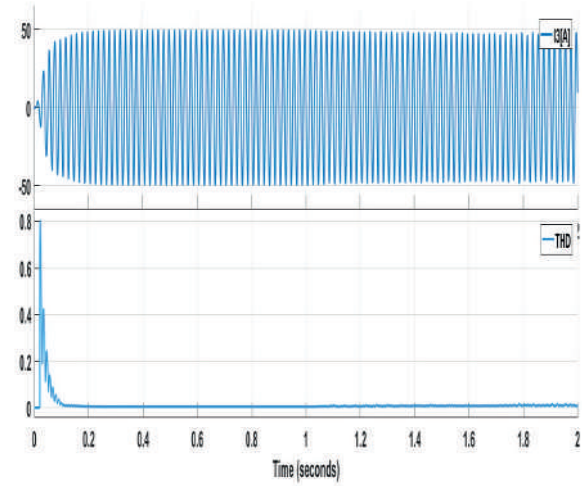
Şekil 4’de DC-DC artıran dönüştürücünün giriş ve çıkış gerilimi (V_1 ve V_2), Şekil 5’de H5 evirici çıkış geriliminin etkin değerinin referans gerilime oturması ve evirici çıkış gerilimi gerilimi(V_3), Şekil 6’da yükte aktarılan akım (I_3) ve toplam harmonik bozunum (THD), Şekil 7’de H5 evirici çıkış gerilim ve akım (V_3 ve I_3) dalga şekillerinin belirli zaman dilimine odaklanmış değişimleri gösterilmektedir..



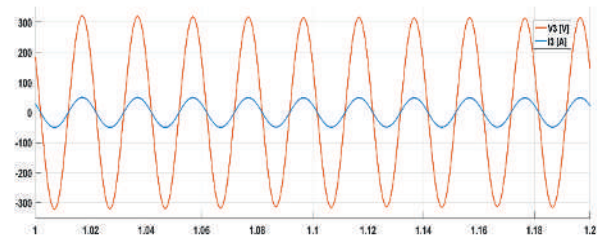
Şekil 4: Artıran çevirici giriş-çıkış gerilimi



Şekil 5: Çıkış gerilimi ve referans gerilime oturması



Şekil 6: Çıkış akımı ve THD



Şekil 7: Çıkış akımı ve gerilimi

4. Sonuçlar

Bu çalışmada şebekeden bağımsız H5 eviricili dc-dc artıran çeviricili fotovoltaik sistem tasarımı yapılmıştır. Sistem genel olarak H5 eviricinin anahtarlarının denetimi üzerindedir. Fotovoltaik panellerden elde edilen DC gerilim, artıran çeviriciden geçirilerek yükseltmiş, kısa bir zaman diliminde referans gerilime oturmuş ve H5 evirici yardımıyla alternatif

gerilime çevrilmiştir ve yüke verimli harmonik bakımından standartların belirtildiği şekilde yüke aktarılmıştır.

5. Kaynaklar

- [1] PVPS, IEA. "Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2011." *Report IEA-PVPS T1-21* (2012).
- [2] Zaid, S. A., and Ahmed M. Kassem. "Review, analysis and improving the utilization factor of a PV-grid connected system via HERIC transformerless approach." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73 (2017): 1061-1069
- [3] Kouro, Samir, et al. "Grid-connected photovoltaic systems: An overview of recent research and emerging PV converter technology." *IEEE Industrial Electronics Magazine* 9.1 (2015): 47-61.
- [4] Hassaine, L., et al. "Overview of power inverter topologies and control structures for grid connected photovoltaic systems." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30 (2014): 796-807.
- [5] Rawat, Rahul, S. C. Kaushik, and Ravita Lamba. "A review on modeling, design methodology and size optimization of photovoltaic based water pumping, standalone and grid connected system." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 57 (2016): 1506-1519.
- [6] Islam, Monirul, Saad Mekhilef, and Mahamudul Hasan. "Single phase transformerless inverter topologies for grid-tied photovoltaic system: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45 (2015): 69-86.
- [7] *Renewables 2017: Global Status Report*, REN21, 2016, ISBN 978-3-9818107-6-9
- [8] Islam, Monirul, Saad Mekhilef, and Mahamudul Hasan. "Single phase transformerless inverter topologies for grid-tied photovoltaic system: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45 (2015): 69-86.
- [9] Tang, Yi, et al. "Highly reliable transformerless photovoltaic inverters with leakage current and pulsating power elimination." *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 63.2 (2016): 1016-1026.
- [10] Tev, Kok Soon, and Saad Mekhilef. "A reduced leakage current transformerless photovoltaic inverter." *Renewable Energy* 86 (2016): 1103-1112.
- [11] Reddy, K. Raghava, M. Mahesh, and M. Vijaya Kumar. "Simulation of H6 full bridge Inverter for grid connected PV system using SPWM technique." (2017).
- [12] Zhang L., Sun K., Xing Y. and Xing M., "H6 Transformerless Full-Bridge PV Grid-Tied Inverters", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 29, No. 3, pp. 1229-1238, March 2014.
- [13] Sun W., Chen Z. and Wu X., "Intelligent Optimize Design of LCL Filter for Three-Phase Voltage-Source PWM Rectifier", *IEEE 6th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2009 (IPEMC'09)*, Wuhan, pp. 970-974, 2009.
- [14] Gotekar, P. S., et al. "Comparison of full bridge bipolar, H5, H6 and HERIC inverter for single phase photovoltaic systems-a review." *India Conference (INDICON), 2015 Annual IEEE*. IEEE, 2015.

Tek Fazlı AC Motorun PVG ile Tahrik Edilerek Akbaba Modeline göre Geliştirilen Yeni MPPT Yöntemiyle Deneysel Olarak Gerçekleştirilmesi

Experimental Implementation of Single Phase AC Motor Driven by PVG Using New MPPT Method Developed According to Akbaba Model

Nurettin GÖKŞENLİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi, 18100, Türkiye

Özet

Küçük ölçekli, şebekeden bağımsız, fotovoltaik jeneratörler, PVG'ler, için yeni bir mikro denetleyici tabanlı maksimum güç noktası izleyici (MPPT) devresi tasarlanmış ve asenkron motor yük olarak kullanılarak test edilmiştir. PVG'nin I-V karakteristiği, Akbaba Modeli olarak bilinen modeldeki, ikisi PVG'lerin kısa devre akımı ve açık devre voltajı olmak üzere Güneş ışınımına bağlı beş parametre kullanılarak karakterize edilmiştir. Yük ve PVG arasında eşleşen bir devre olarak bir DC / DC dönüştürücü ve evirici bir devre kullanılmıştır. Uygun bir sabit frekans seçildiğinde, DC / DC dönüştürücünün görev döngüsü (δ), çıkış voltajının anlık değerinden geri bildirim almak suretiyle, mikrodenetleyici tarafından uyarlanabilir olarak tasarlanmıştır. Sistem sadece, Güneş ışınım yoğunluğu ve mikro denetleyiciye geribesleme yoluyla giriş olarak uygulanan yükteki çıkış gerilimine bağlı olarak çalışmaktadır. Ölçülen Güneş ışınım yoğunluğu, mikro denetleyici tarafından, lokasyondaki Güneş ışınım yoğunluğunun en yüksek değerinin mikrodenetleyici girişine temel değer olarak uygulanan Güneş ışınım yüzdesine dönüştürülür. Bu çalışmada bir prototip oluşturulmuştur ve ölçülen ve ilk defa deneysel olarak test edilen sonuçlar arasında makul bir korelasyon elde edilmiştir.

Abstract

A novel microcontroller based maximum power point tracker (MPPT) circuit for small scale, stand-alone photovoltaic generators, PVGs, has been designed and tested using the AC motor as load. The I-V characteristic of PVGs characterized using Akbaba Model five percent solar radiation dependent parameters, two of which are short circuit current and open circuit voltage of PVGs. A DC/DC converter and an inverter circuit is used as a matching circuit between the load and PVG. Selecting a suitable fixed frequency, the duty cycle (δ) of DC/DC converter has been determined adaptively by microcontroller, by getting feedback from the instantaneous value of the output voltage. The measured solar radiation intensity is converted by microcontroller into percent solar radiation, G, where the highest ever value of the solar radiation intensity in the location is fed to microcontroller as the base value. A prototype has been built and reasonable correlation is obtained between the measured and experimentally tested first time values.

1. Giriş

Yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle güneş enerjisi gelecekteki enerji talebinin en önemli kaynaklarından biridir[1-2].

Güneş enerjisinin bolluk içeren doğası vardır ve çevreye karşı oldukça duyarlıdır. PV'ler silikondan üretilir ve hammaddesi bol bir elementtir. PV'ler, doğrudan Güneş'ten elektrik üretebilecek yapıya sahiptirler. Fotovoltaik jeneratörler (PVG) ile çalışan DC ve

AC motorlarıyla ilgili bir çok araştırma yapılmıştır[3-10]. PVG enerjisinin üretim maliyeti günümüzdeki elektrik enerjisinin üretim maliyetinden önemli derecede yüksek olduğundan, PVG sistemlerinin maksimum verimle çalıştırılmaları gerekmektedir. Bunun içinde, maksimum güç noktası yörüngesinde çalıştırılmalıdır. PVG'lerin I-V karakteristikleri doğrusal değildir, bu sebeple de, bir yük bağlandığında, çoğu durumda empedans uyumsuzluğuna bağlı olarak çalışma noktası maksimum enerji yörüngesinde olmayacaktır. Bir PV panelinden maksimum enerji çıkarmak için PV paneli ve yük arasında bir MPPT devresi yerleştirilmelidir. Çeşitli maksimum güç noktası izleme (MPPT) devreleri ve kontrol yöntemleriyle ilgili literatürde bir çok çalışma vardır[11-25]. Bu MPPT sistemlerinin bir çoğu karmaşık kontrol metodları veya devre yapıları içermektedirler. Bununla birlikte, [24] 'de önerilen model bir PVG birimini herhangi bir yüke uydurmak için daha elverişlidir ve çalışma prensibi kolaylıkla anlaşılabilir. PVG'nin I-V karakteristiğini modellemek için beş tane güneş radyasyonuna bağlı parametre vardır. Bunlardan üç tanesi matematiksel olarak tanımlanmış parametrelerdir (A, B ve C) ve diğer ikisi ise, PVG'nin açık devre voltajı (V_{oc}) ve kısa devre akımı (I_{sc})' dir. Böyle bir model kapalı form çözümünü oluşturmaktadır ve maksimum güç noktası gerilimi (V_{max}), akımı (I_{max}) ve maksimum gücü (P_{max}) beş model parametre açısından analitik olarak belirlenebilmektedir. DC / DC dönüştürücüsü için uygun bir frekans seçilir ve sabit tutulur ve çalışma döngüsü, δ , mikrodenetleyici tarafından çıkış voltajından geri bildirim almak suretiyle uyarlanır şekilde elde edilir. Bu nedenle, önerilen sistem, I-V karakteristiğinin modellenmesi için gerekli olan iki ölçüme ihtiyaç duyar; bunlar, güneş radyasyonu yoğunluğu ve görev döngüsünü adaptif olarak elde etmek için çıkış voltajıdır. Her iki ölçüm de anlık değerler olduğundan, önerilen sistem hem statik hem de dinamik yükler için uygundur.

Güneş enerjisinin en uygun kullanım yöntemi güneş radyasyonunun elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Bu nedenle, fotovoltaik jeneratörlerle sürülen motorların veya direnç gibi pasif yüklerin [1-6] ve endüktif elemanlı yüklerin [26-33] analizi için birçok çalışma yapılmıştır. PVG panelinin elektriksel karakteristiğinin matematiksel modeli, PVG ile tahrik edilen yüklerin verimliliğinin analizi için çok önemlidir. Çoğu zaman, literatürdeki PV panellerinin I-V veya V-I elektriksel karakteristikleri için tek bir matematiksel model kullanılmıştır [3].

Bu çalışmada, Mikrodenetleyici tarafından kontrol edilen DC-DC dönüştürücüyü içeren bir MPPT devresi tasarlanmış ve tek fazlı bir AC motora deneysel olarak uygulanmıştır.

2. Metodoloji

Bu çalışmada, yeni bir MPPT yöntemi geliştirilmiş ve ilk defa bir AC motora uygulanarak deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Geleneksel diyot modeli yerine PVG'nin I-V karakteristiği Akbaba modeli kullanılarak modellenmiştir ve Akbaba modeli aşağıdaki

iklerle verilmiştir[24]:

$$I = (V_{oc} - V) / (A + BV^2 - CV) \quad (1)$$

Burada,

$$A = V_{oc} / I_{sc} \quad (2)$$

V_{oc} panelin açık devre voltajı, v_e , I_{sc} , panelin kısa devre akımıdır.

Böylelikle, PVG gücü şu şekilde yazılabilir:

$$P = IV = V (V_{oc} - V) / (A + BV^2 - CV) \quad (3)$$

Ayrıntılı prosedürler kullanılarak incelenen [A] PVG için birçok G değerinde A, B, C, V_{oc} ve I_{sc} model parametreleri belirlenmiştir. Bazı seçilen güneş ışınımları değerlerinde elde edilenler Tablo 1'de verilmektedir.

Tab. 1 Seçilen G değerlerindeki V_{oc} , I_{sc} , A, B, ve C değerleri [A]

%G	V_{oc}	I_{sc}	A	B	C
52	18,35	0,354	51,84	0,02574	3,103
73,5	19,15	0,5	37,6	0,02193	2,27
86	19,6	0,585	32,9	0,01675	1,917
100	19,8	0,68	28,94	0,008528	1,574

Bu çalışmada, kullanılan Güneş Paneli daha önce resistif yük uygulanarak yapılan çalışmamızdaki [A] Güneş Panelinin aynıdır. Bu defa resistif yük yerine tek fazlı bir asenkron motor kullanılmıştır. Kullanılan panel % 100 Güneş ışınımları aşağıdaki etiket değerlerine sahip olan 10 W'lık bir Güneş Panelidir. Bu panelin, kısa devre akımı $I_{sc} = 0,64$ A, Açık devre voltajı $V_{oc} = 21,0$ V, Maksimum güç noktası akımı;

$I_{max} = 0,58$ A ve the Maksimum güç noktası voltajı $V_{max} = 17,2$ V (1000 W/m² Güneş ışınımları).

PV panelleri yüksek kurulum maliyetleri nedeniyle, maksimum güç yörüngesinin yakınında çalıştırılmadıkları. (3) numaralı denklemin V'ye göre türevi alınarak ve onu sifra eşitleyerek, maksimum güç noktasındaki gerilim, V_{max} aşağıdaki gibi elde edilir:

$$V_{max} = [V_{oc} / I_{sc} (C - BV_{oc})] [1 / (1 - (1 - I_{sc} (C - BV_{oc}))^{0.5})] \quad (4)$$

Böylece, maksimum güç noktası akımı ve güç denklemleri (3) ve (4)'ten kolayca (5) ve (6)'daki denklemler gibi elde edilebilir:

$$I_{max} = (V_{oc} - V_{max}) / (A + BV_{max}^2 - CV_{max}) \quad (5)$$

ve,

$$P_{max} = V_{max} I_{max} \quad (6)$$

A, B ve C parametreleriyle belirlenen I-V karakteristiğinin geçerliliği, [24-26] 'da verilen geleneksel I-V karakteristiği ile karşılaştırarak doğrulanmıştır. Eğri uydurma tekniği kullanılarak, bu çalışmada kullanılan PVG'nin hesaplanan model parametreleri G'nin fonksiyonu olarak şu şekilde elde edilmiştir:

$$A = 0.005347G^2 - 1.258G + 101.3 \quad (7)$$

$$B = (-6.832 \times 10^{-6})G^2 + 0.00068G + 0.0088 \quad (8)$$

$$C = 0.0001788 G^2 - 0.05736 G + 5.523 \quad (9)$$

Kullanılan PVG'nin I-V karakteristiği ve maksimum güç yörüngesi hesaplanmış ve Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tab. 2 Seçilen G değerlerindeki PVG'nin maksimum güç yörüngesindeki V,I ve P değerleri

%G	Gerilim (V)	Akım(A)	Güç (W)
52	15	0,35	4,88
73.5	15,8	0,48	7,58
86	16	0,54	8,6
100	16,4	0,61	10

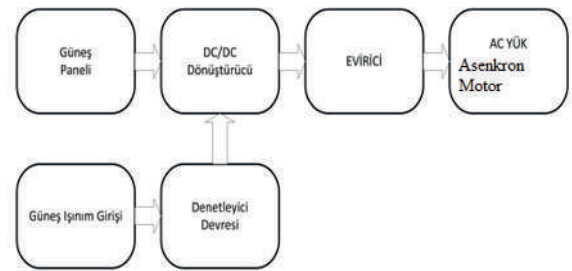
Tablo 2'de sunulan sonuçlar, önerilen MPPT devresinin, görev döngüsünün uyumlu değerleri kullanıldığında makul bir doğrulukla çalıştığını göstermektedir.

Sunulan yöntemde, tüm sistem performansı yalnızca güneş ışınımlarının yüzde değerine ve çıkış yük voltajının ölçülmesine bağlıdır. Güneş ışınımlarını ölçmek için Işığa Duyarlı Direnç (LDR) kullanılmıştır. Güneş ışınımları LDR sensörü tarafından algılanmakta ve geliştirdiğimiz kontrol devresi ile gerilime dönüştürülerek mikroişlemeceye uygulanmaktadır., Modelde kullanılan diğer tüm parametreler A, B, C, V_{oc} , I_{sc} , V_{max} ve görev döngüsü, mikrodenetleyici tarafından hesaplanmaktadır.

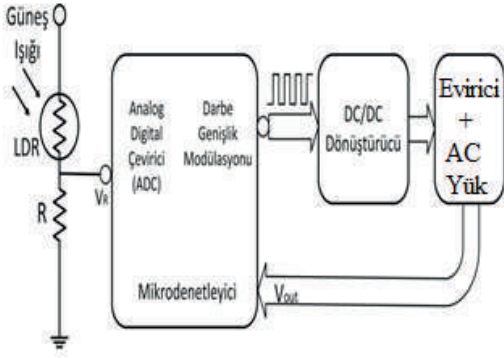
Çalışılan sistemin blok diyagramı Şekil 1'de gösterilmiş ve denetleme devresini de içeren tüm sistem devresi Şekil 2'de verilmiştir. Çıkış gücünü maksimum değere çıkaran gerekli görev döngüsü, kullanılan mikrodenetleyiciye gömülen program tarafından üretilmektedir. Güneş ışınımları, bir ışığa bağımlı direnç (LDR) sensörüne seri bağlı bir direnç yardımıyla ve görev döngüsünü (δ) üretmek için mikrodenetleyiciye (PIC) giriş olarak uygulanan direnç, R, üzerindeki voltaj düşümü (V_R) ile ölçülmektedir. Gerekli olan görev döngüsü denklem (10) ile belirlenmektedir:

$$\delta = 1 - (V_{max} / V_{out}) \quad (10)$$

burada, V_{max} , PVG'nin maksimum güç voltajı ve V_{out} , yükte ölçülen çıkış voltajıdır.



Şekil.1 Sistemin blok diyagramı



Şekil 2 Sistemin kontrol devresi

Mikrodenetleyici giriş voltajı V_R , birçok güneş ışınlı seviyesi için ölçülmüştür. Eğri uydurma tekniği kullanılarak V_R ve G arasındaki bağıntı şu şekilde elde edilmiştir:

$$G = p_1 \cdot V_R^2 + p_2 \cdot V_R + p_3 \quad (11)$$

burada, $p_1 = 29,76$, $p_2 = -11,82$ ve $p_3 = -11,25$.

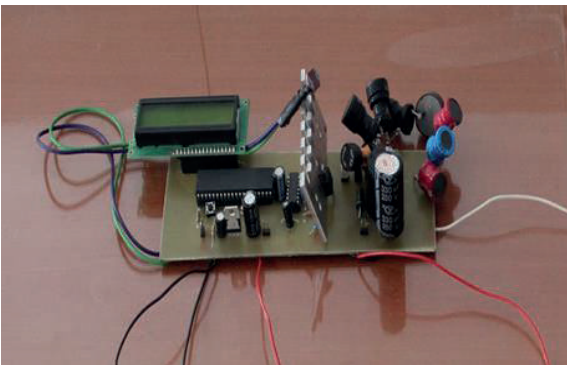
Mikrodenetleyici V_R 'yi ölçer ve G , V_R cinsinden ifade edildiğinden, G , denklem (11) kullanılarak V_R 'den elde edilir. G 'yi elde ettikten sonra, Modelin diğer beş parametresi mikro denetleyici tarafından (5,7-9) denklemler kullanılarak hesaplanmaktadır.

Mikrodenetleyici, denklem (10) 'a göre gerekli görev döngüsü değerini elde etmek için $V_{max} = f(G)$ bağıntısını kullanacak şekilde programlanmıştır. PVG voltajı V_{max} değerinde tutulduğunda, PVG maksimum güç yörüngesinde çalışmaya zorlanmaktadır. Tüm süreçte tavsiye edilen sistemin sadece iki girişi olduğunu belirtmek gerekir. Bunlar yüzde Güneş ışınlı (G) ve çıkış yük voltajıdır (V_{out}). Diğer gerekli tüm parametreler G 'ye bağımlıdır ve mikrodenetleyiciye yüklenen programa gömülmüştür.

MPPT devresinin çıkışı da DC-DC dönüştürücü çıkışıdır. Burada elde edilen yükseltilmiş sinyal, bir invertör devresi yardımıyla AC sinyale dönüştürülür. AC sinyal doğrudan tek fazlı bir AC motora verilerken, Güneş Panelinden aldığımız elektrik enerjisiyle, Güneş panelinin çıkışında maksimum gücü kullanarak, tek fazlı bir AC motorun deneysel olarak çalıştırılması gerçekleştirilmiştir. Çıkış ve giriş güçlerinin oranlamasıyla, sistemin verimi, %96 olarak hesaplanmıştır. Bu da, kurulum maliyeti yüksek olan Güneş Paneli sistemleri için iyi bir sonuç olarak kabul edilebilir ve bir çok uygulama alanı bulabileceği düşünülmektedir.

3.Deneysel Çalışma

Deneysel çalışma, %100 Güneş ışınlı için ($G=100$), Şekil 3'deki uygulama devresi kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3. Sistemin uygulama devresi

Şekil 4. PVG'nin çıkış gerilimini göstermektedir.

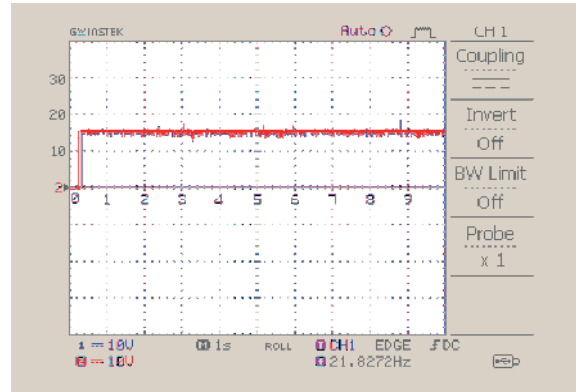
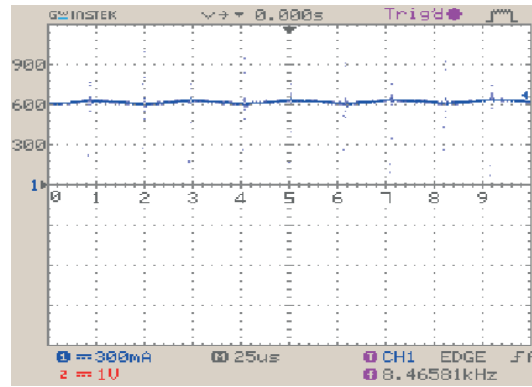


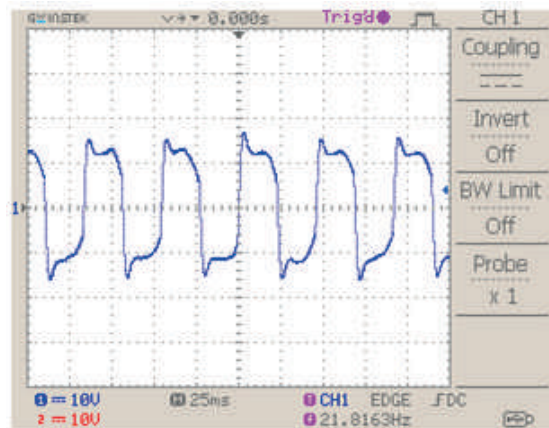
Fig. 4 Ölçülen PVG geriliminin zamana göre değişimi ($G = 100$).

Şekil 5, $G=100$ için PVG akımının zamana göre değişimini göstermektedir. PVG akımı küçük değerli bir direnç ($0,708 \Omega$) üzerindeki voltajın ölçülmesiyle dolaylı olarak ölçülmüştür. Bu şekilden PVG akımının ortalama kararlı durum değerinin yaklaşık $0,61$ A olduğu görülmektedir. PVG çıkış voltajının ölçülen değerlerini kullanarak PVG gücü, $P_{PVG}=16,4 \times 0,61=10$ W olarak elde edilmiştir[1].

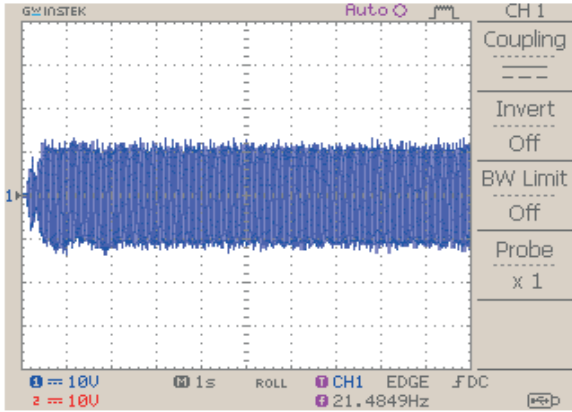


Şekil 5 Ölçülen PVG akımının zamana göre değişimi ($G = 100$).

Diğer taraftan, çıkış gücü için, motor anlık geriliminin 120 volt (rms) olarak ölçüldüğü görülmektedir. Çıkışta kullanılan AC motorun kararlı durum ve sürekli hal gerilimleri Şekil 6 ve Şekil 7'de görülmektedir.

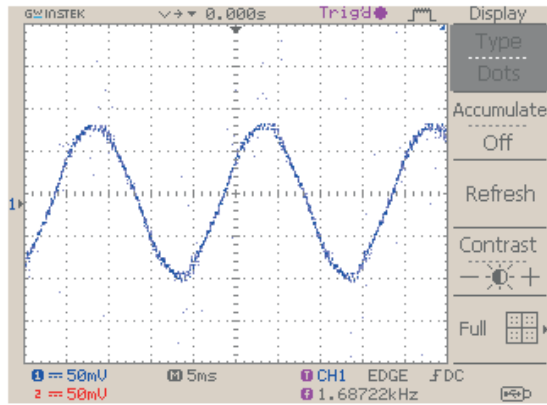


Şekil 6 Ölçülen AC Motorun kararlı durumu gerilimi ($G = 100$).



Şekil. 7 Ölçülen AC Motorun sürekli durumu gerilimi (G = 100).

Çıkışta kullanılan AC motorun akımı, küçük değerlikli bir direnç üzerindeki gerilimin ölçülmesiyle elde edilmiş ve Şekil 8’ de gösterilmiştir.



Şekil. 8 Ölçülen AC Motorun akımı (G = 100).

Şekil 8’deki sinyalin akım değeri 0,008 A olarak elde

5. Terimler

C_1	PVG terminal voltaj filtresi kondansatör
C_2	DC link voltaj filtresi kondansatör
δ	Görev döngüsü
G	Yüzde Güneş ışınımı
I_{max}	PVG akımı (P_{max} 'da)
I_{sc}	Kısa devre akımı
I_{out}	Çıkış akımı
LDR	Işığa duyarlı direnç

edilmiştir. Bu durumda sistemin verimi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$P_p = V_p \times I_p = 16,4 \times 0,61 = 10W \text{ ve}$$

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} = 120 \times 0,008 = 9,6 \text{ W olarak elde edilmiştir.}$$

Buradan sistemin verimi;

$$\eta = P_{out}/P_p = 9,6W/10W = 0,960 \text{ \%}96 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

4. Sonuçlar

Bu makalede, yeni bir mikrodenetleyici tabanlı MPPT devresi önerilmiştir. Sistem bir PV panelden, bir MPPT olarak çalışan DC-DC yükseltici dönüştürücüden, DC-DC yükseltici dönüştürücüye eklenen iki düzleştirici kapasitör , bir evirici devre ve yük olarak bir AC motordan oluşmaktadır. Sistemin devresi ilk defa deneysel olarak uygulaması yapılarak gerçekleştirilmiştir. Basit manipülasyonlar ve hesaplamalar için PV dizisinin modellenmesinde Akbaba Modeli kullanılmıştır. Sistemin tüm performansı, güneş ışınımı yüzdesi ve ölçülen çıkış voltajı ile belirlenmektedir. Yani, sistem, sadece güneş ışınım verisinin ve giriş olarak yük voltajının ölçülmesine ihtiyaç duymaktadır ve kapalı döngü sistemi olarak çalışmaktadır. DC-DC dönüştürücüsü için sabit bir frekans seçilir ve PVG'yi maksimum güç yörüngesinde çalıştırmak için gereken gerekli görev döngüsü, bir mikro denetleyici tarafından uyarlanır şekilde üretilir. Bu çalışmada önerilen MPPT devresinin literatürde mevcut diğer MPPT sistemlerine kıyasla uygulanması çok kolay ve aynı zamanda maliyet açısından uygun olduğu önerilmektedir. Sistemin verimi doğrudan deneysel olarak gerçekleştirilen devre ile belirlenmiştir. % 100 güneş ışınımında deneysel çıkış gücü 10 W olarak elde edilmiş ve ölçülen çıkış voltajından hesaplanan çıkış gücü 9,6 W olarak elde edilmiştir. Buna göre sistem verimliliği %96 olarak elde edilmiştir. Sistemin basitliği ve maliyet etkinliği ile birlikte %96 gibi yüksek bir sistem verimliliği göz önüne alındığında, önerilen sistem geniş bir uygulama alanı bulabilir.

P_{max}	Maksimum güç
P_{out}	Çıkış yük gücü
P_p	Panel gücü
V_p	Panel gerilimi
I_p	Panel akımı
V_{out}	Çıkış gerilimi
V_{oc}	Açık devre voltajı
V_{max}	PVG voltajı (P_{max} 'da)
η	Sistem verimi

6. Referanslar

- [1] Razikov, T.M., Ferekides, C.S., Morel, D., Stefanekos, E., Ullal, H.S., Upadhyaya, H.M.: "Solar Photovoltaic Electricity: Current Status and Future Prospects, " Solar Energy, vol. 85, issue 8, pp. 1558-1608, 2011.
- [2] Goksenli, N., Akbaba, M.: "Development of a new microcontroller based MPPT method for photovoltaic generators using Akbaba model with implementation and simulation," Solar Energy, vol.136,pp. 622-628, 2016.
- [3] Akbaba, M.: "Matching Induction Motors to PVG for Maximum Power Transfer," Desalination, vol. 209, no. 1, pp. 31-38, 2007.
- [4] Appelbaum, J., Sarma, M. S.: "The Operation of Permanent Magnet DC Motors Powered by a Common Source of Solar Cells," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 4, no. 4, pp. 635-642, 1989.
- [5] Saied, M. M.: "Matching of DC Motors to Photovoltaic Generators for Maximum Daily Gross Mechanical Energy," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 3, no. 3, pp. 465-472, 1988
- [6] Saied, M. M., Monji, G. J.: "Optimal Solar Array

- Configuration and DC Motor Field Parameters for Maximum Annual Output Mechanical Energy," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 4, no. 3, pp. 459-465, 1989.
- [7] Zinger, Z., Braunstein, A.: "Dynamic Matching of a Solar-electrical/Photovoltaic/System - An Estimation of the Minimum Z Requirements on the Matching System," *IEEE Transactions on Power Apparatus Systems*, vol. PAS-100, no. March, pp. 1189-1192, 1981.
- [8] Akbaba, M., Akbaba, M. C.: "Dynamic Performance of a Photovoltaic-Boost Converter Powered DC Motor-Pump System," in *Electric Machines and Drives Conference*, 2001, pp. 356-361.
- [9] Akbaba, M.: "Optimum Matching Parameters of an MPPT Unit Used for a PVG- Powered Water Pumping System for Maximum Power Transfer," *International Journal of Energy Research*, vol. 30, pp. 395-409, 2006
- [10] Ghosh, S., Malla, G., Bhende, C. N.: "Small-Signal Modelling and Control of Photovoltaic Based Water Pumping System," *ISA Transactions*, vol. 57, no. July, pp. 382-389, 2015.
- [11] Huynh, P., Cho, B. H.: "Design and Analysis of a Microprocessor-Controlled Peak-Power-Tracking System [for Solar Cell Arrays]" *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 32, no. 1, pp. 182-190, 1996.
- [12] Hiyama, T., Kouzuma, S., Imakubo, T., Ortmeier, T. H.: "Evaluation of Neural Network Based Real Time Maximum Power Tracking Controller for PV System," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 10, no. 3, pp. 543-548, 1995.
- [13] Enslin, J. H., Wolf, M. S., Snyman, D. B., Swiegers, W.: "Integrated Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Converter," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 44, no. 6, pp. 769-773, 1997.
- [14] Maheshappa, H. D., Nagaraju, J., Murthy, M. V. K.: "An Improved Maximum Power Point Tracker using a Step-Up Converter with Current Locked Loop," *Renewable Energy*, vol. 13, no. 2, pp. 195-201, 1998.
- [15] Ro, K., Rahman, S.: "Two-Loop Controller for Maximizing Performance of a Grid-Connected Photovoltaic-Fuel Cell Hybrid Power Plant," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 13, no. 3, pp. 276-281, 1998.
- [16] Hua, J., Lin, C.: "Implementation of a DSP-Controlled Photovoltaic System with Peak Power Tracking," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 45, no. 1, pp. 99-107, 1998.
- [17] Brambilla, "New Approach to Photovoltaic Arrays Maximum Power Point Tracking," in *30th Power Electronics Specialists Conference*, 1999, vol. 2, pp. 632-637.
- [18] Veerachary, M., Senjyu, T., Uezato, K.: "Feedforward Maximum Power Point Tracking of PV Systems using Fuzzy Controller," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 38, no. 3, pp. 969-981, 2002.
- [19] Koutroulis, E., Kalaitzakis, K., Voulgaris, N. C.: "Development of a Microcontroller-Based, Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Control System," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 16, no. 1, pp. 46-54, 2001.
- [20] Masoum, M.A., Dehbonei, H., Fuchs, E. F.: "Theoretical and Experimental Analyses of Photovoltaic Systems with Voltage and Current-based Maximum Power-Point Tracking," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 17, no. 4, pp. 514-522, 2002.
- [21] Tse, K. K., Ho, M. T., Chung, H. S. H., Hui, S. Y. R.: "A novel Maximum Power Point Tracker for PV Panels using Switching Frequency Modulation," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 17, no. 6, pp. 980-989, 2002.
- [22] Muhida, R., Park, M., Dakkak, M., Matsuura, K., Tsuyoshi, A., Michira, M.: "A Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic-SPE System using a Maximum Current Controller," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 75, no. 3, pp. 697-706, 2003
- [23] El-Shafy, A., Nafeh, F. H., Fahmy, El-Zahab, E. M. A.: "Evaluation of a Proper Controller Performance for Maximum-Power Point Tracking of a Stand-Alone PV System," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 75, no. 3, pp. 723-728, 2003.
- [24] Akbaba, M.: "Matching Three-phase AC Loads to PVG for Maximum Power Transfer using an Enhanced Version of the Akbaba Model and Double Step-Up Converter," *Solar Energy*, vol. 75, no. 1, pp. 17-25, 2003.
- [25] Akbaba, M., Alattawi, M. A. A.: "A New Model for I-V Characteristic of Solar Cell Generators and its Applications," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 37, no. 2, pp. 123-132, 1995.
- [26] Akbaba, M.: "Performance Analysis of Solar Cell Arrays Loaded with Passive Loads," *Applied Energy*, vol. 52, no. 2, pp. 209-218, 1995.
- [27] Bhat, S. R., Pittet, A., Sonde, B. S.: "Performance Optimization of Induction Motor-Pump System using Photovoltaic Energy Source," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. IA-23, no. 6, pp. 995-1000, 1997,
- [28] Koner, P. K., Joshi, J. C., Chopra, K. L.: "Matching Analysis of Photovoltaic Powered DC Series Motors and Centrifugal Pumps by Varying Motor Constants," *International Journal of Energy Research* vol. 16, no. 4, pp. 301-313, 1992.
- [29] Saied, M. M., Hanafy, A. A., El-Gabaly, M. A., Safar, Y. A., Jaboori, M. G., Yamin, K. A., Sharaf, A. M.: "Optimal Design Parameters for a PV Array Coupled to a DC Motor via a DC-DC Transformer," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 6, no. 4, pp. 593-598, 1991.
- [30] Saied, M. M., Jabbori, M. G.: "Optimal Solar Array Configuration and DC Motor Field Parameters for Maximum Annual Output Mechanical Energy," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 4, no. 3, pp. 459-465, 1989.
- [31] Alghuwainem, S. M.: "Steady-State Performance of DC Motors Supplied from Photovoltaic Generators with Step-Up Converter," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 7, no. 2, pp. 267-272, 1992.
- [32] Roger, J. A.: "Theory of the Direct Coupling between DC Motors and Photovoltaic Solar Arrays," *Solar Energy*, vol. 23, no. 3, pp. 193-198, 1979.
- [33] Langridge, W., Lawrance, B. W.: "Development of a Photovoltaic Pumping System using a Brushless DC Motor and Helical Rotor Pump," *Solar Energy*, vol. 56, no. 2, pp. 151-160, 1996.

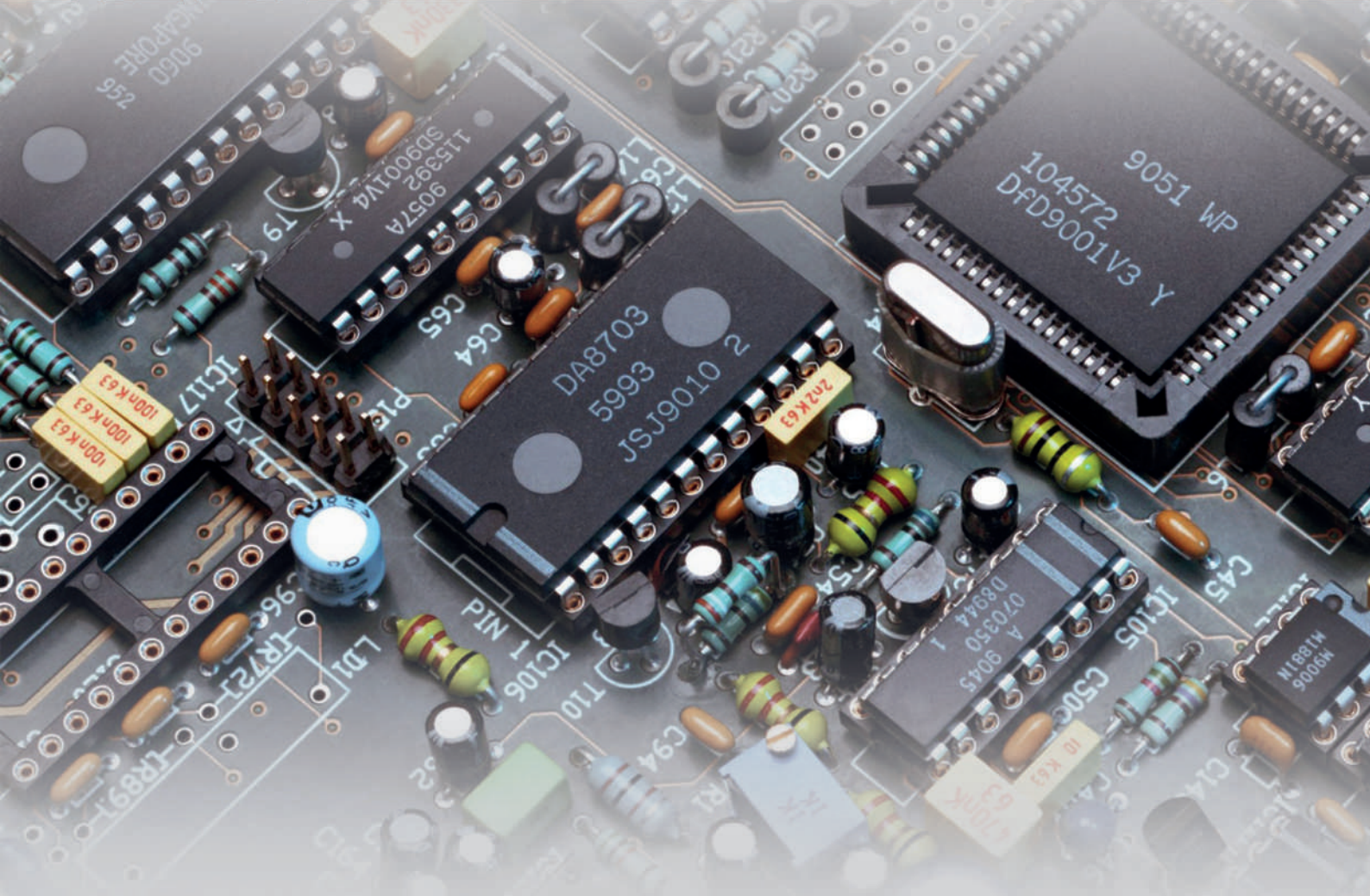


EEMKON 2017

16-18 KASIM 2017

Harbiye Askeri Müze Kültür Sitesi

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ



ELEKTRONİK SANAYİ SEMPOZYUMU BİLDİRİLERİ

Acil Aydınlatma ve Yönlendirme Otomasyonu

Kevork Benlioğlu

Elektronik Cihazlar Sanayi ve Ticaret AŞ.
EEC ELECTRONICS

kevork.benlioglu@eecedronics.com.tr

Özet

Acil Aydınlatma bir binada can emniyeti sağlayan önemli unsurlardan birisi olduğu halde normal şartlarda ihtiyaç duyulan bir aydınlatma türü değildir. Ancak acil bir durumda ne zaman ortaya çıkacağı belli olmadığı için Acil Aydınlatma armatürlerinin her an gerektiği gibi çalışacak şekilde hazır olması gerekmektedir.

Acil aydınlatma sisteminin gerçek performansı sadece sistematik test ve bakım yapmak suretiyle garanti altına alınabilir. Test yapmak için kullanılan klasik teknikler güvenilir olmasına rağmen, pratikte insan faktörü dolayısıyla ihmal edilmekte ya da yapılamamaktadır. Klasik tekniklerde yaşanan bu problemler, otomasyon sisteminin kurulması ile kolayca önlenir. Bu sayede Acil Aydınlatma armatürlerinde oluşacak bir arıza veya performans kaybı zamanında tespit edilerek erken müdahale ile sistemin gerçek performansta çalışması garanti altına alınabilir.

Yine kullanıcı sayısı fazla olan binalarda yangın sistemi ile entegre olarak çalışan Acil Aydınlatma otomasyonu ile doğru ve hızlı bir tahliye yapılabilir.

Bu bildiriye; Acil Aydınlatma Sistemi, Otomatik Self Test Özelliği, Merkezi İzleme ve Otomasyon seçenekleri incelenmektedir.

Abstract

The Emergency Lighting System is one of major life safety part in the buildings although it's not necessary under normal conditions. Since we don't know when the emergency situation occurs, we should keep the emergency lighting systems as if they are always ready to work.

The real performance of the emergency lighting system can be ensured only via systematical tests and maintainance. The standard test methods are reliable but not practical since they are depend on human factor. Those problems by classical technics can be avoid easily by establishing automation systems which allows to identify any failure or any performance loss just in time and fix them as well.

It's highly recommended to integrate the emergency lighting system into fire system in huge buildings with lot of users for healthy and fast evacuation.

Emergency lighting system, test function, central monitoring and automation options are analysed in this bulletin.

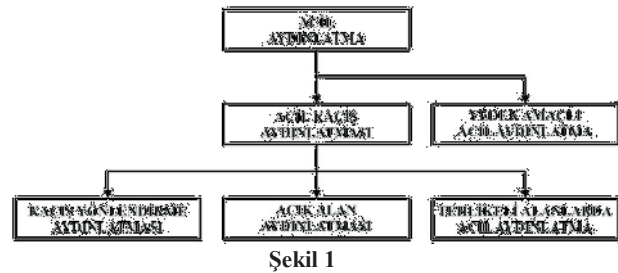
1. Giriş

20. yüzyıl ortasından itibaren sanayi, ticaret ve kentleşmenin gelişmesi ile birbirinden güzel modern yapılar ortaya çıkmış ve bu yapılarda can güvenliği tedbirleri önem kazanmıştır. Gelişmiş ülkeler yangına karşı can güvenliğinin sağlanması açısından yasa, yönetmelik ve standartlar çıkartarak tedbirler almış ve yaşanan üzücü olaylardan sonra gerekiyorsa bazı dersler çıkartarak almaya devam etmektedir. Acil Aydınlatma konusu da bu tedbirlerden birisidir.

Tüm ülkeler gibi ülkemizde de, topluma açık binalarda Acil Aydınlatma Sisteminin kurulması ve periyodik testlerinin yapılması yasal bir zorunluluktur ancak etkin periyodik testlerinin yapılmaması veya yapılamaması sonucu bu sistemler bir süre sonra etkinliğini kaybetmektedir.

2. Sınıflandırma

EN 1838 standardı, Acil Aydınlatmayı Şekil 1'deki gibi sınıflandırmaktadır.



Şekil 1

Acil Aydınlatma (Emergency Lighting): Normal aydınlatma sistemi beslemesinde bir hata durumunda öngörülen aydınlatmadır.

Yedek Amaçlı Acil Aydınlatma (Standby Lighting): Acil bir durum olmadan yaşanan elektrik kesintilerinde normal çalışmaların devamı için öngörülen acil aydınlatma türüdür. Bu tür aydınlatma acil durum kaçış aydınlatma senaryolarına dahil edilmez.

Acil Kaçış Aydınlatması (Emergency Escape Lighting): Acil bir durumda insanların binadan güvenli bir şekilde tahliye edilmesini sağlarken, potansiyel tehlikelere müdahale ve ilkyardım yapılmasına imkan sağlayan bir acil aydınlatma türüdür.

Kaçış Yönlendirme Aydınlatması (Escape Route Lighting): Acil bir durumda, kaçış yollarını aydınlatarak ilgili alanın güvenli bir şekilde boşaltılması amacıyla kaçış yönünü açıkça göstererek insanların binadan güvenli bir şekilde tahliye edilmesine imkan sağlayan bir acil aydınlatma türüdür.

Kaçış Yönlendirme Aydınlatması (Escape Route Lighting): Acil bir durumda, kaçış yollarını aydınlatarak ilgili alanın güvenli bir şekilde boşaltılması amacıyla kaçış yönünü açıkça göstererek insanların binadan güvenli bir şekilde tahliye edilmesine imkan sağlayan bir acil aydınlatma türüdür.

Açık Alan Aydınlatması (Open Area Lighting, Anti-Panic Lighting): Acil bir durumda, tanımlanmış olan kaçış yollarına ulaşılmasını sağlayan diğer bölümler, 60m²'den büyük bölgeler, sığınaklar veya toplanma bölgeleri için öngörülen bir acil aydınlatma türüdür.

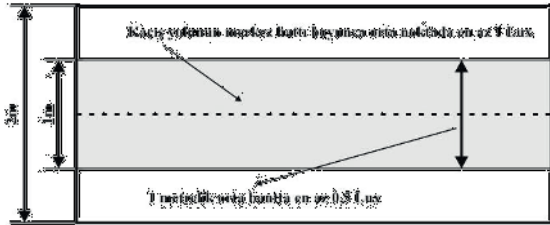
Yüksek Riskli Çalışma Alanı Aydınlatması (High Risk Task Area Lighting): Acil bir durumda, tehlikeli bir işlem veya durumun oluşabileceği yerlerde bulunan kimselerin güvenliği için yapılan ve bazı sistemler için kullanıcılarına uygun devreden çıkarma işlemlerine olanak tanıyan bir acil aydınlatma türüdür.

3. Kaçış Yollarında Acil Aydınlatma

Acil bir durumda tahliye için belirlenmiş olan yola Kaçış Yolu denir. Gerçek bir kaçış yolu, bir yapının herhangi bir noktasından yer seviyesindeki caddeye kadar olan devamlı ve engellenmemiş kaçış yolunun tamamıdır. Kaçış yolları kapsamına bir bütün olarak; oda ve diğer bağımsız mekanlardan çıkışlar, her kattaki koridor ve benzeri geçitler, kat çıkışları, zemin kata ulaşan merdivenler, zemin katta merdiven başından aynı kattaki binanın son çıkışına götüren yollar ve son çıkış, dahildir. Asansörler kaçış yolu olarak kabul edilemez. Yangın merdivenleri de kaçış yolunun bir bölümüdür.

2 metre genişliğine kadar olan kaçış yollarında, kaçış yolunun merkez hattı boyunca, döşeme seviyesi üzerinde, herhangi bir noktada acil aydınlatma seviyesi en az 1 lux olmalıdır. Kaçış yolu genişliğinin yarısından az olmaması gereken orta bant ise en az 0,5 Lux ile aydınlatılmalıdır. 2 metreden geniş kaçış yolları yan yana 2 metrelik kaçış yolları veya 4. Bölümde anlatılan açık alan olarak tasarlanmalıdır. (Şekil 2)

Kaçış yolunun merkez hattı boyunca en az ve en fazla aydınlatılan noktalar arasındaki oran 40:1'den daha fazla olmamalıdır. Acil aydınlatma seviyesi açısından olması gereken değer yarısı 5 saniye, tamamı ise 60 saniye içinde sağlanmalıdır.



Şekil 2

4. Açık Alanlarda Acil Aydınlatma

Açık Alanlarda, döşeme seviyesi üzerinde aydınlatma şiddeti en az 0.5 Lux olmalıdır. Alanın 0.5 metre çevre kenarları aydınlatma kapsamına dahil değildir. Açık alanlarda en fazla

ve en az aydınlatılan noktalar arasındaki oran 40:1'den daha fazla olmamalıdır. (Şekil 3)



Şekil 3

Kaçış yolunun merkez hattı boyunca en az ve en fazla aydınlatılan noktalar arasındaki oran 40:1'den daha fazla olmamalıdır. Acil aydınlatma seviyesi açısından olması gereken değer yarısı 5 saniye, tamamı ise 60 saniye içinde sağlanmalıdır.

İlk yardım teçhizatı, yangın alarmı, yangın söndürme, yangına dolabı ve yangın uyarı butonu gibi cihazlar kaçış yolu veya açık alan içinde değilse döşeme seviyesinde aydınlatma şiddeti en az 5 lux olmalıdır.

5. Tehlikeli Alanlarda Acil Aydınlatma

Elektrik kesildiğinde kapatılarak devreden çıkarılması gereken cihazlar, enerji dağıtım, üretim ve endüstriyel proses kontrol odaları veya kazan, kimyasal banyo, hareketli makine, elektrik kesildiğinde derhal durmayan bir konveyör vb. yerler yüksek riskli ve tehlikeli alan sınıfına girerler.

Tehlike riski yüksek alanlarda acil aydınlatma seviyesi çalışma alanında en az 15 lux olmak üzere, normal aydınlatma seviyesinin %10'undan az olmamalıdır. Ayrıca hareketli makinelerin (örneğin pervane, torna vb.) duruyormuş gibi görünmesine yol açan stroboskopik etki oluşmamalıdır.

Bu tür alanlarda en az ve en fazla aydınlatılan noktalar arasındaki oran 10:1'den daha büyük olmamalıdır. Acil aydınlatma seviyesi açısından olması gereken değer 0.5 saniye içinde sağlanmalı ve risk devam ettiği sürece acil aydınlatma devam etmelidir.

6. Acil Aydınlatma Sistemi Yerleşim Esasları

Acil aydınlatma sisteminde bulunan yönlendirme ve aydınlatma sağlayan cihazların nerelere hangi şartlarla, hangi amaca yönelik monte edilmesi gerektiği aşağıdadır;

Ana Çıkış Kapısının Üzerinde: Ana çıkış kapısının üzerinde yönlendirme işareti olmalıdır. Çıkış yolu üzerinde bulunan diğer kapıların üzerinde de yönlendirme işareti olmalıdır. Montaj yükseklikleri en fazla 2.5 metre olmalıdır.

Son Çıkış Kapısının Dışında: Tahliyenin yavaşlamaması ve binadan çıkanların dışarıda karanlıkta kalmaması açısından son çıkış kapısının dışında bir aydınlatma cihazı bulunmalıdır.

Koridorlarda: Koridorların tahliye açısından aydınlatılmış olması gerekir. Koridorun sonunda bir kapı varsa kapı üzerinde bir yönlendirme işareti bulunmalıdır.

Koridor geçildikten sonra veya kapı çıkışında başka bir yönlendirme işareti görülmelidir.

Koridorların Dönüş Noktalarında: Tahliye sırasında yön değişimi gerekiyorsa burada tahliye hızını aksatmamak için aydınlatma cihazı ve yönlendirme işareti olmalıdır.

Koridorların Kesişme Noktalarında: Koridorların kesişme noktasında farklı yönlerden gelen kimselerin çarpışmadan doğru yöne devam etmeleri açısından aydınlatma cihazı olmalı bu noktaya ulaşınca bir yönlendirme işareti görülmelidir.

Her Işıksız Yönlendirme İşaretinin Yanında: Dışarıdan aydınlatılan ışıksız yönlendirme işaretleri bir acil aydınlatma cihazı ile aydınlatılmalıdır. Aydınlatma cihazının işarete yatay düzlemde uzaklığı en fazla 2 metre olmalıdır.

Döşeme Seviyesinin Değiştiği Yerlerde: İnsanların tahliye sırasında takılıp yuvarlanmaması için döşeme seviyesinin değiştiği yerlerde bir aydınlatma cihazı bulunmalıdır. Buraya takılıp yuvarlanan bir kişi arkadan gelenlere engel olabileceği gibi kendisinin de ezilme ve yaralanma riski vardır. Acil aydınlatma cihazı, basamağın gölgesi oluşmayacak şekilde, düşük seviyeli kısım tarafına yerleştirilmelidir.

Merdivenlerde: Bir önceki maddedeki gibi merdivenlerde de bir acil aydınlatma cihazı bulunmalıdır. Acil aydınlatma cihazı, merdivenlerin gölgesi oluşmayacak şekilde, merdivenin alt kısmına yakın bir yere yerleştirilmelidir.

Yangın Merdivenlerinde: Yangın merdivenleri de normal merdiven kapsamında değerlendirilmelidir.

Yürüyen Merdivenlerde: Elektrik kesintisinde yürüyen merdivenler normal merdivene dönüşür. Bu nedenle yürüyen merdivenleri de normal merdiven kapsamında değerlendirilmelidir.

Yangın Söndürme Cihazının Bulunduğu Yerlerde: Yangın durumunda yangına acil müdahale edilmesi açısından yangın söndürme tüplerinin ve yangın dolabının görünür durumda olması gerekmektedir. Bu açıdan bu tür noktalarda bir acil aydınlatma cihazı bulunmalı, yangın söndürme cihazına yatay düzlemde uzaklığı en fazla 2 metre olmalıdır.

Yangın Alarm Butonunun Bulunduğu Yerlerde: Ani bir sebeple binanın derhal tahliye edilmesi gerekebilir, alarm sistemini devreye sokarak tahliyeyi başlatmak açısından yangın alarm butonlarının görünür durumda olması gerekmektedir. Bu açıdan bu tür noktalarda bir acil aydınlatma cihazı bulunmalı, yangın alarm butonlarına yatay düzlemde uzaklığı en fazla 2 metre olmalıdır.

İlk Yardım Malzemelerinin Bulunduğu Yerlerde: Acil durumlarda yaralanan kimselere ilk yardım yapılarak derhal müdahale edilmesi açısından ilk yardım teçhizatının görünür durumda olması gerekmektedir. Bu açıdan bu tür noktalarda bir acil aydınlatma cihazı bulunmalı, ilk yardım teçhizatına yatay düzlemde uzaklığı en fazla 2 metre olmalıdır.

İlk Yardım Odalarında: Acil durumlarda yaralanan kimselere ilk yardım yapılarak acil müdahale edilmesi açısından ilk yardım odalarının görünür durumda olması gerekmektedir. Ayrıca oda içinde acil aydınlatma da yapılmalıdır.

Bina Yerleşim Şemasının Bulunduğu Yerlerde: Bina yerleşim ve tahliye planını gösteren şemaların bulunduğu noktaların görünür durumda olması gerekmektedir. Bu açıdan bu tür noktalarda yatay düzlemde uzaklığı en fazla 2 metre olan bir acil aydınlatma cihazı bulunmalıdır.

Asansörlerde: Asansörlerin içinde de acil aydınlatma cihazı bulunmalıdır.

Engelli Tuvaletleri İle 8m²'den Büyük Tuvaletlerde: Bu tür yerlerde karanlıkta kapının bulunması çok zordur karanlıkta panik, düşme ve yaralanmalar olabilir. İnsanların bu tür yerlerden yaralanmadan çıkabilmesi için içeride acil aydınlatma cihazı bulunmalıdır.

Tehlike Riski Yüksek Hareketli Makine veya Kimyasal Banyoların Bulunduğu Alanlarda: Tehlike riski yüksek mahallerde kazaların oluşmaması için acil aydınlatma cihazı bulunmalıdır.

Jeneratör Odalarında: Elektrik üretim mahallerinde gerektiğinde elektrik sistemine kontrol ve kumanda edilmesi açısından acil aydınlatma cihazı bulunmalıdır. Tehlikeli alan olarak değerlendirilmeli ve buna göre acil aydınlatma yapılmalıdır.

Elektrik ve Kumanda Odalarında: Elektrik dağıtım mahallerinde gerektiğinde elektrik sistemine kontrol ve kumanda edilmesi açısından acil aydınlatma cihazı bulunmalıdır. Tehlikeli alan olarak değerlendirilmeli ve buna göre acil aydınlatma yapılmalıdır.

Garajlarda ve Yaya Yollarında: Bina içinde bulunan kapalı garajlarda ve yaya yollarında risksiz bir tahliye için acil aydınlatma cihazı bulunmalıdır.

7. İşaretler Ve Parlaklık Seviyeleri

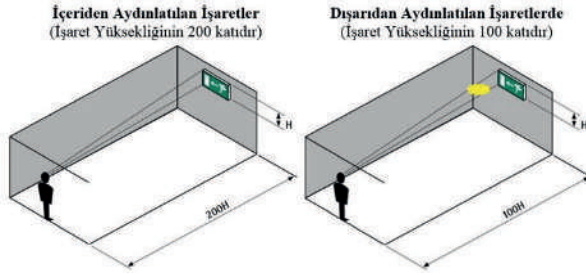
Acil Aydınlatma ile ilgili işaretler için ISO 3864 serisi standartlar kullanılmaktadır. Bu kapsamda aşağıdaki işaret ve muhtelif yönlerde ok kullanılmalıdır. Grafik işaretin muhakkak kullanılmalı isteniyorsa grafik işaretin yanına Çıkış, Acil Çıkış Çıkış/Exit vb yazı ilave edilebilir. İşaretin parlantısı açısından yeşil alan en az 2 Cd/m² olmalı, gerek yeşil gerek beyaz alanda en çok ve en az parlak noktalar arası oran 10:1'den fazla olmamalı, beyaz ve yeşil işaret arası kontrast da 1:5 ile 1:15 arasında olmalıdır.



Şekil 4

8. Azami Görüş Mesafeleri

Acil aydınlatmada kullanılan yönlendirme işaretleri madde içeriden veya dışarıdan aydınlatılan tipte seçilebilir. Azami Görüş Mesafesi, içeriden aydınlatılan işaretler için işaret yüksekliğinin 200 katı iken, dışarıdan aydınlatılan işaretler için 100 katıdır. (Şekil 5)



Şekil 5

Acil Aydınlatma Sisteminde tasarım yapılırken işaret yüksekliği ve kaçış mesafeleri bu açıdan önem kazanmaktadır. Mesela 30 metre uzunluğundaki bir koridorun sonuna işaret yüksekliği en az 15cm olan içeriden aydınlatılan tipte acil durum yönlendirme armatürü yerleştirilmelidir. Eğer mimari/estetik gereklerden dolayı bu armatür 10 cm işaret yüksekliğinde seçilmişse, koridorun başından görülemez bu nedenle koridorun ortasına da bir tane ilave edilerek iki adet kullanılması gerekir.

9. Çalışma Süresi Seçimi

Şebeke geriliminin normal sınırlarının altına düşmesi veya kesilmesi durumunda acil aydınlatma devreye girmeli ve beyan çalışma süresi boyunca beyan lümen çıkışı sağlanmalıdır. Kaçış yollarında ve açık alanlarda, tahliye amaçlı acil aydınlatma süresi en az 1 saat olmalıdır. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik gereği kullanıcı yükü 200'den fazla olan binalarda acil aydınlatma süresi en az 2 saat olmalıdır. Sağlık hizmeti amaçlı (hastane, huzurevi, vb.) binalarda, engelli eğitimi amaçlı eğitim kurumlarında, tahliyenin normal hızda olamayacağı belli olan binalarda acil aydınlatma süresi 1 saatten daha fazla seçilebilir. Binanın tehlike riski yüksek bölgelerinde ise risk devam ettiği süreçte acil aydınlatma sağlanmalıdır.

10. Çalışma Modu Seçimi

Acil aydınlatma ve yönlendirme armatürleri yaygın olarak tipte çalışırlar.

Kesintide Yanan (non-maintained): Bu tip cihazlarda lamba şebeke gerilimi normal durumda iken sönmük olup, şebeke arızası durumunda yanmaya başlar. Binayı hep aynı kimseler kullanıyorsa yani kullanıcılar binaya yabancı değilse bu tip seçilebilir.

Sürekli Yanan (maintained) : Yaygın olarak kullanılır, bu tip cihazlarda lamba şebeke gerilimi normal durumda iken yanar, şebeke arızası durumunda da lamba yanmaya devam eder. Toplumun açık binalarda bu tür çalışma modu seçilmelidir. Bazı türüleri lamba harici bir anahtar takılarak istendiğinde söndürülebilir. Bu özelliğinden dolayı güvenlik aydınlatması maksadı ile kullanılır.

11. Otomatik Test Özelliği

Acil Aydınlatma, binada yangın, deprem, terör, sabotaj vb. nedenlerle normal aydınlatma sistemi devre dışı kaldığında, derhal ve otomatik olarak devreye girerek, hızlı ve emniyetli bir tahliye sağlayan bir aydınlatma türüdür ancak Acil

Aydınlatma normal şartlarda kullanılan ya da ihtiyaç duyulan bir aydınlatma türü değildir. İhtiyaç olduğunda gerektiği gibi çalışması açısından bakım ve testlerin periyodik olarak yapılması ve kayıtlarının tutulması EN 50172 standardı ve Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik ile zorunlu tutulmaktadır. Ancak pratikte cihaz sayısı çok olan binalarda periyodik testlerin bireysel olarak yapılması, yüksek işçilik maliyetleri, cihazlara ulaşım zorluğu, insan faktörü, kayıt problemleri gibi nedenlerle çok zordur.

Klasik tekniklerde yaşanan bu problemler, Otomatik Test ve uzaktan izleme sayesinde kolayca önenebilir. Bu sayede Acil aydınlatma armatürlerinde oluşacak bir arıza yada performans kaybı zamanında tespit edilerek erken müdahale ile sistemin gerçek performansında çalışması garanti altına alınabilir.

EN 62034 Bataryadan Beslenen Acil Kaçış Aydınlatması İçin Otomatik Test Sistemleri (Automatic Test Systems for Battery Powered Emergency Escape Lighting) Standardına göre Acil Aydınlatma cihazları belli dönemlerde kendi kendilerini aşağıdaki gibi test ederler.

Fonksiyon Testi : Cihaz içinde bulunan lambanın ve bataryanın doğru çalıştığını kontrol etmek için yapılan testtir. Fonksiyon Testi ayda en az bir kere yapılmalı, testin süresi, lamba aydınlatma çıkışının kontrol edilmesi açısından yeteri kadar uzun fakat acil aydınlatma sistemlerinde kullanılması zorunlu olan yüksek sıcaklık tipi nikel-kadmiyum bataryaların tekrarlanan kısa süreli boşalmalar nedeniyle kapasite kaybına uğramaması açısından beyan çalışma süresinin %10'undan az olmalıdır. Pratikte 1 dakika test süresi yeterlidir. Programlanmış bir Fonksiyon Testinden 24 saat önce şebeke gerilimi kesilmiş ise Test zamanı 1 ile 7 gün sonrasında kadar otomatik olarak ertelenerek yeniden programlanmalıdır. Cihazda herhangi bir arıza varsa 24 saat içerisinde gösterilmeli veya kaydedilmelidir.

Süre Testi : Cihazın acil durumda gerektiği kadar çalışıp çalışmayacağını kontrolü amacıyla yapılan testtir. Cihaz çalışmaya başladıktan 4 ile 52 hafta sonra rasgele ve otomatik olarak başlar ve Fonksiyon Testinin yanı sıra beyan çalışma süresini kontrol eder. Programlanmış bir Süre Testinden 24 saat önce şebeke gerilimi kesilmiş ise Test zamanı 1 ile 7 gün sonrasında kadar otomatik olarak ertelenerek yeniden programlanır.

Testlerin Manuel Olarak Yapılması : Kullanıcı veya Acil Aydınlatma Sistemi denetleyicisi herhangi bir anda sistemin performansını görmek isteyebilir bu açıdan Fonksiyon Testi ile Süre Testinin manuel olarak yapılabilmesi gerekir. Testi başlatmak için cihaz üzerinde bulunan buton veya butonlar kullanılmalıdır. Genellikle bir butona kısa süre basılırsa Fonksiyon Testi, uzun süre basılırsa yada ardarda birkaç kez basılırsa Süre Testi başlatılır. Manuel Testin nasıl yapılacağı ürün talimatında yazılı olmalıdır. Fonksiyon testi kısa sürdüğü için (1 dakika) istendiği an yapılabilir ancak Süre Testinin yapılabilmesi için 24-72 saat önce şebeke gerilimi kesilmemiş olması gerekmektedir.

Test Sonuçlarının Gösterilmesi ve Kayıt Yapılması : Otomatik Test Sistemi bütün test sonuçlarının göstermelidir. Şebeke gerilimi normal durumda ise bunu da gösteren bir gösterge olmalıdır. Gösterge olarak EN-60598-2-22 Standardında bahsedilen standart göstergeler de kullanılabilir.

Merkezi sistemlerde test sonuçları görsel bir uyarı veya arızanın görsel ve işitsel olarak uyarılması ile elektronik olarak hafızada depolanmalıdır.

12. Merkezi İzleme Seçenekleri

Otomatik Test özelliği sayesinde acil aydınlatma armatürlerinde oluşacak bir arıza yada performans kaybı tespit edildikten sonra, bu durumun merkezi izleme sistemine aşağıda bahsedilen seçeneklerle iletilmesi durumunda sistemin gerçek performansında çalışması garanti altına alınabilir.

Merkezi Acil Aydınlatma İzleme Paneli ve Bu Panel İle Uyumlu Acil Aydınlatma Armatürleri İle : Bu seçenekte merkez olarak adlandırılan bölgeye bir Acil Aydınlatma İzleme Paneli yerleştirilir.

Panelin loop olarak adlandırılan data çıkışına acil aydınlatma armatürleri ardarda bağlanır ve bu loop sahayı dolaştıktan sonra tekrar panele geri döner. Bu sayede hattaki bir kopma durumunda acil aydınlatma cihazları her iki taraftan da data göndermeye devam ederler.

Bu tür sistemlerde panel ile acil aydınlatma armatürleri aynı yazılım protokolü üzerinden haberleşir. Bu protokol üretici firmaya özel olduğu için panel ve acil aydınlatma armatürleri aynı üreticiden satın alınmalıdır.

Panelin bakım ve testleri periyodik olarak yapılmalıdır. Doğal olarak teknik destek veya arıza durumunda ilgili firmadan destek alınmalıdır.

Her bir loop kapasitesi 128 veya 256 cihaz ile sınırlıdır. Büyük sistemlerde tek bir panel yeterli olmaz birkaç panel kullanılması gerekir. Sistemde yaşanan olaylar panel tarafından hafızaya alınır.

Arıza Röle Konağı Bulunan Acil Aydınlatma Armatürünün Bir Otomasyon Sisteminden İzlenmesi İle:

Bu seçenekte otomatik test özelliği bulunan acil aydınlatma armatürünün içinde herhangi bir arıza veya elektrik kesintisi durumunda konum değiştiren bir arıza röle kontak çıkışı bulunmaktadır.

Bu röle konağı herhangi bir otomasyon sistemine bir adresleme modülü ile bağlanarak konağın pozisyonu dolayısıyla acil aydınlatma armatürünün arıza durumu bir merkezden izlenebilir.

Acil aydınlatma armatürü ile otomasyon sistemi (mesela KNX) birbirinden bağımsız olarak seçilebilir. Bu nedenle binadaki otomasyon sistemine kolayca entegrasyon sağlanabilir. Sistemde yaşanan olaylar panel tarafından hafızaya alınır.

Acil Aydınlatma Armatürünün DALI/ KNX vb Bir Otomasyon Sisteminden İzlenmesi ile: Bu seçenekte DALI uyumlu acil aydınlatma armatürü, DALI otomasyon sistemine doğrudan bağlanarak arıza durumu DALI otomasyon sistemi üzerinden izlenebilir.

DALI sistemi KNX gibi başka otomasyon sistemlerine bir ara bağlantı ünitesi ile (gateway) bağlanabilir. Bu sayede DALI

sisteminde oluşan bir arıza durumu KNX otomasyon sisteminden izlenebilir.

Sistemde yaşanan olaylar merkezi kontrol ünitesi tarafından hafızaya alınır.

13. Dinamik Acil Yönlendirme Sistemi

Bu sistemde monte edilen cihazların yönlendirme işaretleri değişken yapıda olup herhangi bir bölgeden yangın uyarısı alınması durumunda işaretler bu bölgeden kaçışı sağlayacak veya bu bölgeye yönelmeyi engelleyecek şekilde değişir. Bu sayede insanlar serbest olan çıkışlara yönelerek hızlı ve sorunsuz bir tahliye sağlanır.

14. Sonuç

Acil aydınlatma sisteminin bir binanın maliyetinde onbinde bir kadar maliyeti olmadığı halde can emniyeti açısından en önemli unsurlardan birisidir. Modern ve nitelikli binalar tasarlanırken, binayı daha düşük maliyet ile işletmenin yanı sıra can emniyeti için önem arzeden konularda güvenlik ihmallerinin önüne geçmek açısından insan faktörünün devre dışı bırakılması hedeflenmelidir.

Acil aydınlatma ile ilgili cihaz sayısı çok olan binalarda periyodik testlerin kaliteli bir şekilde bireysel olarak yapılması; yüksek işçilik maliyetleri, cihazlara ulaşım zorluğu, güvenlik ihmalleri ve kayıt problemleri gibi nedenlerle çok zordur.

Acil aydınlatma sistemlerinde “Merkezi İzleme” seçeneklerinin kullanılması sistemin sürekli olarak işler durumda kalmasını sağlarken bakım maliyetinden de tasarruf sağlar.

Binaları giderek daha nitelikli hale gelmesi, güvenlikten ödün vermeden insan faktörünün, dolayısıyla maliyetlerin azaltılması isteği ancak Otomatik Self Test özellikli Acil Aydınlatma ürünlerinin daha fazla tanınması ile sağlanacaktır.

Kaynakça

- [1] Tüyak Acil Aydınlatma Sistem Tasarımı ve Uygulama Kılavuzu
- [2] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik
- [3] EN 1838 Standardı, Aydınlatma Uygulamaları, Acil aydınlatma
- [4] EN 50172 Standardı, Acil Kaçış Aydınlatma Sistemleri
- [5] EN 62034 Standardı, Bataryadan Beslenen Acil Kaçış Aydınlatması İçin Otomatik Test Sistemleri
- [6] ISO 3864-1 ve ISO 3864-4 Standartları, Grafik semboller - Güvenlik ile ilgili renk ve işaretler
- [7] EN 62386-202 Standardı, Digital Addressable Lighting Interface

Akıllı Binalarda Yangın Otomasyonu Sesli Uyarı Sistemleri

Fire Automation in Smart Buildings Voice Evacuation Systems

Doğan ALKAN

Elektropanç Elektronik San. Ve Tic. Ltd. Şti.

dogan@elektropanc.com.tr

Özet

Acil anons sistemleri, yapıda oluşan acil bir durumda o yapıdaki kişileri belli bir düzen içinde tahliye etmek amacıyla kurulan sesli uyarı sistemlerdir. Esas amaç panik yaratmaksızın, belli bir düzen içinde kişileri yönlendirmek ve herhangi bir can kaybı olmadan yapıyı tahliye etmektir: Amaç yaşamın korunmasıdır!

Ülkemizde Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik acil anons sistemleri kurulacak yapıların özelliklerini belirlemektedir. Sistemler ise, kurulacağı ülkeye bağlı olarak bazı tasarım ve kurulum kriterlerine uygun olmak zorundadır. Bu kriterler yayınlanan ve zaman zaman güncellenen standartlarda tanımlanmaktadır. Ülkelere göre bu standartlar bazı farklılıklar gösterse de, standartlarda belirtilen kriterlerin temel amacı, sistemleri sürekli gözleyip, denetim altında tutarak, sistemin acil durumda işlevlerini tam ve eksiksiz olarak yerine getirmesini garanti altına almaktır.

Abstract

Sound systems for emergency purposes are voice alarm systems which is aimed to evacuate and mobilize the occupants in the facility in an emergency situations. Main purpose is to evacuate the facility in rapidly and orderly without panic and without any loses of life : Protect the occupants lifes!

Local regulations in Turkey named "The regulation of Protecting the Buildings from Fire" defines where voice evacuations system has to be installed. Voice evacuation equipments has to meet the desing and installation criterias depending on the country regulations. Those criterias defined in standarts which is published and regularly updated by the standart institutes and authorities. Eventhough, those standarts varies by the country, main purposes of defined criterias are to be sure that all the equipments would work as designed and installed by continuously surveillance of the system.

1. Giriş

19.12.2007 tarihli resmi gazetede yayınlanan 27.11.2007 tarihli karar ve yine ilgili maddesi 10.08.2009 tarihinde düzenlenen ve 09.09.2009 tarihli resmi gazetede yayınlanan "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliği" Madde 81, bölüm 7'de sesli uyarı sistemi kurulacak yapıların özelliklerini şöyle belirlemektedir.

"Aşağıda belirtilen yerlerde, otomatik olarak yayınlanan ses mesajları ve yangın merkezinden mikrofonla yayınlanan canlı ses mesajları ile binada yaşayanların tahliyesini veya bina içerisinde yer değiştirmelerini sağlayacak şekilde anons sistemleri kurulması mecburidir.

- Binadaki yatak sayısı 200'den fazla olan otel, motel ve yatakhanelerde,
- Yapı inşaat alanı 5000 m²'den büyük olan veya toplam kullanıcı sayısı 1000 kişiyi aşan topluma açık binalarda, alışveriş merkezlerinde, süpermarketlerde, endüstri tesislerinde ve benzeri binalarda,
- Yapı yüksekliği 51.50 m'yi geçen bütün binalarda"

2. Standart

Tasarlanacak ve kurulacak sistemlerin uyması gereken kriterler ise ülkelerin standart kurum ve kuruluşları tarafından belirlenmektedir. Ülkemiz yangın algılama Avrupa birliği tarafından tanımlanmış olan EN54 numaralı standart "Yangın Algılama ve Yangın Alarm Sistemleri" benimsemiştir. Bununla birlikte, proje bazlı da olsa bazı özel projelerde Amerikan standardı olan NFPA72 de tercih edilebilmektedir. EN54 numaralı Yangın Algılama ve Yangın Alarm sistemleri ana başlıklı standardın sesli uyarı sistemleri ile ilgili bölümleri şu şekildedir:

Bölüm 4 : (EN54-4) Güç kaynakları (Power supply equipment)

Bölüm 16 : (EN54-16) Ses alarm kontrolü ve gösterim donanımı (Voice alarm control and indicating equipment)

Bölüm 24 : (EN54-24) Ses alarm sistemi bileşenleri, hoparlörler (Components of voice alarm systems, loudspeakers)

Bölüm 32 : (TS54-32) Ses alarm sistemleri planlama, tasarım, kurulum, devreye alma, kullanım ve bakım (Planning, design, installation, commissioning, use and maintenance of voice alarm systems)

Kullanılacak acil anons sistemi bileşenlerinin tamamı TS EN54-16 ve EN54-24 sertifikalarına sahip olmalıdır. Bir bileşenin eksikliği, bütünlüğü bozacağından, kabul edilmemelidir.

TS54-32 acil anons sistemi tasarım adımlarını şöyle tanımlamaktadır:

- Gereksinimlerin belirlenmesi:

- a. Yapıdaki risklerin değerlendirilmesi
- b. Bina tahliyesinin planlaması
- c. Diğer sistemlerle birlikte çalışma
2. Planlama ve tasarım:
 - a. Yapıdaki anons zonlarının belirlenmesi
 - b. Bileşenlerin (hoparlörler) seçimi ve yerleşimi
 - c. Kontrol ve göstergelerin belirlenmesi
 - d. Güç kaynaklarının seçimi
 - e. Tesisat (kablo tipi, güzergâh seçimi vb.)
3. Kurulum ve montaj
4. Devreye alma
5. Gereken durumda 3. kişiler tarafından onaylanması
6. Kullanım
7. Bakım, düzenli testler, sistem kapasite ve özelliklerinin değiştirilmesi ve gerektiğinde onarım süreci
8. Mevcut sistemin yeni gereksinimler doğrultusunda tadilatı ya da kapasitesinin artırılması

Avrupa birliği ülkelerinde EN60849 ve TS54-32 standartları uygulanmaktadır. EN60849 standardı, sistem standardı olarak adlandırılmaktadır, çünkü sadece uygulamayı değil, ürünleri de kapsamaktadır. EN54 ile bazı noktalarda çakıştığından, yeniden düzenlenerek EN50849 olarak yayınlanmıştır. TS54-32, EN54 serisine ait olmasına rağmen uyumlaştırılmış (harmonised) standart değildir. Bu nedenle EN54-32 teknik özellikler 'kitapçıdır'. Ancak her ikisi de benzer gereklilikleri tanımlar. İki standardın karşılaştırılması 4. Bölümde tablo halinde özetlenmiştir.

EN54-16 yapılar da kurulacak olan ses alarm kontrolü ve gösterim donanımı, kısaca acil anons sistemi ekipmanlarının test yöntemleri, performans kriterleri ve gerekliliklerini tanımlar. Temel olarak sistem işlevleri sükûnet durumu, acil anons durumu, arıza uyarı durumu ve gerektiğinde devre dışı bırakma durumları için tanımlanmaktadır.

EN54-24 acil anons sisteminde kullanılacak hoparlörlerin test yöntemleri, performans kriterleri ve gerekliliklerini tanımlar. Ancak bu standart özel alanlar ya da uygulamalar ile aktif bileşenli hoparlörleri kapsamaz. Özel alanlar için ek başka standartlar talep edilebilir.

EN54-4 sistemi besleyecek yedek güç kaynaklarına ilişkin gereklilikleri tanımlar. Sistem planlamasında elektrik kesintisinde yapının tahliyesi öngörülüyorsa yedek güç kaynaklarının sistemin sükûnet durumu için en az 24 saat, sesli alarm durumu için en az 30 dakika güç sağlayabiliyor olması gerekir. Aksine, yani elektrik kesintisinde de yapının tahliyesi öngörülüyorsa, yedek güç kaynaklarının acil durum planında belirtilen tahliye süresinin en az 2 katı kadar süre için acil anons sistemine sesli alarm durumunda güç sağlayabiliyor olması gerekir. Bu süreler yapının özelliğine göre daha da fazla olabilir.

Acil anons sistemleri temel olarak otomatik ya da eli ile (manuel) konumda çalışmaktadır. Konumların kendi aralarındaki öncelik acil durum mikrofonu ile yapılan anonslar, manuel olarak başlatılan önceden kaydedilmiş anonslar, otomatik olarak başlatılan önceden kaydedilmiş anonslar ve acil olmayan anonslar olarak tanımlanmıştır.

Acil anons sistemleri malzeme üreticisine göre ya doğrudan yangın algılama sistemine gömülü olarak çalışmakta ya da anons ve yangın algılama sistemlerini üreten farklı üreticilerin

ürünleri çeşitli ara yüzler kullanarak bir arada çalışmaktadırlar. Gömülü sistemler genelde Amerika menşeli yangın algılama sistemlerinde bulunmaktadır. Avrupa menşeli üreticilerde gömülü acil anons bulunmamakta, kuru kontak, ara yüz donanımları ya da yazılım üzerinden haberleşerek bir arada çalışmaktadırlar. Bu tip bir arada çalışma koşulları da yine EN54-16 standardında tanımlanmaktadır.

3. Yönetmelik

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğin diğer maddeleri ise sesli uyarı sistemlerine ait diğer gereklilikleri tanımlamaktadır:

- (1) Bir binanın kullanılan bütün bölümlerinde yaşayanları yangından veya benzeri acil hâllerden haberdar etme işlemleri, sesli ve ışıklı uyarı cihazları ile gerçekleştirilir. Yangın uyarı butonunun mecburi olduğu yerlerde uyarı sistemi de mecburidir.
- (2) Yangın alarm sinyali gecikmesiz olarak, yangın mücadele ekipleri ve yangına müdahale konusunda eğitilmiş personele ulaştırılmak şartıyla, yangın alarm sinyalinin gerçekliğinin araştırılmasına imkân verecek şekilde bir ön uyarı sistemine izin verilir. Tehlikeli maddelerin bulundurulduğu veya işlendiği endüstriyel binalarda ve depolama amaçlı yapılar da herhangi bir yangın algılamasının otomatik olarak bina tahliye uyarı sistemlerini harekete geçirmesi gerekir. Bu bina ve yapılar da ön uyarı sistemine izin verilmaz.
- (3) Tahliye uyarıları, aşağıda belirtilen istisnalar dışında, hem sesli ve hem de ışıklı olarak yapılır:
 - a) İşitme engelli kişilerin bulunma ihtimali olmayan alanlarda ışıklı uyarı cihazı kullanılması mecburi değildir.
 - b) Sağlık hizmeti amaçlı binalar için öngörüldüğü takdirde sadece ışıklı uyarı cihazları kullanılmasına izin verilir.
- (4) Tahliye uyarı sistemlerinin, aşağıda belirtilen istisnalar dışında, yapının tamamında devreye girmesi gerekir:
 - a) Yapısı itibarıyla tamamının birden boşaltılması mümkün olmayan binalarda, başlangıçta sadece yangından etkilenen ve etkilenecek olan bölgelerde uyarı sistemleri devreye girer. Böyle bir hâlde, binanın düzenli bir şekilde boşaltılabilmesi için, uyarı sistemi, diğer bölgelerde kademeli olarak devreye sokulacak şekilde tesis edilir.
 - b) Yaşlılık, fiziksel veya zihinsel yetersizlik ve benzeri sebeplerle kendi başlarına dışarı çıkamayacak kişiler bulunan binalarda, sadece bu kişilerin bakımları ve binadan tahliyeleri ile görevli personele yangın uyarısı verilmesine izin verilir.
- (5) Sesli uyarı cihazları binanın her yerinde, yerden 150cm yükseklikte ölçülecek ve ses seviyesi ortalama ortam ses seviyesinin en az 15dBA üzerinde olacak şekilde

yerleştirilir. Uyuma maksatlı bölümler ile banyo ve duşlarda, ses seviyesinin en az 75dBA olması gerekir. Sesli uyarı cihazlarının 3m uzaklıkta en az 75dBA ve en çok 120dBA ses seviyesi elde edilecek özellikte olması şarttır. Acil anons sistemi hoparlörü olan hacimlerde ayrıca siren sistemi konulması gerekli değildir.

- (6) Sesli yangın uyarı cihazlarının seslerinin, binada başka amaçlarla kullanılan sesli uyarıcılardan ayırt edilebilecek özellikte olması gerekir.
- (7) Yukarıda açıklandığı için tekrar yazılmamıştır.
- (8) Sesli ve ışıklı uyarı cihazları, sadece yangın uyarı sistemi ve diğer acil durum uyarıları için kullanılır. Anons sistemleri ise, yangın uyarı sistemi ve diğer acil durum anonsları öncelik almak ve otomatik olarak diğer kullanım amaçlarını devre dışı bırakmak şartıyla, genel anons ve fon müziği yayını gibi başka amaçlar ile de kullanılabilir.

4. IEC60489 ve TS54-32 karşılaştırması

Konu	IEC60849 (EN 50849)	TS 54-32
Genel	Bakım, işlevler ve gereklilikler hakkında genel tanımlar. Çalışan sistemler için sadece sorumluluklar tanımlıdır.	Tasarım ve planlamadan son onay aşamasına kadar tüm süreçte ait ayrıntılı tanımlamalar ve ayrıntılı sorumluluklar belirlenmiştir
VAS (Voice alarm system) kavramı, planlaması ve tasarımı	-	VAS kavramına ait düşünce ve değerlendirmeler: Risk analizi, ekipmanların yerleri, kablolar, korumalar, vb
Kurulum	IEC60364 ya da ulusal/yerel standartlar kullanılır	Montaj, kurulum, ekipmanların testi, kablolar tanımlıdır ya da ulusal/yerel standartlar kullanılır.
Devreye alma, onaylama, üçüncü parti onayları ve kabul	-	Devreye alma, onaylama vb işlerin, kullanıcıların eğitimleri dahil kimlerin tarafından yapılacağı belirlenmiştir.
Ürün gereklilikleri	Genel tanımlar vardır, belli bölümlerde EN54-16 ile benzerdir	EN54-4/EN54-16 ve EN54-24 referans alınır
Anlaşılabilirlik ölçümleri	Çeşitli yöntemler tanımlanır ancak esas olarak STI ölçümü ve uygulanma kuralları	STI ve STIPA ölçümü ve uygulama kuralları

	tanımlanır.	tanımlanır
--	-------------	------------

5. Temel Tasarım Kriterleri

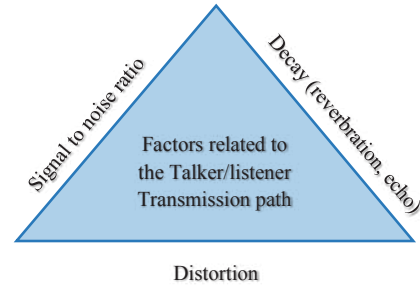
Acil anons sisteminin standart ve yönetmeliklerde de tanımlanan akustik ile ilgili tasarım kriterleri temel olarak duyulabilirlik, anlaşılabilirlik ve homojenlik başlıkları altında toplanabilir.

Duyulabilirlik yapılan anonsun ortam gürültüsünden daha yüksek olmasıdır. Ortamın gürültü seviyesi ile acil durum anonsunun seviyeleri arasındaki farkın en az 15dB olması gerekir.

Anlaşılabilirlik yapılan “duyulabilir” anonsun içeriğinin anlaşılmasıdır. Anlaşılabilirliğin değerlendirilebilmesi için en çok kullanılan yöntemler ALCONS (Articulation Loss of spoken Consonants), STI (Speech Transmission Index), RASTI (Rapid Speech Transmission Index) ve STIPA’dır (Speech Transmission Index for Public Address Systems). Bu yöntemler tamamen istatistiksel hesaplara dayanan göstergelerdir.

En yaygın olarak kullanılan STI değerinin nasıl ölçüleceği EN60268-16 standardında tanımlanmıştır. Anlaşılabilirlik için STI değerinin en az 0,45 olması gerekirken, kabul edilebilir değeri en az 0,50 olmalıdır.

Anlaşılabilirliği etkileyen temel etmenler (Şekil 1) ise yapılan anonsun bozulma (distortion), işaret-gürültü oranı (signal to noise ratio), çınlama (reverbration) ve yankılanmadır (echo). Bunların sonuca etkilerini azaltmak için “duyulabilecek” kadar yüksek seviyeli anons yapmak, yankılanmayı azaltıcı ve engelleyici malzemeler kullanmak, hoparlörlerin yerlerinin doğru seçilmesi, hoparlörlerin doğru güç kademelerinde çalıştırılması gereklidir.



Şekil 1: Anlaşılabilirliğin temel etmenleri

Homojenlik ise ortamda yapılan anonsun seviyesinin aynı ortamda gösterdiği değişkenliktir. Bu tamamen seçilen hoparlör tipine ve hoparlör yerleşimine bağlıdır. Tipik olarak ortamdaki ses seviyesinin 6 ila 10dB’den daha fazla değişmemesi beklenir.

Doğru bir tasarım için bu üç başlık birbiriyle ilintili olup, ayrı ayrı değil, bir arada değerlendirilmelidir.

Tasarımda akustik tasarım kriterlerinden başka acil anons bölgelerinin (zon) tanımlanması, bu bölgelerin yangın bölgeleri arasındaki bağlantı, kat planları, yapı inşaat malzemeleri ve özellikleri, seçilen hoparlörlerin mimari uyumu da dikkate alınması gereken diğer konu başlıklardır. Acil anons bölgeleri belirlenirken tek bir yangın algılama bölgesinin birden fazla acil anons bölgesi içermemesine dikkat edilmesi ve başka acil anons bölgelerinden yayınlanan mesajların, acil anons bölgelerindeki mesajın anlaşılabilirliğini etkilememesi gereklidir.

Hoparlörler arasındaki kablolama ile ilgili farklı yaklaşımlar tercih edilmektedir. Avrupa standartları arıza durumlarının denetlenmesini yeterli görüp, kabloların hat sonundan tekrar sistem merkezine getirilerek bağlanmasını (A-sınıfı, loop kablolama) zorunluluğu getirmezken, Amerikan standardı bunu zorunlu tutmaktadır.

6. Bazı tanımlar

Acil anons sistemlerinin tasarımında kullanılan bazı tanımlar, birimler nelerdir?

Desibel: İki değişkenin logaritmik ölçekte oranını gösterir. Değerlendirmenin logaritmik ölçeğe yapılması hesap ve analiz kolaylığı getirmektedir.

Güç oranları için desibel formülü:

$$dB = 10 \cdot \log(P2/P1) \quad (1)$$

P2: Uygulama gücü, P1: Referans gücü

Gerilim ve akım oranları için desibel formülleri:

$$dB = 20 \cdot \log(V2/V1) \quad (2)$$

$$dB = 20 \cdot \log(I2/I1) \quad (3)$$

Akustikte de desibel ses basınç seviyesinin temel ifadesidir ve 20µPa (mikro Pascal) ya da 0,0002 mikrobar referans basınç değerine göre hesaplanır, dB SPL olarak gösterilir.

Ürün kataloglarında hoparlörlere ait teknik değerler verirken, dB SPL(1W/1m) değeri verilir. Bu değer hoparlöre 1Wrms gücü uygulandığında, 1m uzaklıkta yarattığı ses basınç seviyesinin desibel cinsinden değeridir. Tasarımda ise bu hoparlöre uygulanan güce göre elde edilecek ses basınç seviyesi ise

$$p1 = pn + 10 \cdot \log(P) \quad (4)$$

formülü ile hesaplanır.

p1: 1m uzakta elde edilecek ses basınç seviyesi

pn: hoparlöre ait karakteristik değer (üretici tarafından verilir)

P: hoparlöre uygulanan güç

Ses fiziksel olarak kaynağından uzaklaştıkça, yani ortamda yayıldıkça zayıflar. Uzaklığa bağlı zayıflama ise şu formüle göre hesaplanır:

$$p = p1 - 20 \cdot \log(d) \quad (5)$$

p1: 1m uzaktaki ses basınç seviyesi

d: uzaklık (m)

p: d uzaklığında elde edilecek ses basınç seviyesi

Uzaklık her 2 katına çıktığında ses basınç seviyesi 6dB azalır! Uygulanan gücün (P), istenen uzaklıkta (d) yaratacağı ses basınç seviyesi ise şu formülle hesaplanır:

$$p = pn + 10 \cdot \log(P) - 20 \cdot \log(d) \quad (6)$$

STI (Speech Transmission Index - Ses iletim endeksi): Sesin iletim kalitesinin fiziksel olarak ölçümüdür. Ortam ve hoparlör değerlerini esas alan bir hesaplama yöntemidir. 98 farklı ölçüm sonucundan hesaplanır. Diğer ölçüm yöntemlerine göre daha uzun sürede yapılabilir olmasına karşılık, STI en ayrıntılı yöntem olması nedeniyle, özellikle akustik olarak zor ortamlarda, daha güvenilir sonuçlar verir. Anlaşılabilirlik STI değerine göre Tablo 1'deki gibi sınıflandırılır:

Tablo 1: STI değerlerine göre anlaşılabilirlik sınıflaması

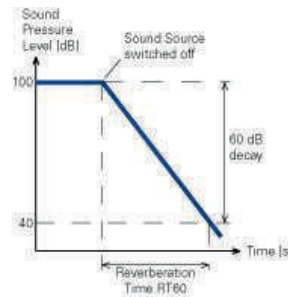
STI	1 -	0,75 -	0,60 -	0,45 -	0,30 -
	0,75	0,60	0,45	0,30	0
	İdeal	İyi	Uygun (anlaşılır)	Zayıf (az anlaşılır)	Kötü (anlaşılmaz)

RASTI (Rapid Speech Transmission Index): STI değerinin daha hızlı hesaplanabilmesi için, konuşma için en önemli frekans aralığı olan 500Hz – 2kHz aralığındaki 2 oktavda sınırlı olarak hesaplanan değeridir. IEC60268-16, 4.0, 2011'de yürürlüğe girmiş olmasına karşılık, artık anlaşılabilirlik ölçümü için kullanılmamaktadır.

STIPA (Speech Transmission Index for Public Address Systems): STI göstergesinin, genel seslendirme sistemleri için basitleştirilmiş bir türevidir. Daha az sayıda ölçüm yapılmaktadır ve STI hesaplamadaki bazı değerlerin lineer olarak değiştiği varsayılmaktadır.

EKO: Sesin esas ses kaynağından değil, çeşitli yansımalar ya da gecikmeler sonucu dinleyiciye ulaşması ve bu sesin esas sestən ayırt edilebilmesi durumuna eko denir. Eko esas sesin anlaşılabilirliğini doğrudan etkilemektedir. Yapılan araştırmalar kulağın, her zaman ilk ulaşan sese göre kaynağı belirleyebildiğini göstermektedir. Buna «Öncelik etkisi» denmektedir. Tabii bu durum sonlu zamanlar ve seviye farklarının olması durumunda geçerlidir. Haas adlı kişi tarafından ortaya konan bu çalışmada ana sesin ardışıl olarak gelen ikinci sesi 30ms'den daha kısa sürede kulağa ulaşması halinde ikinci sesin fark edilemediği görülmüştür. Hatta bu durum ikinci sesin, esas sestən 10dB daha yüksek seviyede bile olması halinde bile geçerlidir. 40ms'den daha fazla olan zaman farklarında, gecikmelerde kulak ikinci sesi ayırt etmeye başlamaktadır, fakat halen daha kulak esas sesin geldiği noktayı belirleyebilmektedir. 50ms'den sonrasında ise artık bu ayırt edebilirlik ortadan kalkmakta ve iki ses ayrıştırılabilmektedir. Bu değerler konuşma için geçerli olup, müzik yayınında 100ms'den sonra ayırt etme olabilmektedir.

Çınlama Süresi (Reverberation Time – T60): Çınlama, yankılanma zamanı. Esas sesin kaynaktan kesilmesinden sonra, ortamda sönmüldüğü süre olarak tanımlanır. T60 olarak ifade edilen değer ise sesin kalıcı enerjisinin 60dB azaldığı süre olarak ölçülür (Şekil 2). Sürenin düşük olması akustik açıdan istenen bir durumdur. Bu sürelerin ölçüm yöntemleri ISO3381-1 ve ISO3382-2 standartlarında tanımlanmıştır. Çınlama sürelerinin değerlendirilmesi şu şekildedir.



Şekil 1: T60 çınlama süresi

Tablo 2: Çınlama süresine göre ortamların sınıflandırılması

T60 (s)	0,50 -	1,50 -	2,00 -	3,00 -	> 5,00
	1,50	2,00	3,00	5,00	
	İdeal	İyi	Uygun	Kötü	Çok kötü

Bazı ortamlar için beklenen ortam gürültüsü ve çınlama süreleri şu şekildedir:

Tablo 3: ISO3382'de önerilen T60 süreleri

Mekan	Hacim	Kritik uzaklık D_c	Önerilen RT60 süresi (s)
Kayıt stüdyosu	< 50 m ³	1.5 m	0,3
Sınıf	< 200 m ³	2 m	0,4 – 0,6
Ofis	< 1'000 m ³	3.5 m	0,5 – 1,1
Büyük derslik	< 5'000 m ³	6 m	1,0 – 1,5
Konser salonu	< 20'000 m ³	11 m	1,4 – 2,0
Kilise			2 - 10

7. Sonuç

Yapıların tahliye planlarına uygun olarak tahliye edilebilmesi için, kurulacak acil anons sistemlerinin ve bu sistemlerde kullanılacak cihazların güncel yerel yönetmelikler ve uluslararası standartlara uygun olarak planlanması, tasarlanması, kurulması, devreye alınması, işletilmesi ve bakımlarının düzenli olarak yapılması gereklidir.

8. Kaynaklar

- [1] EN54-16: Yangın Algılama ve Alarm Sistemleri – Bölüm 16: Ses alarm kontrolü ve gösterim donanımı
- [2] EN54-24: Yangın Algılama ve Alarm Sistemleri – Bölüm 24: Ses alarm sistemi bileşenleri, hoparlörler
- [3] TS EN54-32: Yangın Algılama ve Alarm Sistemleri – Bölüm 32: Ses alarm sistemleri planlama, tasarım, kurulum, devreye alma, kullanım ve bakım
- [4] IEC60849: Sound systems for emergency purposes
- [5] NPFA72: National Fire Alarm and Signalling Code Handbook, 2013 edition

İKİ PELTIER MODÜLLÜ TERMOELEKTRİK POMPASI İNCELEMESİ

Ivaylo Belovski, Anatoliy Aleksandrov, Yovka Nikolova

STUDY OF A THERMOELECTRIC PUMP WITH TWO PELTIER MODULES

Ivaylo Belovski

Prof. D-r Asen Zlatarov University
e-mail: ivbel@abv.bg

Anatoliy Aleksandrov

Technical University of Gabrovo
e-mail: alex@tugab.bg

Yovka Nikolova

Prof. D-r Asen Zlatarov University
e-mail: y.d_nikolova@abv.bg

ABSTRACT: In recent years, thermoelectric modules (Peltier modules) are becoming more widely used in industry and everyday life of the people. Used mainly for cooling small volumes by directly convert electrical energy into a temperature difference.

The purpose of this paper is to construct and explore thermoelectric pump based on two Peltier thermoelectric modules operating in cooling mode and determine their optimum DC operation.

Key words: thermoelectric modules, peltier module, cooling devices.

Giriş

Peltier Modülü, P ve N tipi yarı iletkenlerden oluşan ve aralarında metal levha ile bağlanmış olan birçok ısıl öğeden (termoçift) ibaret termoelektrik enerji değiştiricisidir. Modülün çalışma prensibini, metal ile yarı iletkenler arasındaki temas noktalarında ısı soğurum ve ısı salınımına dayalı olan Peltier etkisi denilen olgu oluşturur. Hangi ucun ısınacağı ve hangi ucun soğuyacağını elektrik akımının yönü belirler. [1, 2].

Isıl elektrik öğelerin uygulandığı başlıca yönler üçtür. Birincisi ısıl enerjinin elektrik enerjisiye dönüştürülmesi için, ikincisi ısıl elektrik soğutma için ve üçüncüsü ısıl elektrik ısıtma içindir. [3,4].

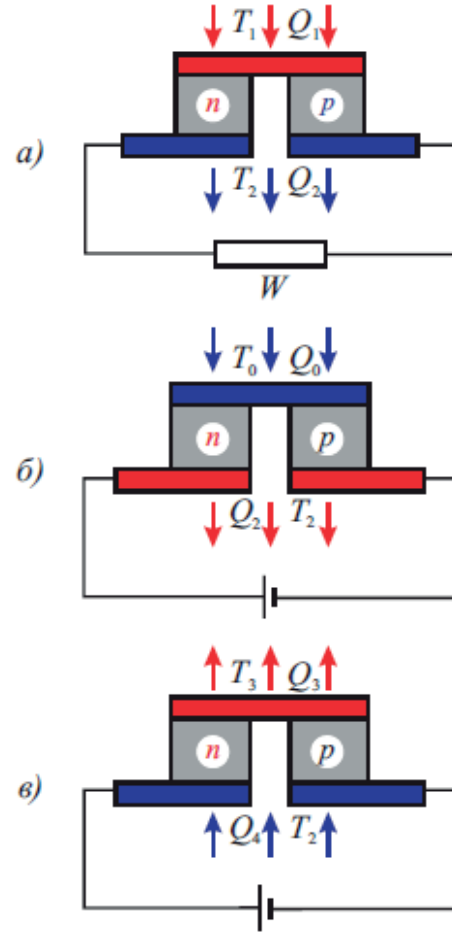
Isıl öğelerin modelleri onların başlıca çalışma modlarının tarifi için kullanılmaktadır: elektromotor gerilim üretimi, termoelektrik soğutma ve termoelektrik ısıtma. Şekil 1’de farklı modlarda çalışan ısıl öğelerin üç modeli gösterilmiştir:

a) termoelektrik üretimi için, T_1 – ısıl öğenin sıcak tarafındaki derece; T_2 – termostat veya ısı eşanjörü aracılığı ile sabit tutulan karşı tarafın derecesi; Q_1 – ısıl öğeye verilen ısı; Q_2 – elektromotor gerilimi üretimi veya soğutma modunda ısıl öğeden salınan ısı.

b) termoelektrik soğutma için, T_0 – ısıl öğenin soğuk tarafındaki derece, $T_0 < T_2$; Q_0 – soğuyan öğeden atılan ısı.

c) termoelektrik ısıtma için T_3 – ısıl öğenin sıcak tarafındaki derece, $T_2 < T_3$; Q_3 – ısıl öğeden atılan ısı; Q_4 – ısıl öğenin soğurduğu ısı.

Bugüne kadar birçok bilim adamı ve araştırmacıların yürüttüğü çalışmalar sayesinde ısıl öğelerin özellikleri belirli ölçüde incelenmiştir. Bu öğelerin çoğunda mevcut olan spesifik özellikler pratikte bazı problemlerin çözümü için kullanılabilir. Maalesef bu türden ısıl öğeler hakkında veriler azdır, fakat özelliklerine yönelik araştırma, inceleme ve bunların uygulanması konusunda çalışmalar devam etmektedir.



Şekil 1. Termoelektrik öğelerin modelleri

Bu çalışmamızın amacı, Peltier’in iki adet Termoelektrik Modülünü (TEM) esas alarak bir termoelektrik pompanın

(TEP) kurulması ve incelenerek deneylerle, her modülün ayrı ayrı ve ayrıca iki modülün paralel ve sıralı olarak bağlı şekilde en uygun doğru akım çalışma modunun tespit edilmesidir.

Deney

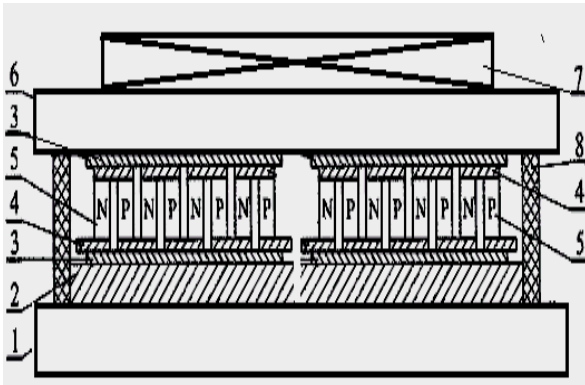
Deneyin gerçekleştirilmesi için, gerekli ısı dengesi sağlayan bir termoelektrik soğutma sistemi (TSS) kuruldu. Sistem, termoelektrik pompa (TEP) ve çalışma hacmi 10 Litre olan, çift duvarlı, duvarların arasına ısı yalıtım maddesi yerleştirilen termostatik bir kaptan oluşmaktadır. Kabin içinde ilave bir havalandırma ünitesi bulunmamakta ve sadece doğal konveksiyona güvenilmektedir. (Şekil 2).



Şekil 2. Peltier'in iki adet TEM'ünden oluşan termoelektrik sistem

TSS'nin düğüm noktası, iki adet Peltier TEM'i takılı olan termoelektrik pompadır. (Şekil 3).

Modüllerin normal çalışması için sıcak ve soğuk uçların arasında verimli ısı değişiminin sağlanması gerekmektedir.



Şekil 3. Termoelektrik pompa

Bu amaçla sıcak uça uygun radyatörler (1 ve 6) ve vantilatör (7) takılmıştır. Radyatör ve Peltier TEM'ü arasındaki ısıyı taşımak için ısı taşınım yolu (2) kullanılmıştır. Isı taşınım yolu, ısı akımının daha az yoğunlukta olduğu modülün soğuk

Tablo 1 TEC1-12706 elemanın katalog verileri

tarafına monte edilmiştir. Isı yalıtım tabakası (8) TEP'nin sıcak ve soğuk radyatörü arasında ısı değişimini azaltmaya yarar.

Peltier TEM'ü birçok termoelektrik öğelerden oluşmaktadır. Bunlar elektriksel olarak sıralı, ısı olarak paralel şekilde birbirleriyle bağlanmıştır. Elemanlar, yüksek ısı iletkenliği olan iki adet paralel seramik levha (3) arasına monte edilmiştir. Her ısı öğe (Peltier TEM'nün en küçük yapıcı parçası), aralarında metal köprü (4) ile bağlantılı olan dikdörtgen şeklinde P ve N yarıiletkenlerden (5) oluşmaktadır.

Şekil 1b'de gösterilen basit modelin analizinde Peltier etkisi ve Joule'un salınan ısı göz önünde bulundurulmakta, Thompson'un etkisi ise göz ardı edilmektedir. Bu durumda Joule ısısının yarısı soğuk tarafa, diğer yarısı sıcak tarafa geçtiği düşünülmektedir.

Soğuk tarafça soğurulan ısı gücü:

$$Q = -\Pi I + 0.5rI^2, \quad (1)$$

burada, Π - Peltier katsayısı, r - ısı öğenin direnci, I - öğeden geçen akımdır.

Optimal akım I_{opt} şu şekilde formüle edilir:

$$I_{opt} = \frac{\Pi}{r}, \quad (2)$$

Azami ısı gücü ise:

$$Q_{max} = \frac{\Pi^2}{2r} \quad (3)$$

Azami ısı farkı eşittir:

$$\Delta T_{max} = \frac{\Pi^2}{2k_0 r}, \quad (4)$$

burada, $r = l \left(\frac{1}{\sigma_1 s_1} + \frac{1}{\sigma_2 s_2} \right)$, $k_0 = \frac{1}{l} (k_1 s_1 + k_2 s_2)$ (5)

σ_1 , σ_2 - dalların elektrik iletkenliği katsayısı; k_1 , k_2 - ısı iletkenliği katsayısı.

Peltier TEM'nün soğutma elemanı olarak çalışması büyük ölçüde malzemelerin termoelektrik verimliliğine ve TEM'nün iki ucundaki ısı farklılığına ΔT bağlıdır [5].

Isı farkı ise TEP'nin doğru akım çalışma moduna doğrudan bağlıdır.

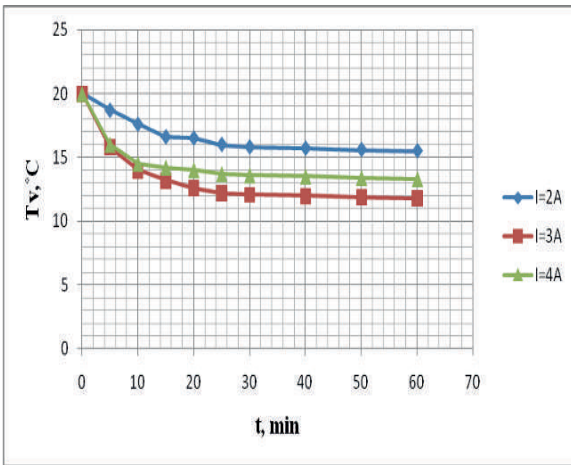
Deney sırasında, STONECOLD şirketi tarafından üretilen iki adet TEC1-12706 PM-40x40-53 Peltier TEM'ne dayanılarak sentezlenmiş TEP'nin operasyonel ve dönüşüme özellikleri araştırılmıştır [6]. İki benzer elemanın katalog verileri Tablo 1'e yansıtılmıştır.

TÜR	Öğe sayısı	U_{max} (V)	I_{max} (A)	ΔT_{max} °C	Q_{max} (W)	DxGxY (mm)	R (Ω)
TEC1-12706	127	14,9	6,4	68	53	40x40x4,6	1,98

Sonuç ve tartışma

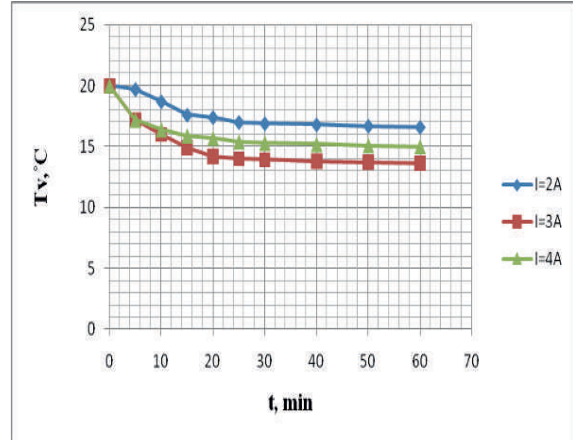
İlk olarak iki Peltier TEM'nün dönüştürme özellikleri ayrı ayrı araştırıldı, akabinde paralel ve sıralı olarak birbirine bağlı şekildedeyken araştırma yapıldı.

Soğuk tarafında en düşük ısının $T_{0,min}$ ve kapalı ortamda en düşük ısının T_V elde edildiği en uygun değerleri tespit etmek amacıyla 2-4 Amper arasında elektrik verilerek TEP'nin sıcak ve soğuk taraflarındaki T_2, T_0 ve TSS'nin hacmindeki T_V sıcaklık derecelerine ilişkin bir dizi ısı ölçümleri gerçekleştirildi. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak çizilmiştir. Şekil 4'te TEM 1 için ve Şekil 5'te TEM 2 için $I = const$ durumundayken dönüştürme özellikleri $T_V = f(t)$ yansıtılmıştır. Şekil 6'da ise TEM 1 için ve Şekil 7'de TEM 2 için elektrik akımı $T_{V,min} = f(I)$ fonksiyonu olarak TSS hacmindeki sıcaklığın bağıntısı gösterilmiştir.

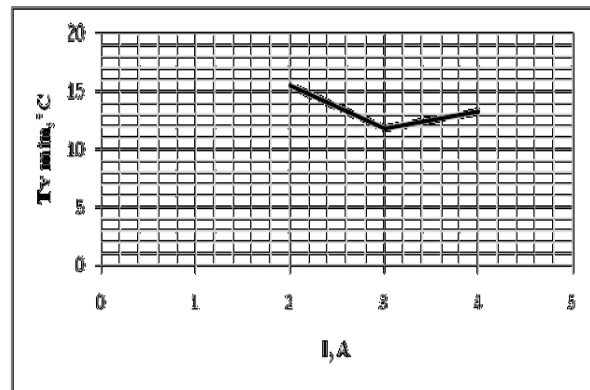


Şekil 4. TEM 1'in dönüştürme özelliği - $T_V = f(t)$, burada $I = const$

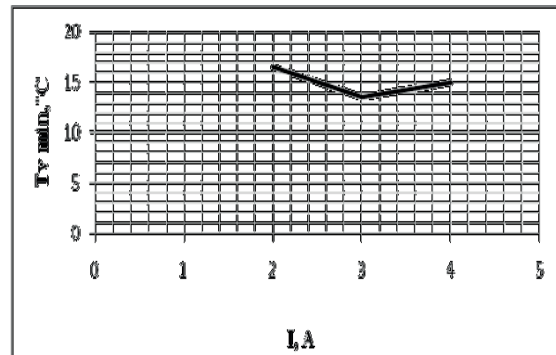
Şekil 6 ve Şekil 7'den görüldüğü üzere TEM 1 ve TEM 2 için en uygun akım şiddeti 3A'dır. Akım şiddeti $I > 3A$ olduğunda, yarıiletkenlerin ısı iletkenliğinden dolayı Joule etkisi güçlü bir şekilde boy göstermekte ve bunun neticesinde Peltier TEM'nün soğuk tarafındaki ısı yükselmektedir.



Şekil 5. TEM 2'nin dönüştürme özelliği - $T_V = f(t)$, burada $I = const$



Şekil 6. TEM 1'in dönüştürme özelliği - $T_{V,min} = f(I)$



Şekil 7. TEM 2'nin dönüştürme özelliği - $T_{V,min} = f(I)$

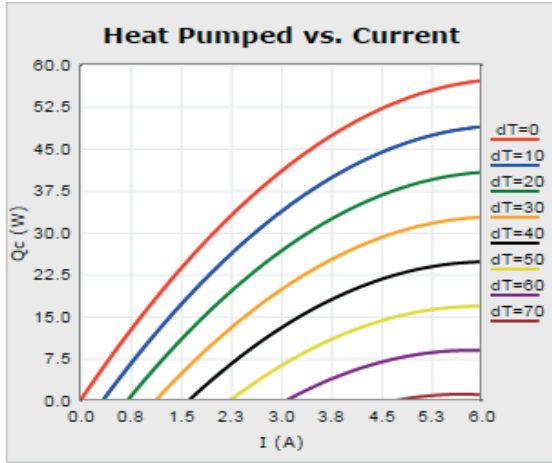
Modüllere elektrik, elektrik jeneratörü gibi çalışan ayarlanabilir redresör aracılığı ile verilmektedir. $I = 3A$ olduğunda TEM 1 üzerindeki gerilim $U_{TEM1} = (8\div 9)V$, TEM 2 üzerindeki gerilim ise $U_{TEM2} = (8\div 9,5)V$ arasında değişmektedir. Dolayısıyla, TEM 1'in elektrik direnci $R_{TEM1} = (2,67\div 3)\Omega$, TEM 2'nin ise $R_{TEM2} = (2,67\div 3,17)\Omega$ arasında değişiklik göstermektedir.

İki modül ayrı ayrı incelendikten sonra birlikte nasıl çalıştıkları araştırıldı. TEM 1 ve TEM 2'yi ayarlanabilir güç kaynağına paralel olarak bağladığımızda ve $I = 6A$ doğru akım rejimi seçilerek $U = (8\div 9,5)V$ ölçülmüştür. Bu durumda tüketilen elektriksel güç $P = (48\div 57)W$, ($P_{ort} = 52,5W$) olmuştur.

TEP'nin dönüştürme katsayısı, verimli (pompanmış) güç Q_0 ile tüketilen elektriksel güç P verileri hesaplanarak bulunur ve bu katsayı aşağıdaki gibidir:

$$\eta = \frac{Q_0}{P} = \frac{2,12}{52,5} = 0,46$$

Pompanmış ısı güç Q_0 , TEP'nin sıcak ve soğuk tarafları arasında en yüksek sıcaklık farkı $\Delta T = 39,2^\circ C$ ölçülmesiyle Şekil 8'de ($Q_0 = Q_c$) görülebilir.



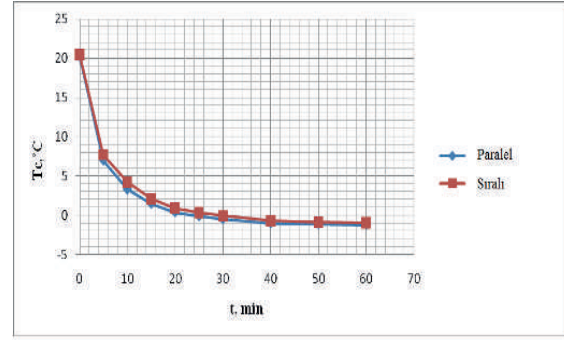
Şekil 8. TEC1-12706 PM elemanın grafiksel katalog verileri

TEM 1 ve TEM 2'yi ayarlanabilir güç kaynağına sıralı olarak bağladığımızda ve $I = 3A$ doğru akım rejimi seçilerek $U = (16,8\div 18,6)V$ ölçülmüştür. Bu durumda tüketilen elektriksel güç $P = (50,4\div 55,8)W$, ($P_{cp} = 53,1W$) olmuştur. Dönüştürme katsayısı ise $\eta = 0,45$ olarak hesaplanmıştır.

Şekil 9'da, iki Peltier TEM'nün paralel ve sıralı olarak bağlandıklarında zaman t içerisinde TEP'nin soğuk tarafındaki sıcaklığın T_0 nasıl değiştiği gösterilmiştir.

Kaynakça

1. Rowe, D. M., Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano. Taylor & Francis, 2006.
2. Flipse, J., F. Bakker, A. Slachter, F. Dejene, Direct observation of the spin-dependent Peltier effect, Nature Nanotechnology 7, 166-168, 2012.
3. Thermoelectric Materials – New Directions and Approaches, MRS, Pittsburgh, V.478. – 348 p., 1998
4. Venkatasubramanian R., E. Siivola, T. Colpitts, B. O'Quinn, Thin-film thermo-electric devices with high room-temperature figures of merit, Nature 413, 597-602, 2001
5. Snyder J. G., and E.S. Toberer. 2008. Complex Thermoelectric Materials, Nature Materials 7, pp. 105-114
6. Standard Common Thermoelectric Cooling Module. 2016. <http://www.tme.eu>



Şekil 9. Dönüştürme özelliği $T_0 = f(t)$, burada $I = const$

Elde edilen grafik verilerinin analizinden aşağıdaki sonuçlar çıkmaktadır:

1. İki Peltier TEM'ünde de farklı akım gücü verildiğinde dönüştürme özellikleri $T_v = f(t)$ (Şekil 4 ve Şekil 5) doğrusal olmayan bağ göstermektedir. Deneyin başlangıcından yaklaşık onuncu dakikasına kadar hacim içerisindeki ısının daha hızlı düşüş gösterdiği (aşağı yukarı $6^\circ C$) ve akabinde süreç belirli ölçüde doğrusal oranda seyretmektedir.

2. Şekil 6 ve Şekil 7'de yer alan özellikler, TSS'nin hacminde en düşük sıcaklığa ulaşılan bir akım değerinin I_{opt} olduğunu göstermektedir. Bu değer iki TEM için $I_{opt} = 3A$ 'dir. TEM1 ve TEM 2'nin aynı olmalarına rağmen soğukluk üretiminde yaklaşık $1,5^\circ C$ az bir fark gözlemlenmiştir. Buna sebep bir taraftan Peltier modüllerinin yapısında kullanılan yarıiletkenlerin termoelektrik özelliklerinde farklılıklar olabilir veya diğer taraftan ısıyı ileten macunun düzgün tatbik edilmemesi, bağlantı elemanlarının yeterince sıkılmaması vb. nedenlerle TEP konstrüksiyonunun kusursuz kurulmamış olmasından kaynaklanabilir.

3. Şekil 9 grafikleri, sıralı ve kapalı bir hacmin içerisinde göreceli olarak daha düşük sıcaklık derecesi elde etmek için birkaç Peltier TEM'nün elektriksel olarak paralel veya sıralı biçimde birbirine bağlanması, veya gücü ve soğukluk üretkenliği daha yüksek termoelektrik modül kullanılması gerektiğini göstermektedir.

4. İki çalışma rejiminde de - sıralı ve paralel bağlanım - TEP'nin dönüştürme katsayısı hesaplanmıştır. Sonuçlar, TEP'nin verimliliğini arttırmak için, ΔT ısı farkı ile doğrudan ilintili olan Q_c parametrenin belirleyici önemde olduğunu göstermektedir. İki TEM'nün birbirine bağlanma biçimi TEP'nin termoelektrik verimliliğini etkilememektedir.

Son söz

Elde edilen deney sonuçları, kurulan ve incelenen TSS'nin daha küçük hacimlerin ısı denetimi için uygun olduğunu göstermiştir. Azami soğutma düzeyinin elde edilebilmesi için deneysel olarak Peltier TEM'nün en uygun doğru akım modunun tespit edilmesi gerekmektedir.

Deneyden ortaya çıkan sonuçlar bir veya birkaç Peltier TEM'li TSS'nin modelini oluşturmak için kullanılabilir.

Kesintili Mod Flyback Dönüştürücülerde RCD-R Bastırma Hücrelerinin İletim Yayınımına Etkisi

The Effect of RCD-R Snubber to Conducted Emission in DCM Flyback Converters

Ömer Emre Pepeç¹

¹Akım Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş./Arge Departmanı, İstanbul, Türkiye
oepepec@akimmetal.com.tr

Özet

Flyback transformatörlerinin kaçak endüktansı, anahtarlama elemanı üzerinde istenmeyen gerilim darbeleri ve yüksek frekanslı osilasyonlar oluşturur. Önlem alınmadığı takdirde anahtarlama elemanı aşırı gerilimden dolayı zarar görebilir veya elektromanyetik uyumluluk ile ilgili standartlar karşılanamayabilir. Bu problemleri çözmek için çoğunlukla RCD bastırma hücreleri tasarlanır. Tasarımcılar bastırma hücrelerini oluştururken genellikle verimliliğe dikkat eder. Ancak yüksek frekanslı osilasyonlar da sönümlendiği için devrenin elektromanyetik girişim performansı da iyileşir. Bu çalışmada RCD bastırma hücrelerinin geliştirilmiş modeli olan RCD-R tipi bastırma hücreleri incelenmiştir. Yüksek güç faktörlü kesintili mod flyback dönüştürücülü devre kartı üzerinde bastırma hücresi uygulanmıştır. Spektrum analizör ile elektromanyetik girişimler ölçülmüştür. Elde edilen veriler karşılaştırıldığında RCD-R bastırma hücrelerinin iletim yayınına etkisi görülmüştür.

Abstract

The leakage inductance of the flyback transformer causes voltage spike and ringing oscillation on switching component. The switching component is damaged or the EMI performance of product does not satisfied the standards, if no action is taken. The RCD snubber is usually used to solve these problems. The designers generally consider the efficiency when they design RCD snubber. However, it also affects the EMI performance of the converter. In this paper, the RCD-R type snubber which is an evolved form of RCD snubber is analyzed. The snubber is employed on the converter which is DCM mode flyback with PFC. The electromagnetic interference is measured with Spectrum analyzer. The results are comprised and the effect of conducted emission of RCD-R snubbers is shown.

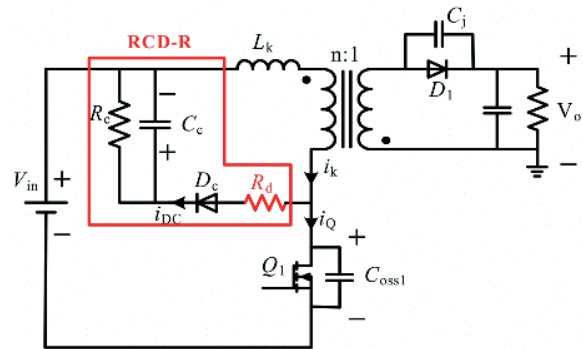
1. Giriş

Düşürücü-yükseltici dönüştürücünün izoleli hali olan flyback dönüştürücüler genellikle 150W'a kadar yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Basit yapısı, maliyetinin düşük olması, giriş ve çıkış gerilimleri arasında izolasyonun sağlanması flyback dönüştürücülerin endüstride yaygın olarak kullanılmasındaki en önemli etmenlerdir. Tasarım sırasında karşılaşılan zorluklardan biri ise MOSFET'in kesime girdiği

anda, flyback transformatörünün kaçak endüktansı ile MOSFET'in parazitik kapasitesinin rezonansa girmesidir. Bu durum elemanın üzerinde istenmeyen gerilim stresi ve salınımların oluşmasına ve elemanın zarar görmesine sebep olur. Yüksek frekanslı salınımlar ise elektromanyetik girişimleri artırır. Oluşabilecek zararları önlemek için birçok bastırma hücresi yöntemi geliştirilmiştir. Kullanılan bastırma hücreleri pasif [2], [3] veya aktif [4], [5] olabilmektedir. Pasif bastırma hücreleri de kayıplı [2] ve kayıpsız [3] olmak üzere ikiye ayrılır.

Düşük güçlerde basit yapısı ve düşük maliyeti sebebiyle kayıplı RCD bastırma hücreleri yaygın olarak kullanılmaktadır [6]. Bu bastırma hücreleri kabul edilebilir bir kayıpla anahtarlama elemanı üzerinde oluşan gerilim streslerini iyileştirir. Kaçak endüktansta biriken enerji bastırma diyodu üzerinden bastırma kondansatörünü doldurur ve kaçak endüktanstaki enerji tamamen kondansatöre aktarıldığında diyot kesime girer. Kondansatörde biriken enerji ise paralel direnç üzerinden deşarj olur [7]. Fakat bastırma diyodunun ters toparlanma akımı gibi fiziksel limitlerinden dolayı salınımlar tamamen sönümlenemez. Bu nedenle ilave kayıpların oluşmasının yanı sıra ortak mod gürültüleri de artar [8].

Şekil 1'de gösterilen RCD-R tipi bastırma hücresi, diyodun ters toparlanma akımını azaltır. Uygun R_d değeri seçildiği takdirde ters toparlanma akımı minimize edilir, osilasyonların oluşması engellenir ve ortak mod gürültüleri sönümlenir. Eğer R_d değeri büyük seçilirse ortak mod gürültüleri üzerinde herhangi bir etkisi olmaz, aksine anahtarlama elemanı üzerindeki gerilim stresinin artmasına sebep olur.

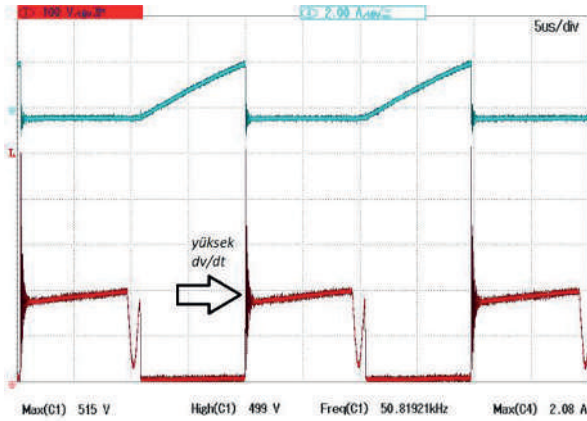


Şekil 1. RCD-R Bastırma Hücreli Flyback Dönüştürücü

Bu yayında yapılan çalışmalar yüksek güç faktörüne sahip kesintili mod flyback dönüştürücü üzerinde uygulanmıştır. [9] numaralı uygulama notu dikkate alınarak bir RCD bastırma hücresi tasarımı yapılmıştır. Uygun R_d direnç değeri deneysel yöntemle belirlenmiştir. Bastırma hücresinin öncesinde ve sonrasında spektrum analizör ile elektromanyetik girişimler incelenmiştir. Sonuçlar karşılaştırılarak bastırma hücresinin etkisi gözlemlenmiştir.

2. Tasarım Prosedürü

MOSFET'in parazitik kapasitesi ve flyback transformatörünün kaçak endüktansının rezonansa girmesi ile oluşan darbe gerilimler ve osilasyonlar elemanın zarar görmesine sebep olabilir. Ayrıca gerilim ve akımın hızlı değişimleri ortak mod gürültüleri arttıracaktır. Bu nedenle sistemin uygulanabilirliği ve güvenilirliği tehlikeye girer. Şekil 2'de bastırma hücresi uygulanmadığı durumda oluşan MOSFET gerilim ve akım dalga şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 2. Bastırma hücresi uygulanmadığında MOSFET gerilim ve akımı

Bu bölümde kesintili mod flyback sürücüler için pratik şekilde uygulanabilir RCD bastırma hücresi tasarımı anlatılmıştır [9]. Anahtarlama elemanı kesime girdiği anda bastırma diyodu iletme girerek transformatörün kaçak endüktansında depolanan enerjinin bastırma kondansatörünü doldurmasını sağlar ve elemanın zarar görmemesi sağlanır. Bastırma diyodu akımının yükselme hızı şu şekilde ifade edilir.

$$\frac{di_{DC}}{dt} = -\left(\frac{V_{sn} - nV_o}{L_{lk}}\right) \quad (1)$$

Eşitlikte i_{DC} bastırma diyodu üzerinden geçen akımı, V_{sn} bastırma hücresi üzerindeki gerilimi, nV_o yansıyan gerilimi ve L_{lk} flyback transformatörünün kaçak endüktansını göstermektedir. i_{DC} akımının geçtiği süre (2)'deki gibidir.

$$t_{sn} = \frac{L_{lk}}{V_{sn} - nV_o} i_{pk} \quad (2)$$

Burada i_{pk} MOSFET kesime girdiği anda üzerinden geçen akımdır. Bastırma hücresindeki kayıp enerji

$$P_{sn} = V_{sn} \frac{i_{pk} \cdot t_{sn}}{2} f_s \quad (3)$$

olarak bulunur. f_s MOSFET'in anahtarlama frekansıdır. (2)'de t_{sn} süresi yukarıda yerine yazılırsa kayıp güç (4) ile ifade edilir.

$$P_{sn} = \frac{1}{2} L_{lk} i_{pk}^2 \frac{V_{sn}}{V_{sn} - nV_o} f_s \quad (4)$$

V_{sn} gerilimi belirlenirken yansıyan gerilimin (nV_o) 2-2.5 katı seçilmesi önerilir. Düşük seçilmesi halinde kayıplar, yüksek seçilmesi halinde ise anahtarlama elemanı üzerindeki gerilim stresi artar. (4)'de yapılan hesaplamalar sistem minimum çalışma geriliminde ve tam yük altında iken yapılmalıdır.

(4)'de eşitlik düzenlendiğinde bastırma direncinin değeri şu şekilde hesaplanır.

$$R_{sn} = \frac{V_{sn}^2}{\frac{1}{2} L_{lk} i_{pk}^2 \frac{V_{sn}}{V_{sn} - nV_o} f_s} \quad (5)$$

Bastırma kapasitesi değeri de üzerindeki gerilimin dalgalanma oranına göre değişmektedir. ΔV_{sn} değeri genellikle %5 ile %10 arasında bir değer olarak belirlenir. Bastırma kapasite değeri aşağıdaki gibi bulunur.

$$C_{sn} = \frac{V_{sn}}{\Delta V_{sn} R_{sn} f_s} \quad (6)$$

2.1. RCD Bastırma Hücresi Tasarımı

Bu çalışmada yüksek güç faktörü düzeltmeli kesintili mod flyback dönüştürücü topolojisine sahip LED sürücü devresi için RCD bastırma hücresi tasarımı yapılmıştır. Kullanılan devrenin özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Flyback dönüştürücü kartı özellikleri

Giriş Gerilimi Aralığı	90 ~265
Nominal Çıkış Gerilimi ve Akımı	40 V / 0.9 A
Anahtarlama Frekansı	60k Hz
Transformatör Dönüştürme Oranı	2.5
Primer Endüktansı	350 uH

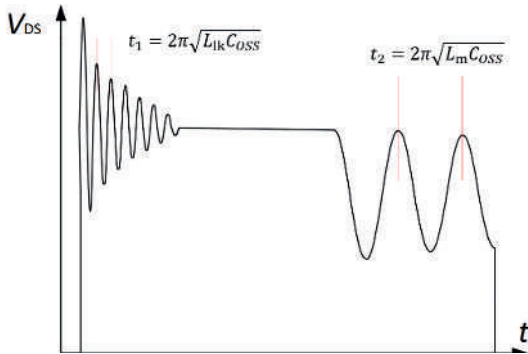
LCR metre ile ölçülen transformatörün kaçak endüktansı gerçek değerinden daha yüksek çıkmaya eğilimli olacaktır. Bastırma hücresi tasarımına bakıldığında flyback transformatörünün kaçak endüktansının doğruluğu önem taşımaktadır. Kaçak endüktansın belirlenmesinde en etkili yöntem, minimum giriş geriliminde bastırma hücresi uygulanmamışken MOSFET üzerindeki osilasyon periyodlarının ölçülmesidir [10].

Şekil3'de anahtarlama elemanı kesime girdiği anda oluşan osilasyon transformatörün kaçak endüktansı ile MOSFET'in parazitik kapasitesi arasında gerçekleşir. Rezonans periyodu

$$t_1 = 2\pi\sqrt{L_{lk}C_{oss}} \quad (7)$$

olarak hesaplanır. Transformatörün manyetik alanında depolanan enerji tamamen çıkışa aktarıldığında çıkış diyodu kesime girer. Bu anda transformatörün primer endüktansı ile MOSFET'in parazitik kapasitesi arasında rezonans oluşur. Rezonans periyodu ise (8) ile hesaplanır.

$$t_2 = 2\pi\sqrt{L_m C_{oss}} \quad (8)$$

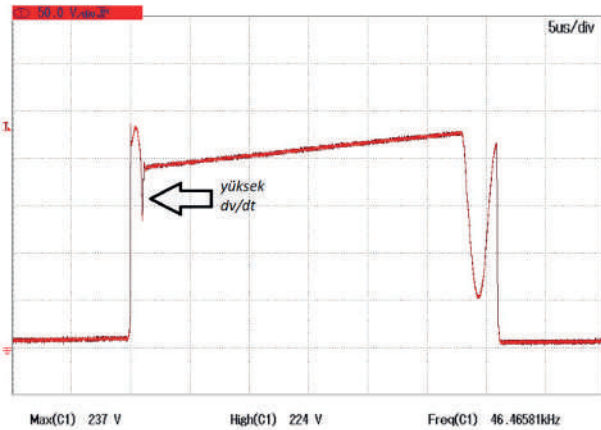


Şekil 3. Bastırma hücresi uygulanmadığında MOSFET gerilimi

Transformatörün primer endüktansı LCR metre ile ölçülebilir. MOSFET’in gerilimi üzerindeki osilasyon periyodları ölçülür. Eşitlik 7 ve 8 yardımıyla kaçak endüktans ve parazitik kapasite bulunur. Yapılan çalışmada kaçak endüktans 3 uH olarak bulunmuştur.

(5)’te değerler yerine yazıldığında bastırma direnci 66 kΩ olarak bulunur. Burada bastırma gerilimi yansıyan gerilimin 2 katı seçilmiştir.

Bastırma kapasitesini bulmak için (6)’daki formül kullanılır. Bastırma kapasitesinin gerilim dalgalanması %6 olarak belirlenmiştir. C_{sn} değeri 4.7 nF olarak bulunur.



Şekil 4. RCD bastırma hücresi uygulandığında MOSFET gerilimi

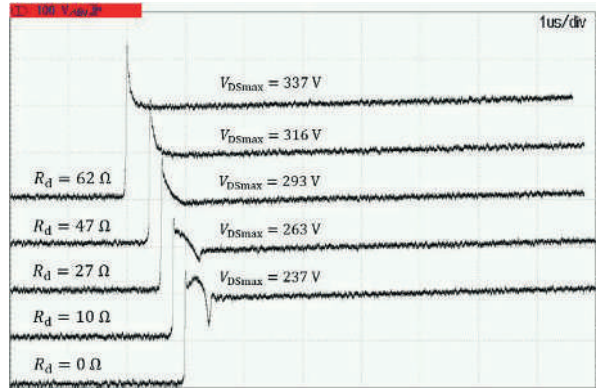
Hesaplanan eleman değerleri devrede yerine konulduğunda MOSFET gerilimi Şekil 4’de de görüldüğü gibi 237 V olmuştur. RCD bastırma hücresi uygulandığında eleman üzerindeki maksimum gerilimin ve kaçak endüktans ile parazitik kapasite arasındaki salınımın önemli derecede azaldığı görülmektedir. Fakat Şekil 4’te de görüldüğü üzere bastırma diyodunun ters toparlanma akımından dolayı osilasyonlar tamamen bastırılmamıştır. Bu durum ilave kayıplar ve beklenmeyen ortak mod gürültülerin oluşmasına neden olur.

2.1. RCD-R Bastırma Hücresi Tasarımı

RCD bastırma hücresine seri bağlanan bir direnç R_d ile bastırma diyodunun ters toparlanma akımı sönmülenebilir. Eğer R_d değeri uygun seçilirse ters toparlanma akımı tamamen sönmülenebilir fakat MOSFET üzerinde ilave gerilim stresine neden olur. Seçim yapılırken devre maksimum çalışma geriliminde iken eleman üzerindeki gerilim seviyesine dikkat edilmelidir. Nominal çalışma şartlarında MOSFET üzerindeki maksimum gerilim beyan edilen maksimum geriliminin %20 si kadar olması önerilir.

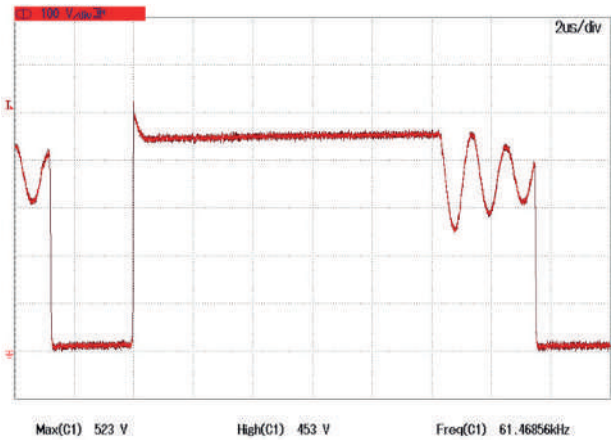
Devrede kullanılan MOSFET’in uçları arasındaki maksimum gerilim 650V’tur.

R_d direnci seçilirken MOSFET’in 520V’u aşmamasına dikkat edilmelidir. Bu çalışmada R_d direnci deneysel yöntemle seçilmiştir. Eleman üzerindeki gerilimi izleyerek ve maksimum gerilime dikkat ederek seçim yapılmıştır.



Şekil 5. R_d değerinin MOSFET gerilimi üzerindeki etkisi

Şekil 5’te de görüleceği üzere R_d direncinin 10 ohm olduğu durumda bastırma diyodundan ters toparlanma akımı aktığı görülmektedir, yüksek olduğu durumda ise MOSFET üzerindeki gerilim stresi artmaktadır. Burada sistem maksimum giriş gerilimde çalıştırılıp R_d direncine karar verilir.

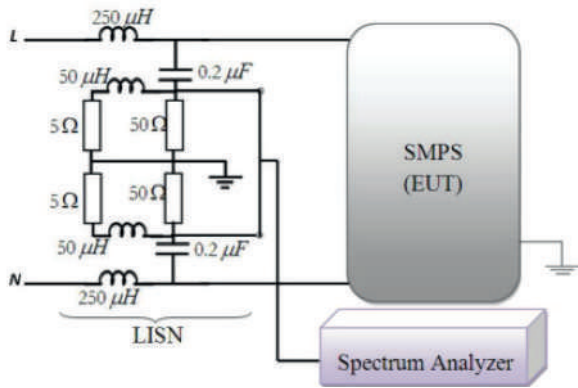


Şekil 6. RCD-R bastırma hücresi uygulandığında MOSFET gerilimi, R_d = 27 Ω V_{in} = 265 V_{ac}

R_d değeri 27 ohm seçildiğinde MOSFET gerilimi 523 V olmaktadır. Daha yüksek değerler eleman üzerindeki gerilim stresini arttıracığı için kullanılamamıştır.

3. Deneysel Sonuçlar

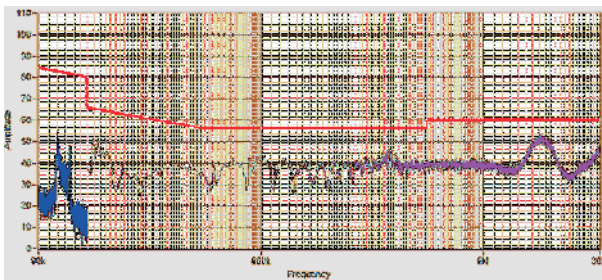
Bu bölümde tasarlanan RCD-R bastırma hücresinin iletim yayınına etkisinin görülmesi için ölçümler yapılmıştır. Spektrum analizör ile 90 kHz ile 30MHz arasındaki elektromanyetik gürültüler ölçülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.



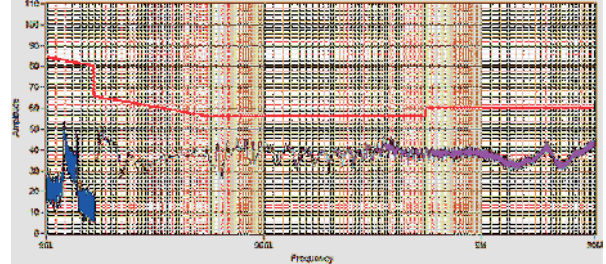
Şekil 7. Spektrum analizörü ile elektromanyetik girişim ölçümü

İletim yayını, ortak mod ve diferansiyel mod olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Genellikle diferansiyel mod gürültü akımın hızla değişmesi ile ortak mod gürültüleri ise gerilimin hızlı değişimi ile bağlantılıdır [11]. İletim yayınına ölçülmesi için hat empedansı dengeleme devresi (HEDD veya LISN) kullanılır. LISN test altındaki cihazın güç kaynağı arasında süzgeç görevi görür ve güç kaynağından gelen gürültüleri bastırmaktadır. Test altındaki cihazın ürettiği gürültülerin ise güç kaynağına ulaşmasını engeller ve spektrum analizör ile ölçülmesini sağlar. Şekil 7'de test düzeneğinin bağlantısı gösterilmiştir.

Yapılan ölçümlerde gösterilen limit değerleri LED sürücü standartları içindir.



Şekil 8. Bastırma hücresi uygulanmadan ölçülen iletim yayını sonuçları



Şekil 9. RCD-R bastırma hücresi uygulandıktan sonra ölçülen iletim yayını sonuçları

Şekil 8'de bastırma hücresi uygulanmadığı zaman iletim yayını sonuçları gösterilmiştir. Yaklaşık olarak 18MHz bandında sistemin elektromanyetik girişim değerleri standardın 5-6 dBuV altında geçmektedir. Şekil 9'da ise bu değer 15-16 dBuV'tur. İki görüntü karşılaştırıldığında RCD-R bastırma hücresinin etkisi yoğun olarak 18 MHz bandında etkili olduğu ve bu bantta gürültüleri 10 dBuV düşürdüğü görülmektedir.

Yapılan ölçümler test merkezlerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Ayrıca ürün seri üretime geçildiği takdirde kullanılan elemanların toleransları sebebiyle aynı sonucu vermeyecektir. Dolayısıyla güvenli bölgede kalabilmek için tasarlanan ürünlerin genellikle limitlerden 10 dBuV daha düşük olması istenmektedir. Bu nedenle tasarlanan üründe RCD-R bastırma hücresi uygulanması tasarımın güvenilirliği açısından gereklidir.

4. Sonuç

RCD bastırma hücreleri flyback transformatörünün kaçak endüktansı ve MOSFET'in parazitik kapasitesinin oluşturduğu osilasyonu iyileştirmektedir. RCD bastırma hücresinin uygulanmasıyla oluşabilecek elektromanyetik girişim değerleri ve MOSFET üzerindeki gerilim stresi iyileşmektedir. Fakat bastırma diyodunun ters toparlanma akımı sebebiyle ilave osilasyon ve kayıp oluşturmaktadır. RCD-R bastırma hücresi diyodun olumsuz etkisini iyileştirmektedir. Yüksek güç faktörlü kesintili mod flyback dönüştürücü kartı ile yapılan bu çalışmada RCD-R bastırma hücresinin iletim yayını üzerinde önemli ölçüde iyileşme görülmektedir.

Kaynaklar

- [1] K. Billings and T. Morey, Switchmode Power Supply Handbook. New, York, NY, USA: McGraw-Hill, 2011.
- [2] A. Hren, J. Korelic, and M. Milanovic, "RC-RCD clamp circuit for ringing losses reduction in a flyback converter," IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs, vol. 53, no. 5, pp. 369–373, May 2006.
- [3] C. S. Liao, K. M. Smedley, "Design of high efficiency Flyback converter with energy regenerative snubber," in Proc. IEEE APEC 2008, pp. 796 – 800.
- [4] B. R. Lin, H. K. Chiang, K. C. Chen, D. Wang, "Analysis, design and implementation of an active clamp flyback converter," in International Conference of PEDS 2005, pp. 424 – 429.
- [5] A. Rahnamaee, J. Milimonfared, K. Malekian, M. Abroushan, "Reliability consideration for a high power zero-voltage-switching flyback power supply," in Proc. IEEE EPE-PEMC 2008, pp. 365 – 371.

- [6] P. Meng, X. Wu, J. Yang, H. Chen, and Z. Qian, "Analysis and design considerations for EMI and losses of RCD snubber in flyback converter," in Proc. Appl. Power Electron. Conf. Expo., 2010, pp. 642–647.
- [7] L. Umanand, Power Electronics: Essentials and Applications. New Delhi, India: Wiley India, 2009.
- [8] P. Meng, H. Chen, S. Zheng, X. Wu, and Z. Qian, "Optimal design for the damping resistor in RCD-R snubber to suppress common-mode noise," in Proc. IEEE 25th Annu. Appl. Power Electron. Conf. Expo., Feb. 21–25, 2010, pp. 691–695.
- [9] G. B. Koo, "Design guidelines for RCD snubber of flyback converters," Fairchild Semiconductor, San Jose, CA, USA, Appl. Note AN-4147 Rev. 1.1.0, 2006
- [10] H. S. Choi, "Design Guideline for Flyback Charger Using FAN302HL/UL" Fairchild Semiconductor, San Jose, CA, USA, Appl. Note AN-6094 Rev. 1.0.0, 2012
- [11] M. Miloudi, A. Bendaoud, H. Miloudi, S. Nemnich and H. Slimani, "Analysis and Reduction of Common-Mode and Differential-Mode EMI noise in a Flyback Switch-Mode Power Supply (SMPS)" IEEE Trans. Telecommunication forum TELFOR 2012., Nov 2012, pp. 1080-1083.

Uzay Uygulamaları için FPGA Tabanlı Lojik Devrelerde Üçlü Modüler Yedeklemeli Hata Düzeltme ve İkili Karşılaştırmalı Hata Tespiti Devresi

Triple Modular Redundancy and Duplication with Comparison Error Detection Circuit in FPGA based Logic Circuits for Space Applications

Burak Kelleci

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Okan Üniversitesi
burak.kelleci@okan.edu.tr

Özet

SRAM tabanlı FPGA'ler kullanılan uzay uygulamaları için üçlü modüler yedeklemeli hata düzeltme ve ikili karşılaştırmalı hata tespiti devre yapısı önerilmiştir. Uzay radyasyonundan dolayı oluşan tek bozulma olayları senkron lojik devrelerin saklayıcılarındaki veriyi bozarak hatalı çalışmalarına neden olmaktadır. Üçlü modüler yedeklemeli devre yapıları saklayıcılarındaki verileri tek bozulma durumlarına karşı korumaktadırlar. Kombinasyonel devre fonksiyonları SRAM tabanlı FPGA'lerde aramalı tablolar ile gerçekleştirildiğinden SRAM hafızadaki istenmeyen değişimler kombinasyonel devrelerin çalışmalarını bozmaktadır. Hamming kodlama ile SRAM hafızada oluşan bir bitlik hata düzeltilmesine rağmen ikinci hatalı bit düzeltilmemektedir. Bu bozulma türü ikili karşılaştırmalı hata tespit devresi ile yakalanıp SRAM hafızasının içeriği tazelenerek devre normal çalışmasına döndürülmektedir. Önerilen devre yapısı FPGA üzerinde uygulanarak devreye çalışırken hata enjekte edilmiştir. Devre bir bitlik hatayı düzelterek normal çalışmasına devam etmiştir.

Abstract

An error correction using triple modular redundancy and error detection using duplication with comparison circuit is proposed to be used in SRAM based FPGAs for space applications. Single-event upset due to the radiation in space corrupts data on the register of synchronous logic circuits and causes incorrect operations. Triple modular redundancy protects registers against single-event upsets. Since the combinational logic circuits are realized using lookup-tables in SRAM based FPGAs, data change on SRAM results in corruption of combinational logic function. Although one-bit error can be mitigated using Hamming coding, second bit error cannot be corrected. This type of corruption is detected using duplication with comparison circuits and SRAM memory is refreshed. The proposed circuit is implemented on FPGA and an error is injected during the normal operation. One-bit error is detected and corrected and the circuit continues to operate as expected.

1. Giriş

Sayısal devrelerin güvenliğinin öncelikli olduğu ya da uzay gibi radyasyonun yoğun olduğu ortamlarda oluşabilecek hatalara rağmen hatasız çalışmaları ve sayısal devrelerde hata oluşması durumunda uygun önlemlerin otomatik olarak alınması beklenmektedir [1]. Literatürde hafızalarda oluşan hatalar için hata yakalama ve düzeltme algoritmaları ile lojik devrelerde oluşan hatalar için aynı işlemi yapan yedek devreler önerilmiştir [2].

Hafıza devrelerindeki verilerde oluşabilecek bir bit hatayı yakalamak için kullanılan en basit yöntem veriye eşlik biti ekleme. Bu ekstra bit sayesinde verideki bit sayısı tek ya da çift sayı olmaktan ve herhangi bir bit hatası bu ilişkiyi bozduğundan verideki bir bit hata yakalanmaktadır. Eşlik biti sayesinde bir bit hata yakalansa da hata düzeltilmemektedir. Bu problem Hamming kodlamada ekstra eşlik biti kullanılarak aşılmaktadır [3]. Örneğin, 4 bitlik veri 3 bit eşlik biti ile beraber 7 bit olarak saklandığında bir bit hatası tespit edilip düzeltilmektedir. Hamming kodlama tekniğinde ekstra bir eşlik biti daha eklenerek 2 bit hatası tespit edilmektedir. Bu durumda 4 bitlik veri 8 bit olarak saklanmaktadır. Bu hata düzeltme ve tespit algoritmaları rastgele erişilebilir hafıza ve sonlu durum makinelerinde kullanılmaktadır.

Senkron ve kombinasyonel lojik devreler ise hatalara karşı üçlü modüler yedekleme (Triple Modular Redundancy, TMR) tekniği ile korunmaktadır [4]. TMR tekniğinde korunmak istenen devrenin üç adet kopyasına aynı giriş sinyalleri uygulanır. Hatanın oluşmadığı durumlarda üç devrede aynı çıkışı oluşturacaktır. Ancak devrelerden birinde hatalı karar verilirse çıkış diğer iki devrenin sonucu olarak kabul edilir. Bu teknik oluşan sadece bir hatayı düzeltmektedir. Daha fazla bit hatası düzeltmek için korunmak istenen devrenin kopya adeti tek sayı olacak şekilde paralel devre sayısı artırılmaktadır. Örneğin beş kopya ile karşılaştırma yapılırsa devre iki bit hataya karşı korunmaktadır. Ancak bu şekilde devre sayısını arttırmak alan gereksinimini arttıracığından tercih edilmemekte ve pratikte çoğu zaman üç kopya ile bir bit koruma kullanılmaktadır. Lojik devrenin hatasını düzeltmek yerine sadece tespit etmek istenirse ikili karşılaştırma (Duplication With Comparison, DWC) tekniği

kullanılmaktadır [5]. DWC tekniğinde lojik devrenin iki kopyasına da aynı girişler uygulanmakta ve çıkışlar karşılaştırılmaktadır. Devrelerden birinde hata oluşması durumunda çıkışlar farklı olmaktadır. Bu durumda devre ya belirli bir duruma götürülür ya da baştan başlatılmaktadır. DWC tekniğinde istenirse lojik devreler bir saat darbesi kadar farklı zamanlamalarda çalıştırılarak bozucu etkinin her iki devreye de farklı şekilde etki etmesi sağlanarak devrenin aynı noktasında aynı hatanın oluşması önlenmeye çalışılmaktadır.

Uzay radyasyonundaki iyonlar, elektronlar tümelştirilmiş devrelerin içine girdiklerinde geçici sinyal hatalarına yol açabildikleri gibi kalıcı hasarlara da neden olabilirler. Kalıcı hasarlar arasında MOS transistörün geçidine hasar verilmesi (Single-Event Gate Rupture, SEGR) ve latchup (Single-Event Latchup, SEL) sayılabilir [6]. SEL normal çalışmada tıkama yönünde kalması gereken jonksiyonların radyasyon yüzünden iletme geçerek beslemeden kontrolsüz akım çekilmesine neden olmaktadır. Bazen besleme kesilip yeniden bağlandığında devre problemsiz olarak çalışabilmektedir. Ancak SEL beslemeden kontrolsüz akım çekilmesine neden olduğundan devreye hasar da verebilmektedir. Kalıcı hasar oluşturmayan ancak devrenin çalışmasını etkileyen hatalar kombinasyonel ve senkron devreleri etkileyen Tek Geçici Olay (Single-Event Transient, SET) ve senkron ve hafıza devrelerini etkileyen Tek Bozulma Olay (Single-Event Upset, SEU) olmaktadır. Kombinasyonel devreler işlem yaparken oluşan SET bir süreliğine devrenin sonucunun yanlış olmasına neden olmaktadır. Eğer hatalı sonuç kombinasyonel devrenin çıkışındaki hafıza ya da saklayıcı tarafından yakalanırsa hata devrenin çalışmasını etkiler hale gelmektedir. SEU ise hafıza, saklayıcı ya da Flip-Flop'da bulunan verinin değerinin değişmesine neden olur. Haliyle hatayı oluşturan durumun etkisi geçtikten sonra bile hatalı veri işlenmektedir.

Kalıcı hasar veren SEL ve SEGR genelde tasarımın yapıldığı teknoloji tarafından engellenmektedir. Örneğin, yalıtık üzeri silikon (SOI) teknolojisi kullanılarak iyonların silikon tabanda oluşturdukları delik-elektron çiftlerinin miktarı düşürülmekte ve SEL oluşması engellenmektedir. Hatalı karar verilmesine neden olan SET ve SEU ise çeşitli devre teknikleri ile engellenmektedir.

Uzay uygulamalarında ileride ortaya çıkabilecek sorunları çözebilecek ve uzay aracı hedefine giderken iyileştirmeler yapabilmek için Sahada Programlanabilir Kapı Dizisi (FPGA) yapıları kullanılmaktadır. FPGA yapılarının bir sefer programlanabilir ve tekrar programlanabilir versiyonları bulunmaktadır. Tekrar programlanabilir olanlar kapı yapılarını ve bağlantı bilgilerini flaş hafızada saklamakta ve çalışma esnasında SRAM hafızaya kopyalamaktadır. Flaş hafıza bit hatalarına karşı istenirse koruma içermektedir. Kombinasyonel devrelerin lojik fonksiyonları ve bağlantı bilgileri SRAM hafızada tutulduğundan SEU nedeniyle SRAM hafızadaki verinin bozulması gerçekleşen kombinasyonel devrenin değişmesine neden olmaktadır. Eğer SRAM hafızada ekstra koruma biti var ise bir bitlik hata düzeltilebilmektedir. Ancak hatalı bit sayısı birden fazla ise SRAM'in içeriğinin flaş hafızadan yeniden yüklenmesi gerekmektedir.

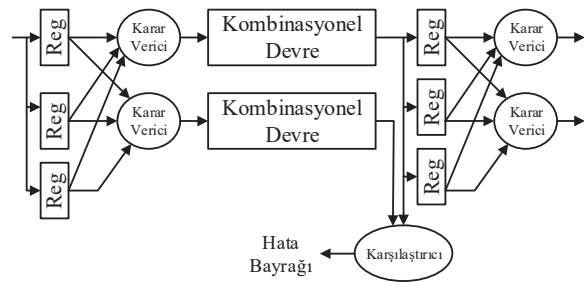
Bu çalışmada önerilen devre yapısında yazmaçlar TMR tekniği ile korunurken kombinasyonel devrelerdeki hatalar DWC tekniği ile tespit edilip konfigürasyon hafızası

tazelenmektedir. Ayrıca konfigürasyon hafızasındaki bir bitlik hatalar da tespit edilip düzeltilmektedir. Bölüm 2'de önerilen yapı ve elde edilen hata oranı açıklanmıştır. Bölüm 3'de örnek bir devre üzerinde önerilen yapı gerçekleştirilmiştir. Benzetim sonuçları bölüm 4'de ve sonuç bölüm 5'de açıklanmıştır.

2. Hata Yakalama ve Düzeltme

Xilinx firması yeni nesil FPGA'leri için konfigürasyon hafızasındaki bir bitlik hataları düzeltmek için hata düzeltme devresi önermiştir [7]. Konfigürasyon hafızası alt parçalara bölünmüştür ve her hafıza hata tespit ve düzeltme algoritması ile korunmaktadır. Ayrıca konfigürasyon hafızasının tümü ise hata tespit algoritması ile korunmaktadır. Hata yakalandığında isteğe göre konfigürasyon hafızası yeniden flaş hafızadan yüklenilmekte ya da bir bit arka planda otomatik olarak düzeltilmektedir. Ancak bu devre yazmaçları, FPGA üzerindeki hafızaları ve konfigürasyon dosyasının bulunduğu flaş hafızadaki verileri hataya karşı korumamaktadır.

Hatalara karşı yazmaçları korumak için Şekil 1'de gösterilen üçlü hata düzeltme devresi kullanılmıştır. Her yazmaç aynı girişi örneklemede ve çıkışları bir karar devresine gitmektedir. Karar devresi fazla sayıda olan bit değerini doğru olarak kabul etmekte ve çıkışını o bit değerine eşitlemektedir. Karar vericinin çıkışı istenilen hesap işlemi yapacak olan kombinasyonel devreye uygulanmaktadır. Bu devrenin çıkışı aynı zamanda başka yazmaçların girişleri olmaktadır. Şekil 1'de gösterildiği üzere karar verici ve kombinasyonel devrelerin kopyaları da aynı işlemi yapmaktadır. Bu iki hattın çıkışları karşılaştırılmakta ve farklı olma durumlarında hata bayrağı kaldırılmaktadır. Hata bayrağı sayesinde devrenin diğer kısımları yapılan işlemin hatalı olduğunu tespit edip hata düzeltme işlemine başlamaktadırlar. Bu çalışmada hata bayrağı kaldırıldığında FPGA konfigürasyonu flaş hafızadan tekrar yüklenerek hatanın düzeltilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 1: Üçlü Modüler Yedekleme ve İkili Karşılaştırma Devresi

2.1. Hata Oranı

Elektronik devrelerde hata oranı genellikle FIT (Failures In Time) cinsinden tanımlanmaktadır. Bir FIT değerine sahip bir elektronik parça 1 milyar saat çalışması durumunda bir adet hatalı işlem yapacaktır. Eğer devrede 1 milyon adet FIT değeri 1 olan elektronik parça kullanıldıysa devrenin her 1000 saatte bir hata yapması beklenmektedir [7].

Hata oranı aynı zamanda sıcaklığa da bağlıdır. Sıcaklığın hızlandırma etkisi Arrhenius ilişkisi kullanılarak (1) no'lu denklem ile modellenmektedir.

$$A = e^{\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_j} - \frac{1}{T_s} \right)} \quad (1)$$

Bu denklemde E_a termal aktivasyon enerjisi olup silisyum devreler için 0.7eV olarak kabul edilmektedir. k ise Boltzman sabiti, T_j devrenin normal kullanımındaki jonksiyon sıcaklığı ve T_s ise devrenin yaşam testleri esnasındaki jonksiyon sıcaklığıdır.

Hata oranı ise aşağıdaki denklem ile gösterilmektedir.

$$FIT = \frac{M \cdot 10^9}{N_C \cdot t \cdot A} \quad (2)$$

Bu denklemde M istenilen güvenilirlik aralığına karşı düşen chi-kare değeridir. N_C devrede kullanılan parça sayısı ve t devrenin çalışma süresidir. FIT değeri ile hatasız çalışma süresi arasında aşağıdaki denklemden görüldüğü üzere üssel bir ilişki bulunmaktadır.

$$R(t) = e^{-\frac{t \cdot FIT}{10^9}} \quad (3)$$

Bu denklemde $R(t)$ sistemin güvenilirliği olup zamanın bir fonksiyonudur. Üçlü modüler yedeklemeli devreler sayesinde güvenilirliği R_M yani hata oranı FIT_M olan modüller kullanılarak gerçekleştirilen sistemin güvenilirliği aşağıdaki denklem ile gösterildiği üzere R değerine çıkarılmaktadır [2].

$$R(t) = 3e^{-\frac{2t \cdot FIT_M}{10^9}} - 2e^{-\frac{2t \cdot FIT_M}{10^9}} \quad (4)$$

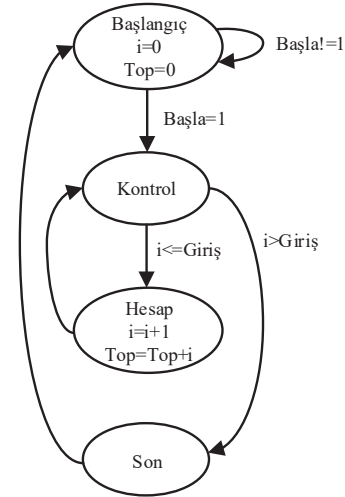
Çalışma zamanı düşük olduğunda (4) no'lu eşitlikten görüldüğü üzere devrenin güvenilirliği artmaktadır.

Örneğin FIT değeri yüz olan bir devre bin saat çalışmada yüz bin adet hata yaparken üçlü modüler yedeklemeli ile gerçekleştirildiğinde devrenin FIT değeri 30'a düşmektedir.

3. Tasarım

Önerilen yapıyı test etmek için sıfırdan giriş değerine kadar tam sayıları toplayıp sonucu yedi-segment ekrana yazdıran sonlu durum makinesi tabanlı bir devre tasarlanmıştır [8]. Devrenin diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir. Giriş sinyali 4 bit ile belirtilmektedir. Bu durumda 4 bitlik sayı ile gösterilen en büyük sayı 15 olmaktadır. 15'e kadar sayıların toplamı da 120 olmakta ve en azından 7 bit ile gösterilmektedir. Çıkış sinyali ve hesap esnasında saat darbeleri arasında geçici verilerin tutulduğu top değişkeni 7 bit ile gösterilmektedir. Adımı takip eden i değişkeni ise sıfırdan girişe kadar olan değerleri aldığından 4 bit ile gösterilmiştir. Giriş sinyali belirtildikten sonra devre işleme başlamak için bir bitlik başla sinyalinin değerinin lojik 1 olmasını beklemektedir. Devre çalışmaya başladıktan sonra i değeri her adımda bir arttırılmakta ve Top değişkeni ise o anki i değeri ile toplanmaktadır. Adım sayısı girişten daha fazla olduğunda işlem sonlandırılmakta ve toplam sonucu çıkışa atanmaktadır.

Tasarımda kontrol ve toplam işlemleri kombinasyonel devreler ile gerçekleştirilmektedir. Adım sayısının takibi, her adımdaki toplam sonucu, durum takibi ve sonucun işlemler arasında tutulması için yazmaçlar kullanılmıştır. Yazmaçların herhangi



Şekil 2: Sonlu Durum Makinesi Diyagramı

birinde oluşabilecek hata devrenin çalışmasını bozabileceğinden yazmaçlar üçlü modüler yedekleme ile hataya karşı korunmuşlardır. Kombinasyonel devrelerde oluşabilecek hatalar ise ikili karşılaştırmalı hata yakalama devresi ile korumaya alınmıştır. Xilinx firmasının FPGA'lerin konfigürasyon hafızaları SRAM tabanlı olduğundan bu hafızada oluşabilecek hatalar devrenin devamlı hatalı karar vermesine neden olmaktadır. Bunu engellemek için Xilinx firmasının kütüphanesinde bulunan hata düzeltme devresi de kullanılarak konfigürasyon hafızasında oluşan bir bitlik hatalar otomatik olarak düzeltilmektedir. Ancak konfigürasyon hafızasında bir bitten fazla hata oluştuğunda, Şekil 1'de gösterilen yapıda kombinasyonel devrelerin çıkışları farklı olmaktadır. Bu durumda konfigürasyon hafızasındaki veri flaş hafızadan yeniden yüklenerek devre başlangıç konumuna getirilerek hatasız olarak devrenin çalışması garanti edilmektedir.

Tasarlanan devre Xilinx firmasının Artix-7 xc7a35tcbg236-1 FPGA'si üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sentez sonucunda kullanılan FPGA kaynakları Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1: Kullanılan Devre Yapıları ve Konfigürasyon Bit Sayıları

Devre Yapısı	Miktar	Konfigürasyon Bit Sayısı
Slice	573	1166
RAMB18	3	4698
Giriş/Çıkış	42	2850

Xilinx firması konfigürasyon hafızasının FIT oranlarını Mb başına FIT olarak vermektedir. Artix-7 FPGA ailesinin konfigürasyon hafızası hata oranı 72 FIT/Mb olduğundan ve konfigürasyon hafızasının %10'unundan daha az kısmı kullanıldığından FIT değeri (3) no'lu denklemde gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır [9].

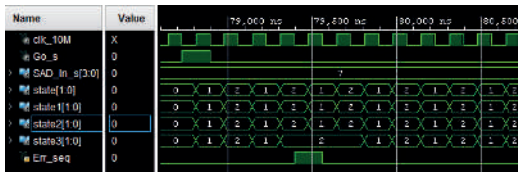
$$FIT = 0.1 \cdot (573 \cdot 1166 + 3 \cdot 4698 + 42 \cdot 2850) \cdot 72FIT / Mb = 5.8 \quad (3)$$

Bu devrenin bir milyon saat çalışmada güvenilirliği %99.42 olmaktadır. Ancak üçlü modüler yedeklemeli devre yapısı kullanıldığında güvenilirlik %99.99 olmaktadır.

4. Benzetim

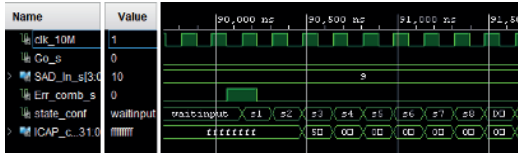
Şekil 2’de gösterilen sonlu durum makinesi Şekil 1’deki yapı ile hataya karşı korumalı bir şekilde olacak şekilde VHDL’de gerçekleştirilmiştir. Devrenin hataları düzeltme performansı devreye kontrollü bir şekilde hata enjekte edilerek test edilmiştir.

Şekil 3’teki üçlü modüler yedeklemeli olarak korunan durum yazmacına hata enjekte edilmiştir. State1, State2 ve State3 yazmaçları durumun üç kopyasını tutmaktadır. *Err_seq* sinyali ile enjekte edilen hata yüzünden yazmaçlardan birinin değeri bozulsa bile durum (state sinyali) yazmacının değeri doğru olarak belirlenmektedir.



Şekil 3: Yazmaç Hatası Düzeltme Benzetim Sonucu

Kombinasyonel devrelerde hata oluştuğunda konfigürasyon hafızasındaki veri flaş hafızadan tekrar yüklenmektedir. Xilinx FPGA’lerde konfigürasyon hafızasına erişim ve gerekiyorsa konfigürasyon işlemi yeniden başlatmak için ICAP devresi kullanılmaktadır. Konfigürasyonu flaş hafızadan yeniden yüklemek için ICAP’e yeniden başlatma komutu sonlu durum makinesi kullanılarak Şekil 4’de gösterildiği şekilde gönderilmektedir.



Şekil 4: Kombinasyonel Devre Hatası Sonucu Yeniden Başlatma Benzetim Sonucu

Konfigürasyon hafızasındaki bir bitlik hatalar ise Xilinx’in kütüphanesinde bulunan hata düzeltme devresi (SEM) tarafından düzeltilmektedir. Eğer yan yana bir bitten daha fazla hata var ise SEM devresi düzeltilemez hata bulunduğunu belirtmektedir. SEM devresi ile iletişim seri arabirim üzerinden yapılmaktadır. Deniz seviyesinde konfigürasyon hafızasında hata oluşma ihtimali çok düşük olduğundan test amaçlı konfigürasyon hafızasına hata enjekte edilmektedir. Şekil 5’de gösterilen komut çıktısında SEM devresi kendisini test edip gözlem moduna geçmektedir. Hata enjekte edebilmek için SEM devresi önce bekleme moduna alınmaktadır. Hata enjekte edildikten sonra da gözlem moduna geçilmektedir. Bu modda SEM hatayı tespit edip düzeltmiştir. Daha sonra “FC 40” bilgisini göndererek hatanın düzeltildiğini bildirmiştir.

5. Sonuçlar

SRAM tabanlı FPGA’ler sahada tekrar programlanabilir özelliklerinden dolayı uzay uygulamalarında tercih

edilmektedirler. Ancak uzay radyasyonundan dolayı hatalı işlemlere karşı korunma önlemlerine ihtiyaç duymaktadırlar.

```

>> SEM_V4_1
SC 01
FS 02
ICAP OK
RESE OK
FMOT OK
SC 02
>> I
SC 00
L> W C001C835D0
SC 10
SC 00
L> 0
SC 02
>>
SC 04
SBO OK
PR 0000111F
CA 000010E3
WD 2E B7 10
COB
RD 2E B7 10
SBO
SC 00
SC 08
SC 40
SC 02
>>

```

Şekil 5: SEM Devresi Komut ve Durum Çıktısı

Tasarımın hatalara karşı korunması için üçlü modüler yedeklemeli hata düzeltme ile yazmaçlar korunmaktadır. Ayrıca ikili karşılaştırmalı hata tespit devre yapısı ile kombinasyonel devrelerdeki hata tespit edilerek konfigürasyon hafızası flaş hafızadan tekrar yüklenerek sistemin hatası düzeltilmektedir. Konfigürasyon hafızası devamlı gözlemlenerek konfigürasyon hafızasındaki bir bitlik hatalar sistemi yeniden yüklemeyi düzeltilmektedir.

Benzetim sonuçları devrenin beklediği gibi çalıştığını göstermektedir. Önerilen yapı sayesinde sistemin güvenilirliği bir milyon saat çalışma için %99.42’den %99.99’a çıkmıştır. Önerilen yapı uzay uygulamaları dışında güvenliğin önemli olduğu otomotiv uygulamalarında da kullanılabilir.

6. Kaynaklar

- [1] Edmonds, L.D., Barnes, C.E., ve Scheick, L.Z., "An Introduction to Space Radiation Effects on Microelectronics," NASA JPL Publication 00-06, Mayıs 2000
- [2] Lyons, R. E. ve Vanderkulk, W., "The Use of Triple-Modular Redundancy to Improve Computer Reliability," in IBM Journal of Research and Development, vol. 6, no. 2, pp. 200-209, Nisan 1962.
- [3] Mano, M. M., Kime C. R. Ve Martin T., "Logic and Computer Design Fundamentals", Pearson, Mart 2015
- [4] Habinc, S., "Functional Triple Modular Redundancy (FTMR)", ESA report, No. 15102/01/NL/FM(SC), Aralık 2002
- [5] McMurtrey, D. L., "Using Duplication with Compare for On-line Error Detection in FPGA-based Designs", M.Sc. Thesis, Brigham Young University, Aralık 2006
- [6] Adell, P. ve Allen, G., " Assessing and Mitigating Radiation Effects in Xilinx FPGAs," NASA JPL Publication 08-09, Şubat 2008
- [7] Xilinx, "Device Reliability Report, First Half 2016", UG116, Temmuz 2017
- [8] Kelleci, B., "VHDL ve Verilog ile Sayısal Tasarım", Seçkin Yayıncılık, Mart 2017
- [9] Xilinx, "Soft Error Mitigation Controller v4.1", PG036, Nisan 2017



EEMKON 2017

16-18 KASIM 2017
Harbiye Askeri Müze Kültür Sitesi

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ



ENERJİ POLİTİKALARI SEMPOZYUMU BİLDİRİLERİ

Afetlerde Doğal Gaz ve Elektrik Sistemlerinin Ortak Yönetimi

Göktürk Poyrazoğlu¹, Figen Özen²

¹Özyeğin Üniversitesi, ²Haliç Üniversitesi

gokturk.poyrazoglu@ozyegin.edu.tr , figenozen@halic.edu.tr

Özet

Dünya’da ve ülkemizde doğal gaz gerek ısınma, gerekse elektrik enerjisi üretimi için giderek daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Isınma için doğal gaz kullanımı, kışın hava sıcaklıklarının ortalama değerlerin altına düştüğü zamanlarda çok yüksek seviyelere ulaşmakta, bu durum, yeterli kaynak varsa bile spot fiyatın artmasına, kaynak yetersizliğindeyse, elektrik santrallerine gönderilen gazın azalmasına neden olmaktadır. Olağanüstü şartlardaki bu istikrarsız durum yerel ve ulusal çapta elektrik ve gaz kesintilerine neden olabilmektedir.

Gaz ve elektrik sistemlerinin fiziksel yapıları farklıdır ve piyasaları da birbirinden ayrıdır. Fakat yakın zamanda gerçekleştirilen akademik çalışmalar, öngörülebilir durumlarda bu iki sistemin koordineli olarak çalıştırılması sayesinde, düşük sıcaklıklardan dolayı oluşan talep fazlasının veya afete bağlı arz düşüşünün neden olabileceği problemlerin engellenebileceğini göstermektedir.

Bu çalışmada afetlere bağlı olarak oluşabilecek olağandışı şartlarda gaz ve elektrik sistemlerinin ortak yönetimi ile istikrarlı bir arz talep dengesi yaratmaya yönelik metodlar ve sistemlerde gözlemlenen değişiklikler tartışılmıştır.

1. Giriş

Doğal gazın elektrik üretimindeki oranı ekonomik ve çevresel nedenlere bağlı olarak günden güne artış göstermektedir. Elektrik enerjisi üretiminde gaz kullanımı doğal gaz talebini arttırmakla birlikte, bu sistemin esas talep kaynağı ev ve işyerleridir ve ısıtmaya yönelik olarak kullanım daha yaygındır. Olağandışı hava şartları ve buna bağlı olan ya da olmayan çeşitli afetlerde doğal gaz kaynakları talebin tamamını karşılamaya yetmemekte, ya da kaynak yeterli olsa bile satış fiyatı elektrik enerjisi üretiminde kullanmaya elverişli olmamaktadır. Bu iki problem gaz ve elektrik sistemlerinde istikrarsızlık yaratmakta ve bilimsel çalışmalar ile atılması gereken doğru adımlar belirlenmezse, yerel ya da ulusal çapta elektrik ve gaz kesintilerine yol açabilmektedir.

Gaz ve elektrik sistemleri arasındaki uyumsuzluğun başlıca nedenleri, bu iki sistemin kendine has fiziksel ve ekonomik yapılarıdır. Yakın zamanda yapılan akademik çalışmalar gaz ve elektrik sistemlerinin ortak yönetiminin olağandışı şartlarda gerçekleşmesi muhtemel elektrik ve gaz kesintilerini önlediğini, tamamen engellenemeyen durumlarda ise kesintileri en aza indirebildiğini göstermektedir [1], [2], [3].

Bu bildiri, afetlerde gaz ve elektrik sistemlerinin ortak yönetimi ile sistemlerinin istikrarının artırılması üzerine yoğunlaşmaktadır. İzleyen bölümlerde çalışma alanıyla ilgili

literatür taraması, çalışmanın amacı ve problemin ifadesi örneklerle detaylandırılmıştır. Sonuç bölümünde yöneylem araştırmalarının problem çözümüne katkılarıyla, mikroşebekelerin ve bilişim teknolojilerinin kullanımının faydaları incelenmiştir. Endüstri aktörlerinin problemde oluşmasında ve çözümündeki rolleri ile sistem planlama çalışmalarının doğal gaz ve elektrik sistemlerinin ortak yönetimine uzun vadede oluşturacakları katkılar ayrıntılarıyla tartışılmıştır.

2. Literatür taraması

Bu çalışma içerisinde yer alan araştırma konuları yakın zaman içerisinde akademik çevrelerden yüksek düzeyli ilgi görmektedir. Doğal gaz ve elektrik sistemlerinin ortak yönetimi ile ekonomik tasarrufların sağlandığı yöneylem araştırma sonuçları gerçek ölçekli sistemlerde yapılan benzetim çalışmaları ile örneklendirilmiştir [4]. Sistemlerin kapasite ihtiyaçlarının ortak yönetim anlayışı içerisinde modellenmesi ile gelecekte gerekecek yatırımların doğru çözümlere aktarılmasının ülke ekonomilerine katkıları incelenmiştir [5]. Ortak yönetimin sistemlerin dayanıklılıkları üzerine etkileri ayrıca dikkat çeken bir araştırma alanıdır. Bu konuda yapılan çalışmalar ortak yönetimin elektrik güç sistemi üzerindeki dayanıklılık riskini azalttığını ve operasyonel giderleri düşürdüğünü göstermektedir [6], [7].

Bilişim sistemlerinin ortak yönetim çerçevesinde kullanılması benzetim yöntemleri ile sağlanan faydaların en azami şekilde gerçek sistemlerde de görünmesi için çok önemli bir rol oynamaktadır. Fakat iletişim teknolojileri siber saldırılara karşı son derece hassas ve planlı kurulmalıdır. Bu nedenle, doğal gaz ve elektrik sistemleri ile birbirleri arasında transfer edilen bilgiyi korumak için yapılan çalışma, sistemler üzerindeki güçsüz halkaların tespiti ve problemin giderilmesi yönünde atılması gereken adımları incelemiştir [8].

Bu çalışmanın ayrıcalığı, farklı disiplinler içerisinde elde edilen bilginin doğal gaz ve elektrik sistemlerinin ortak yönetimine uygulanmasındaki yararlarını tartışmak ve matematiksel modellemelerin sağlanması ile benzetim tekniklerinin uygulanabilirliğini incelemektir.

3. Problem ifadesi ve çalışmanın amacı

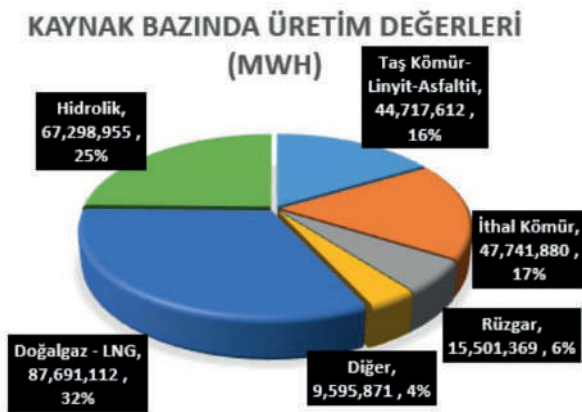
Doğal gazın düşük karbon salınımı ve yüksek enerji verimliliği elektrik üretiminde gaz kullanımını her geçen gün arttırmaktadır. Bu bağımlılık iki sistemin arasındaki ilişkiyi güçlendirmekle beraber, her iki sistem bugüne kadar birbirinden bağımsız olarak yönetilmektedir. Bu bağımsızlığın oluşturduğu risklerden bir tanesi kaynak elverişliliğinin afetlerde azalması ve kaynak kesintisine bağlı olarak istikrarını kaybeden elektrik sisteminin talebi karşılayamayacak duruma

gelmektedir. Düşük hava sıcaklıklarına bağlı olarak artan ısıtma amaçlı doğal gaz kullanımı, elektrik santrallerine iletilmesi gereken kaynaklarda kısıtlamalara gidilmesine ve bir plan dahilinde cevap verilemeyen durumlarda elektrik ve gaz kesintilerine yol açmaktadır.

Türkiye gibi nükleer santral sahibi olmayan Dünya'nın gelişmiş ülkelerinde genel olarak kullanılan kaynaklar: kömür, doğalgaz, hidrolik ve yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu kaynak çeşitliliği, elektrik şebekesinin sürekli ve istikrarlı hizmet verebilmesinin en önemli etkenlerinden birisidir. İstikrarlı bir enerji sistemine risk oluşturan en büyük tehditler ise kaynak güvenliğinin sağlanmasındaki yetersizlikler ve kaynak için başka ülkelere olan bağımlılıktır. 2016 Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (EPIAŞ) verilerine göre Türkiye'nin 2016 yılı kaynak çeşitliliği bazında kurulu güç oranları Şekil 1'de gösterilmiştir. Türkiye'nin toplam kurulu gücünün %40'ından fazlası (%31 doğal gaz ve %10 ithal kömür) dışa bağımlı kaynakla beslenen elektrik santrallerinden oluşmaktadır. Yine 2016 verilerine göre yıllık elektrik enerjisi ihtiyacının %17'sini sağlayan ithal kömür ile %32'sini karşılayan doğal gaz kaynakları şebekede yabancı kaynak bağımlılığına bağlı kaynak güvenliği problemine yol açmaktadır.



Şekil 1. Türkiye'de 2016 kaynak bazında kurulu güç

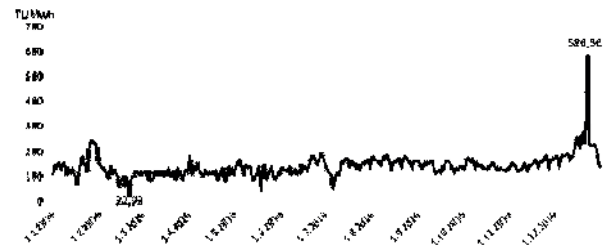


Şekil 2. Türkiye'de 2016 kaynak bazında üretim değerleri

Kaynak yetersizliği veya kaynak kısıtlamalarına bağlı olarak oluşabilecek problemlerden bir tanesi gaz ve elektrik sistemi arasındaki ilişkinin kopması ve bu durumun iki sistemi de riskli bir yönetim sürecine bırakmasıdır. Türkiye'de Aralık 2016'da olağandışı hava şartlarına bağlı olarak artan ısıtma amaçlı doğal gaz kullanımı, gaz ile çalışan elektrik santrallerine kaynak

aktarımını kısıtlamıştır. Bu kısıtlama sonucu anlık elektrik üretiminin neredeyse %30'unu karşılayan doğal gaz santralleri üretimin yalnızca %15'ini karşılayabilmiş ve talebi dengelenemeyen elektrik şebekesinin güvenliğini sağlayabilmek için belli bölgelerde elektrik kesintileri yaşanmıştır. Olağandışı hava şartları her ne kadar bu problemin oluşmasında büyük bir etken olsa da, problemin ana kaynağı elektrik ve gaz sisteminin birbirinden bağımsız bir şekilde yönetilmesidir. Hava şartlarının bir kaç gün önceden tahmin edilmesi ile uygulanabilecek elektrik-gaz ortak yönetimi, gelecekte yaşanabilecek kesintileri en aza indirerek, şebekenin normal çalışma şartlarına geri dönüşünü hızlandırabilecektir.

Kaynak yetersizliği ve kaynak kısıtlamalarından oluşabilecek bir diğer problem ise, santrallere iletilen gaz fiyatlarının dönemsel olarak artan gaz ihtiyacıyla paralel olarak artış göstermesidir. Türkiye'deki ve Dünya'daki elektrik piyasalarında elektrik spot fiyatını belirleyen marjinal santraller, çoğunlukla doğal gaz santralleridir. Bu nedenle gaz ve elektrik sistemleri arasında yaşanacak problemler elektrik fiyatına anlık ve doğrudan etki yaratmaktadır. 2016 yılı için Şekil 3'te gösterilen günlük ortalama piyasa takas fiyatı sadece gaz kesintilerinin yaşandığı üç günlük sürede normal ortalamasının 5.5 kat üstüne çıkmıştır. Yöneyim çalışmaları ve modern eniyileme yöntemlerinin kullanılmasıyla sağlatılan yıl içindeki tasarruf, gaz-elektrik ortak yönetimi ile çözülebilecek bir problem yüzünden ciddi şekilde azalmıştır. Bu çalışmanın amacı, yakın zamanda yaşanmış olan bu sorunun kaynağını ortaya koyarak kısa ve uzun vadede yapılabilecek planlama çalışmalarına ışık tutabilecek örnekler vermek ve yaşanan olaydan dersler çıkararak, bir daha yaşanması ihtimalini en aza indirmeye yönelik yöntemleri bir çatı altında buluşturmaktır.



Şekil 3. 2016 yılı günlük ortalama piyasa takas fiyatı [9]

4. Afette elektrik şebekelerinin durumuna örnekler

Elektrik, gündelik yaşamımızın olmazsa olmazları arasında yer almaktadır; öyle ki, pek çok cihazın çalışması elektriğe bağlıdır. Rutin yaşamımızdaki önemine ek olarak, afet sırasında elektrik enerjisi daha da büyük önem kazanmaktadır, çünkü iletişim ve acil müdahale için elzemdir. Afetlerde zaman kritiktir ve şebekenin onarımı için harcanan zaman, afetin büyüklüğüne ve şiddetine göre pek çok can kaybına yol açabilir. Afetler, elektrik şebekelerinde de ciddi hasarlara yol açmaktadır. Bunlara ilişkin bazı örnekler aşağıda değerlendirilmiştir.

1994 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde Northridge Kaliforniya'da yaşanan 6.7 şiddetindeki deprem sırasında toplam 10 trafo merkezi zarar görmüş ve elektrik şirketlerinin maddi zararı 183 milyon doları bulmuştur. Depremin neden olduğu toplam zararın 20 milyar dolar civarında olduğu tahmin edilmektedir [10].

1993 yılında aşırı yağış nedeniyle Amerika Birleşik Devletleri'nde Missouri ve Missisipi nehirleri taşmış, oldukça geniş bir alan sular altında kalmış ve tahminen 10-15 milyar dolarlık maddi zarar meydana gelmiştir. 1.300 trafo merkezinin 19'u devre dışı kalmış, pek çok merkez de ciddi hasar görmüştür. Sular çekildikten sonra zarar gören parçaların temizliği oldukça güç olmuştur [11].

Kolombiya'da 1999-2010 yılları arasında elektrik şebekesine yönelik 200 civarında saldırı gerçekleştirilmiştir. Hatta bu saldırılardan 11 tanesi aynı gecede yapılmıştır. Kolombiyalı uzmanlar, olası saldırılarda ortaya çıkabilecek zararları düşünerek, kulelerle ilgili alternatif yol planlamalarını yaparak çalışmışlardır. Verilen süre içinde 2.740 kule dinamitleme ya da başka türlü sabotajlarla kaybedilmiştir [12].

27 Şubat 2010 tarihinde Şili'de gerçekleşen 8.8 şiddetindeki deprem ve buna bağlı olarak sahil kesimlerini vuran tsunami sonucunda elektrik, su, gaz ve iletişim şebekeleri çökmüştür. Ülkenin merkezi elektrik şebekesi ile güneyi birbirinden ayrılarak hizmet verilmiş, iki gün sonra iki parça tekrar birleştirilmiştir. Ancak dağıtım hattı geniş oranda zarar gördüğünden, son kullanıcıya verilen hizmet aynı hızla sağlanamamıştır [13].

Ocak 2005'te Çin'in Hunan, Hubei, Chongqing bölgelerinde ve güneyde etkili olan kar fırtınası, pek çok kesintiye yol açmıştır. Nisan 2005'te Xuyi bölgesini vuran kasırga, 8 iletim kulesinin yıkılmasına yol açmıştır. İki ay sonraki kasırgada 10 kule daha yıkılınca, 500 kV'luk iletim hatları önemli miktarda zarar görmüştür. 2008'de 129 kişinin ölümüne, 4 kişinin kaybolmasına yol açan kar fırtınası ise, 200 milyondan fazla insanı etkileyen elektrik kesintilerine yol açmıştır. Milyonlarca insanın yaşadığı kimi bölgelerde ancak bir aylık çalışma sonucu elektrik sağlanabilmiştir. Bu afet nedeniyle 36.740 iletim hattı, 5.200 çelik kule, 21.018 trafo zarar görmüş ve 1.841 çelik kulenin onarılması gerekmiştir. Bu felaket sonucunda, şebeke elemanlarında buz çözücü teknolojinin kullanılması gündeme gelmiş ve gelecek planlamaları ona göre yapılmıştır. 12 Mayıs 2008'de gerçekleşen 8 şiddetindeki Wenchuan depremi sırasında 90 trafo merkezi, 181 güç iletim hattı devre dışı kalmıştır, kaybedilen güç 6.627 MW olarak tahmin edilmektedir. Devre dışı kalan tesisler arasında 1 adet 500 kV yüksek gerilim trafo merkezi ve bağlantılı 4 iletim hattı, 14 adet 220 kV trafo merkezi ve bağlantılı 47 iletim hattı, 74 adet 110 kV trafo merkezi ve bağlantılı 129 iletim hattı bulunmaktadır. Bunlara ek olarak, güç dağıtım hatları ve pek çok alçak gerilim elektrik donanımı da ciddi hasar görmüştür [14].

5. Tahmin edilen olağandışı durumlarda gaz ve elektrik ortak yönetimi

Bu bildirinin yazarlarının yaptıkları araştırma sonucunda, geçmişte yaşanan afetlerde birlikte yönetilen doğalgaz-elektrik şebekelerinde karşılaşılan sorunları belirtebilecek vaka örneklerine, ya da bu konuda yapılmış çalışmalara rastlanmamıştır. Bu sonuç, doğalgaz ve elektrik şebekelerinin bütünleşmesi sonucunda doğan karmaşık sistemin afet yanıtı üzerine yapılacak çalışmalara ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

5.a Yöneylem Araştırmaları

Elektrik ve gaz sistemlerinin piyasa yönetimi genellikle sosyal refahı en yüksek büyüklüğe çıkarmak üzerine inşa edilmiştir. Bu sistemlerin piyasa yapıları üretim giderlerini en aza indirmek suretiyle sosyal refahı yükseltmektedir. Elektrik

piyasalarında satıcı konumundaki santraller ve alıcı konumundaki elektrik dağıtım şirketleri, saatlik olarak belirledikleri alış ve satış fiyatı üzerinden elektrik takası sağlamaktadırlar. Gaz sistemi için de piyasa yapısı benzer olmakla birlikte fiyat değişimleri elektrik sistemi kadar hızlı ve ani değildir. Elektrik sistemi için yöneylem araştırmalarında genel olarak kullanılan matematiksel model aşağıda verilmiştir:

min Üretim Giderleri Toplamı

Öyle ki:

Enerji dengesi

Min & max santral üretim sınırları

Rampalama sınırları

İletim hattı akış sınırları

Santral çalışma sınırları

Gaz sistemi için yöneylem araştırmalarında genel olarak kullanılan matematiksel model aşağıda verilmiştir:

min Üretim giderleri Toplamı

Öyle ki:

Gaz Dengesi

Kaynak elverişliliği

Boru hattı akış sınırları

Basınç sınırları

Depolama sınırları

Gün öncesi elektrik piyasasında gerçekleşen dengeleme işleminden sonra santrallerin sonraki gün için saatlik üretim miktarları belirlenmektedir. Bu bilgiler ışığında doğal gaz kullanan santraller gaz sisteminden gerekli olan kaynağı alabilmek için bildirim yapmaktadırlar. Olağan şartlar altında gaz sisteminin yeterli kaynağa sahip olduğu ve santrallerin ihtiyaç duyduğu kaynağı sağlayabildiği kabul edilmektedir. Fakat hava sıcaklıklarına bağlı olağandışı şartlarda veya tahmin edilemeyen afetlerde istikrar problemi, kaynak yetersizliği veya kaynak pahalılığı olarak baş göstermektedir. Yukarıda modellenmiş iki yöneylem probleminin farklı kuruluşlarca gün içerisinde farklı zamanlarda çözülmesi, bu problemin ortaya çıkmasının ana kaynağıdır. Santrallere sağlanması gereken kaynağın gaz taşıma sisteminin aşırı yüklenmesinden dolayı kısıtlanması durumunda, bu bilgi tekrar elektrik sistemine iletilmekte ve şebeke esnekliğine bağlı olarak gazla çalışan santrallerin üretmediği enerji, başka santrallerden sağlanmaya çalışılmaktadır. Şebeke esnekliğinin düşük olduğu veya şebekenin de aşırı yüklenme durumunda kaldığı durumlarda, arz talep dengesi sağlanamamakta ve bu da yerel veya ulusal çapta elektrik kesintilerine gidilmesine neden olmaktadır.

Bu problemin yöneylem araştırması penceresinden çözümü, gaz ve elektrik sisteminin eniyileme çalışmalarının tek çatı altında bir matematik problemi olarak çözülmesidir. Oluşturulan problem elektrik ve gaz sisteminden yalnızca birini ekonomik olarak yönetmekten çok iki sistemin aynı anda en ekonomik şartlarda yönetilmesini ve eklenen senaryolar

sayesinde kaynak elverişsizliği durumunun ilk baştan önlenmesini amaçlamaktadır. Olağan şartlarda en ekonomik yönetim olarak belirlenen yönelem hedefi, ortak yönetim modelinde en istikrarlı yönetim hedefi olarak değiştirilebilmekte ve dengelenemeyen elektrik talebi en aza indirilebilmektedir. Olağan şartlardaki ekonomik yönetim hedefinin afet hallerinde de devam ettirildiği durumlarda oluşabilecek muhtemel elektrik kesintisinin ülke ekonomisine dolaylı ve direkt finansal zararları, sağlanacak tasarrufa oranla katbekat yüksektir.

Afetlerde gaz ve elektrik sistemlerinin ortak yönetim modeli matematiksel olarak birçok çalışmada araştırılmış, test sistemleri ve gerçek sistemler üzerinde yapılan benzetmelerle ortak yönetimin ayrık yönetime kıyasla sağladığı istikrar ve ekonomik değerler örneklendirilmiştir. Bu konu hakkında matematiksel modellemenin başarılı şekilde uygulanmasından çok, bu tür yönetimin bütün enerji aktörleri tarafından tanınan enerji politikalarıyla desteklenmesi gerekmektedir. Ortak yönetimin sağlanabileceği, bağımsız bir kuruluşun kurulması ve mevzuatın önceden hazırlanan çalışmalarla belirlenmesi, daha acil çözüm gerektiren bir husustur. Gaz ve elektrik sistemlerinin birbirinden bağımsız finansal ve fiziki yapısından dolayı, yeni kurulacak kuruluşun sistem aktörleri tarafından tamamen kabul görene kadar sadece tahmin edilen afet durumlarında çalışması, kısa vadede problemin çözümüne yönelik bir fikir olarak düşünülebilir.

5.b Mikroşebekeler

Dağıtım sistemini mikroşebekelerden oluşturmak mümkündür. Mikroşebekeler, kendi üreticileri, enerji depolama olanakları; kontrol, iletişim, yönetim açısından bağımsız davranabilme yetileri ve makroşebekeye entegre olabilme imkanları dolayısıyla, normal çalışmalarını makroşebeke ile uyum içinde yapabilirken, zorunlu hallerde makroşebekeden bağımsız, kendi başlarına çalışıp, kullanıcılara hizmet verebilirler. Bu özelliklerin acil durumlarda ve afetlerde sağlayabileceği avantajlar açıktır. Mikroşebekeler, makroşebekeden güç almadan çalışabilme özelliğine sahip oluşları ile, varsa, makroşebekenin arızası onarılırken, mikroşebekeler ada modunda (bağımsız olarak) çalıştırılabilirler.

Gelecekte, akıllı şebekelerin yaygınlaşmasıyla, mikroşebekeler çokça kullanılacağından, güvenliklerinin sağlanması önemli bir konu haline gelecektir [15]. Mikroşebekeler, makroşebekeye bağlı olarak çalıştırıldıkları zaman, gerekli gücün bir kısmını makroşebekeden alabilirler. Ayrıca, mikroşebekelerin hiyerarşik bir biçimde kontrol edilebilmeleri mümkündür [16].

6. Tahmin edilemeyen afetlerde gaz elektrik sistemleri arası gerçek zamanlı bilgi akışı

Zamanı, yeri ve etkileri tahmin edilemeyen afetler sonrası hayatın normal akışına dönme sürecinde gaz ve elektrik sistemlerinin önemi her geçen gün daha fazla artmaktadır. Başarılı bir afet yönetimi, paydaşların koordinasyon ve işbirliği içerisinde etkili ve verimli kullanımı ile mümkündür. Bu nedenle afet sonrasında oluşabilecek fiziksel eksiklikleri en kısa sürede gidermek için geliştirilmesi gereken üç ana stratejik öncelik şöyledir: (1) Kurumsal altyapıyı güçlendirmek, (2) Afet yönetim kapasitesini güçlendirmek ve (3) Afet risklerini önleme ve azaltmaya odaklanmak.

Sistemler arası gerçek zamanlı bilgi akışının sağlanmasında kurumsal altyapının bilişim ve iletişim teknolojileri ile

geliştirilmesi önemli yer tutmaktadır. Sistem mevzuatının afet hallerinde etkin şekilde kullanılması için mevcut mevzuatın etkili afet yönetimi doğrultusunda güçlendirilmesi ve afet yönetiminde sorumluluk paylaşımının sağlanması, iki ana amaç olarak belirlenmelidir.

Gaz ve elektrik sistemlerinin mevcut kapasitelerinin afet sonrasında oluşabilecek yapısal değişikliklere rağmen etkili ve verimli kullanımı bu iki sistemin olağandışı şartlarda ortak yönetim altında toplanmasının gerekli olduğu düşüncesini güçlendirmektedir. Bu konuda yapılacak araştırma ve geliştirme projeleri ile yenilikçilik altyapısının oluşturulması, mevcut kapasitenin afet yönetiminde etkili kullanımını sağlayacaktır.

Tahmin edilemeyen afetlerin engellenmesi her ne kadar imkansız olsa da, yapılacak araştırmalar ile afet risklerini önleme ve azaltmaya odaklanmak, diğer bir stratejik gelişim noktasıdır. Bu nedenle bu çalışmada önerilen adımlar ile gaz ve elektrik sisteminde afet risklerini önleyici ve azaltıcı yatırımları teşvik eden enerji politikaları geliştirmek ve önleyici tedbirleri tüm sektörlerde yaygınlaştırmak, afet risklerini azaltacaktır.

Bu üç çalışma alanının önem arz eden detayları çalışmanın bu bölümünde bilişim ve iletişim teknolojilerinin kullanımı, piyasa aktörlerinin rolleri ve afet hazırlığı alt başlıklarında incelenmiştir.

5.a Afetlerde bilişim ve iletişim teknolojilerinin kullanımı

Afetlerde bilişim ve iletişim teknolojilerinin kullanımı, can ve mal kaybını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Dünyadaki örnekler baktığımızda, teknolojiyi verimli biçimde kullanan ülkelerde, şiddetli afetlerde bile kayıp çok fazla olmazken, bu tür afetlere karşı hazırlıkları tam olmayan ülkelerde, büyük can ve mal kayıplarına rastlanmaktadır.

Yaşanan büyük bir kriz sırasında ve sonrasında teknolojinin kullanımı önem kazanmaktadır. Özellikle iletişim hayati önem taşımaktadır. Afet durumunda ilk yapılması gereken şeylerden birisi, doğru bilginin akışının sağlanması olmalıdır. Yardım için nereye yönelip, kimi aramak gerektiğini, neler olduğunu, nasıl daha fazla riskten kaçınılabileceğini bilmek, o an hayat kurtarmak için, minimum risk alarak yaralanma ve can kayıplarını en aza indirmek ve afet sonrasında iyileştirmeyi etkin ve verimli bir şekilde uygulayıp sürdürebilmek için gereklidir.

Afetin gerçekleştiği ortam önemli oranda yapısal değişime uğradığından, hasar tespiti son derece önemlidir. Hasar tespiti veri toplama ve veri işleme teknolojilerinin kullanımını gerektirir. Veri toplamak için algılayıcılar kullanmak gerekmektedir. Algılayıcılardan toplanan ham veri sinyal ve görüntü işleme teknikleriyle bilgisayar teknolojisini kullanarak analiz edilmektedir.

Afet oluşmadan önce, olası bir afetin benzetiminin yapıp, ne tür bir manzara ile karşılaşılacağına, kayıpların neler olacağına tahmin edilmesi gerekir. Afet gibi büyük ölçekli felaketlerde insansız araçlar, kablosuz ağlar, bilişim, sosyal ağlar ve diğer bilgi teknolojileri, verinin toplanmasını, iletilmesini ve kullanımını sağlayarak, durumun etkilerinden en hızlı şekilde kurtulma konusunda büyük fark yaratmaktadır.

Afetlerin doğurdukları sonuçlar arasında ölüm, yaralanma sonucu yaşam kalitesinin düşmesi, kritik altyapı unsurlarında oluşan arızalar ve ekonomik kayıplar da bulunmaktadır. Ölüm ve yaralanma, afetin dışarıdan en kolay görünen sonuçlarıdır. Göze daha az görünüp de, daha uzun süreli olabilen etkiler ise altyapıdaki olumsuz değişimler ve toplumu derinden etkileyen hassasiyettir. Köprülerde, yollarda, boru hatlarında, hastanelerde ve okullardaki hasar tespitinde yaşanan gecikmeler, bölgenin hızla boşaltılıp barınma olanaklarının sağlanmasını, zehirli maddelerin sızıntı sonucu bölgeye yayılmasını durdurmak konusunda yapılması gereken çalışmaları geciktirir. Bu tür gecikmeler üretkenlik ve ekonomik düzelmeyi zora sokar. Bunlara ek olarak, bu tür gecikmelerin bireyler üzerinde doğrudan hissedilmeyen ek bir maliyeti vardır ki, bu genelde hesaba katılmasa da, önemli sonuçları olan bir etkidir.

Afetin gerçekleşmesinden sonraki ilk 72 saat kurtarma ekipleri, doktorlar, gıda, su, vs. kaynakların paylaşılması, nereye, neyin, ne kadar gönderileceği konusundaki kararların verildiği kritik saatlerdir. Elde edilmesi gereken bilgi, kurtarma ekiplerini afetten sağ olarak kurtulanların yoğunluklu olarak bulunabileceği bölgelere göndererek, genel kurtarma ve iyileştirme operasyonlarını optimize etmek açısından önem taşımaktadır.

Afet bilişiminin karşı karşıya olduğu güçlükler başlıca iki engelden kaynaklanmaktadır. Bunlar karar vericilerin afet bölgesine erişiminin olmaması ve bağımsız olarak karar veren çoklu organizasyonlar arasında koordinasyonun olmamasıdır. Bu güçlükleri aşabilmek için sistem yaklaşımının uygulanması gerekmektedir. Bilişim teknolojisinin enstrümanları (insansız hava araçları, altyapı hasar projeksiyonları, güvenli kablosuz ağlar, vs.) sosyal bilişim teknolojisinin enstrümanlarıyla (kitle kaynak, katılımcı algılama, sosyal ağlar, vs.) birleştirilerek kullanılmalıdır. Afet yanıtında ve afet sonrası süreçte, afetzedeler kadar kamu da önemli proaktif ve duruma özgü rollere sahiptir ancak bu roller iyi bilinmemektedir ve esnek topluluklar oluşturmak için bunlardan da faydalanmak gerekmektedir.

Bilişimdeki ufak gelişmeler bile afetteki can kayıplarını ciddi oranda azaltıp, hasar tespitini hızlandırıp, ekonomide afet dolayısıyla ortaya çıkan durgunluğu en aza indirgeyeceğinden, var olan teknolojilerin uygun protokollerle birleştirilip bir an önce uygulamaya geçilmesi gerekmektedir [17].

7. Gaz ve elektrik piyasa aktörlerinin rolleri

Afet kategorisine giren bir çok doğa olayında afetin zamanını, yerini ve etkilerini önceden tahmin etmek çoğunlukla imkansızdır. Afet anında ve sonrasında hayatın normal şartlarda devam edeceğini varsaymak da bilimsel çalışmalarda makul olmayan sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Benzetme yöntemiyle şebeke operasyonları ve sistem piyasaları üzerinde gerçekleştirilen bilimsel çalışmalar çoğunlukla sistemin bir parçası olan insan aktörlerinin afet sonrasında farklı karar verme olasılıklarını hesaba katmamaktadır. Genel olarak piyasa aktörlerinin hayatın normal akışındaki aktiviteleri devam ettirdiği varsayılmaktadır. Bu nedenle sistemin bir parçası olan kurum ve kuruluşların afet sırasında ve sonrasında sistemin çalışmasına ve istikrarına etki edebilecek aktivitelerde bulunmaları, benzetme yöntemiyle gerçekleştirilen çalışmaların doğruluk oranlarını azaltarak bu

çalışmalar sayesinde oluşturulacak enerji politikalarının gerçek hayata etkilerini düşürecektir.

Normal şartlarda piyasa aktörlerinin piyasanın güvenliği ve işleyişine etki etmedikleri, piyasa yapısına bağlı olarak ürünlerin fiyat belirlenmesinde kar amacı gütmeyen marjinal giderlerini karşılamak üzere piyasa aktivitelerinde buldukları kabul edilmektedir. Bu kabullenişin en önemli nedenlerinden biri, elektrik piyasasının tekil fiyat politikası ile yönetilmesidir. Tekil fiyat politikasıyla, saatlik ve anlık olarak marjinal santral tarafından belirlenen elektrik fiyatı, diğer tüm santrallere tekliflerinin değerine bakılmaksızın ödenmektedir. Bu varsayımdan yola çıkarak, afet sonrasında sistemin etkilendiği bölgelerde ve bu bölgelerdeki yüklenmeleri hafifletebilecek diğer bölgelerdeki piyasa aktörleri talebin artmasına bağlı olarak veya piyasa gücünü ele geçirmelerinden yararlanarak, fiyat manipülasyonlarına girebilmektedir. Bilimsel çalışmalar, afet sonrasında elektrik şebekesinin yaşayacağı iletim hattı kesintilerinde, normal şartlarda elinde olmayan piyasa gücünü iletim geometrisinin değişmesinden dolayı eline alan santrallerin piyasanın istikrarını bozabileceğini, bu gibi durumlarda hali hazırda olağandışı şartlarda yönetilen şebekenin piyasa gücünü elinde bulduran aktörün hedefi doğrultusunda yönetilmek zorunda kalacağını göstermiştir. Piyasa gücünün varlığı ve belirleme ölçütleri bu çalışmanın bir parçası olmamakla birlikte, afet sonrasında değişebilecek şebeke geometrisine göre bir veya daha fazla santralin piyasa gücünü elinde bulundursalar dahi sistem istikrarına zarar verecek aktivitelerde bulunmalarının mevzuatla engellenmesi gerektiği görülmektedir.

Gaz ve elektrik şebekeleri hali hazırda birbirinden farklı piyasalarda dengelenir ve sistem operasyonları farklı merkezlerde yönetilir, ancak afet sırasında ve sonrasında piyasa aktörlerinin ortak yönetim merkezlerine anlık bilgi aktarımı diğer bir önemli husus haline gelmektedir. Normal şartlarda piyasa aktörlerinin kendi aralarında iletişime geçmeleri ve bu bilgi akışı sayesinde piyasa aktivitelerini gerçekleştirmeleri yasak olduğundan, afet sonrasında sistemin istikrarı ve güvenliği için bilgi akışının bir merkezde, piyasa dinamiklerini bozmayacak şekilde bağımsız bir kuruluş tarafından düzenlenmesi piyasanın güvenilirliğini ve olağandışı şartlarda dahi piyasanın genel kabul görmüş normlar tarafından işletildiğini gösterecek önemli bir veridir. Bu çalışmanın bir sonucu olarak vurgulanan afet hallerinde ortak yönetimi sağlayacak bağımsız bir kuruluşun oluşturulması ve aktif olarak çalışması, tahmin edilemeyen afetlerde dahi sistem güvenliğini en üst seviyeye çıkaracak ve sistemin var olan şartlar dahilinde en istikrarlı şekilde yönetilmesini sağlayacaktır.

8. Afet hazırlığı

Amerikan Enerji Bakanlığı verilerine göre 2002-2013 yılları arasında, Amerika Birleşik Devletleri'nde yaşanan elektrik kesintilerinin %58'i fırtına, kasırga, kar fırtınası gibi aşırı hava koşulları dolayısıyla oluşmaktadır [18]. Yapılan çalışmalar, afetlerin giderek artacağını göstermektedir. Ancak afetlerin ne zaman gerçekleşeceğini söyleyebilmek günümüz koşullarında henüz imkan dahilinde değildir. Bu durumda afet hazırlığı daha da önem kazanmaktadır.

Afette enerjinin kesilmesi sık görülen bir durumdur. Enerji aynı zamanda iletişimin de ana bileşeni olduğundan, enerji kesintisinin en kısa sürede giderilmesi önemlidir. İletişim alt

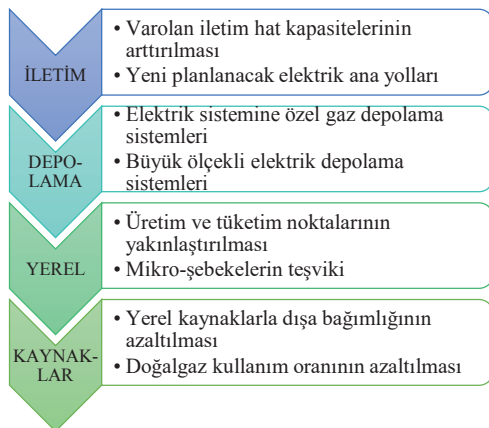
yapısı afet dolayısıyla hasar görebilir. Onarımın uzun sürebileceği düşünülerek, alternatifin afet gerçekleşmeden, planlanıp hazırlanması gerekmektedir. Afet durumunda hazır olmak sorumluluğun ve güvenilirliğin gereğidir. Örneğin, deprem bölgelerinde planların ve tasarımların sismik koşullar göz önünde bulundurulularak yapılması gerekir. Acil durum jeneratörleri ve bunların yeterli süre çalışmalarını sağlayacak yakıt hazır durumda bekletilmelidir. Afette kesintisiz iletişimin sağlanabilmesi için gerekli hesaplamalar ve benzetim çalışmaları önceden yapılmalıdır.

Türkiye’de büyük çapta afetlere sıklıkla rastlanabilmektedir. Bunların bazıları, bir miktar hata payıyla hesaplanıp, tahmin edilebilir afetlerdir. Enerji şebekelerinin afete hazırlanması büyük önem arz etmektedir. Bileşenlerin yeni teknoloji ürünlerle değiştirilmesi, yapıların güçlendirilmesi ya da yeniden inşa edilmesi, iletimde oluşabilecek hasarlara karşı önlem alınması, merkezi kontrolden ziyade, dağıtık kontrol ve karar mekanizmalarının benimsenmesi yararlı olacaktır.

9. Uzun vadeli planlama

Gaz ve elektrik sistemlerinin her geçen gün daha da artan ortaklıkları ve uzun vadede doğal gaz santrallerinin kaynak çeşitliliğinde ulaşabilecekleri yüksek orana bakıldığında, iki sistemin, kısmi olarak bile olsa ortak yönetim ihtiyacına doğru yönelim gösterdiği görülmektedir. Elektriğin insan hayatı üzerinde günden güne artan etkisi, elektrik kesintileri nedeniyle sosyal huzursuzluğun artmasına, kurumlara ve servis sağlayıcılarına olan güvenin azalmasına neden olmaktadır. Bu sebeple daha derinlemesine araştırma gerektiren uzun vadeli şebeke planlaması için bu çalışma içerisinde ayrı bir bölüm açılmıştır. Afetlerin, doğası gereği ne zaman olacağı tahmin edilememesine rağmen, elektrik ve gaz sisteminin afet şartlarında yaşayabileceği zorluklar akademik çalışmalar tarafından tespit edilmiş ve örneklendirilmiştir.

Bunlardan en önemlisi afet sırasında ve sonrasında enerjinin üretildiği yerden kullanıldığı yere transferini sağlayan iletim hatlarındaki kapasite düşüştür. Afetlerde sistemin fiziki yapısında oluşan bozulmalar ve buna bağlı olarak şebekeyi korumak için çoğunlukla otomatik olarak gerçekleşen kapama ve açma aktiviteleri, enerji iletim kapasitesini azaltmaktadır.

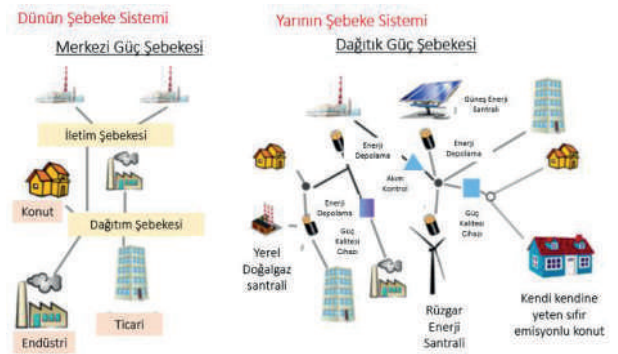


Şekil 4. Uzun vadeli şebeke planlama çözümleri

Bu nedenle uzun vadede afet şartlarına hazırlıklı olmak amacıyla alınabilecek önlemlerden bir tanesi, var olan iletim hat kapasitelerinin artırılması ya da yeni iletim hatları ile bölgesel

transfer kapasitelerinin yükseltilmesidir. Bu çözüme örnek olarak, ABD’de son zamanlarda resmi araştırma kuruluşları tarafından yaygın olarak çalışılan, ulaşım sistemindeki otobanlara benzer, elektrik sistemi için özel planlanmış uzun mesafeli iletim hatları gösterilebilir. Bu elektro-banlar sayesinde coğrafi olarak uzak olan bölgeler birbirine bağlanmakta ve sistemlerin afet hallerinde yaşadıkları yüklenmeler, diğer bölgeler tarafından önlenmekte veya etkileri en aza indirilebilmektedir. Üretim ve tüketim noktalarının birbirlerine olan coğrafi uzaklıklarından kaynaklanan iletim problemleri, elektro-banlar sayesinde azaltılabilmektedir.

Üretim ve tüketim noktalarının birbirlerine yaklaştırılması, elektrik sistemindeki istikrar ve güvenliği arttırmakta ve kısmen de olsa elektrik kayıplarını azaltmaktadır. Bu planlama için düşünülen bir diğer çözüm önerisi, gelecekte elektrik şebekesine eklenecek yeni kapasitelerin tüketim bölgelerine yakın yerlere kaydırılmasıdır. Yapılacak çalışmalar sonucu, belirlenen coğrafi bölgelere yatırım teşviki vasıtasıyla iletim kapasitesini artırılabilir ve yeni kapasite merkezlerinin plansız bir şekilde şebekeye bütünleşmesi önlenir. Bu konuya en önemli örnek çalışmanın mikro şebeke kısmında da detaylandırıldığı gibi, tüketimin ana enerji şebekesi dışında dengelenebildiği mikro şebekelerdir. Günümüzde üretim santralleri buldukları coğrafya ve üretim kapasiteleri düşünüldüğünde, merkezi olarak adlandırılan yapıda, genellikle elektrik ihtiyacına coğrafi olarak uzak bölgelerde bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde günden güne artan kullanımıyla beraber üretim noktaları elektrik ihtiyacının çok olduğu bölgelere coğrafi olarak yaklaşmakta ve üretim sistemlerinin yapısı gün geçtikçe merkezi yapıdan, dağıtık olarak adlandırılan çok sayıda ama küçük kapasiteli üretim merkezlerine doğru kaymaktadır. Merkezi şebeke ve dağıtık şebekenin görsel olarak bir örneği Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Merkezi ve dağıtık şebeke yapılarının görsel örnekleri

Gaz-elektrik ortak yönetimi ve istikrarın artırılması konusunda uzun vadede planlanması gereken bir diğer husus da modern enerji depolama birimlerinin şebekelere dahil edilmesidir. Gaz depolama sistemleri hali hazırda iletim altyapısında mevcut olmakla beraber, afetlere yönelik olarak hazırda bulundurulması gereken yedek depolama kaynakları uzun dönem planlama çalışmalarında kendisine yer bulmaktadır. Gaz piyasasından bağımsız olarak elektrik santrallerinin kaynak ihtiyacına yönelik gaz depolama sistemlerinin konum seçimleri yine yönetime araştırmaları sayesinde tespit edilmeli ve belirlenen konumlara yönelik teşvik politikaları ile uzun vadede elektrik ve gaz sisteminin yaşayacağı dengesizliklerde kullanılmak üzere depolama sistemleri inşa edilmelidir.

Doğal gaz kaynağının, elektrik enerji üretimindeki payı her geçen gün artarken bu teknolojilerin kaynak elverişliliği şebeke planlamaları sırasında birlikte düşünülüp, çalışılması gereken diğer bir husustur. Her ne kadar doğal gaz santrallerinin çevreye etkisi az olsa da, kaynak çeşitliliği ve kaynak elverişliliğine bağlı olarak ülkeler kendi enerji güvenliklerini sağlamak zorundadırlar. Uzun vadede dışa bağımlı kaynak elverişliliği, ülke ekonomisi ve enerji güvenliği açısından uygun değildir. Yerel kaynaklarından doğal gaz talebini karşılayamayan Türkiye gibi ülkelerde, kaynak çeşitliliğini artırıcı politikalar ve yerel kaynakları kullanan yenilenebilir enerji santralleri politikaları ile enerji sektörünün ithal doğa gaza bağımlılığını muhakkak giderilmelidir.

Referanslar

- [1] J. Munoz, N. Jimenez-Redondo, J. Perez-Ruiz ve J. Barquin, «Natural gas network modeling for power systems reliability studies,» %1 içinde *IEEE PowerTech Conf.*, Bologna, 2003.
- [2] T. Li, M. Eremia ve M. Shahidehpour, «Interdependency of Natural Gas Network and Power System Security,» *IEEE Transactions on Power Systems*, cilt 23, no. 4, 2008.
- [3] C. Unsuhay-Vila, J. W. Marangon-Lima, A. C. Zamboni de Souza, I. J. Perez-Arriaga ve P. P. Balestrassi, «A model to long term, multiarea, multistage, and integrated expansion planning of electricity and natural gas systems,» *IEEE Transactions on Power Systems*, cilt 25, no. 2, 2010.
- [4] X. Zhang, M. Shahidehpour, A. Alabdulwahab ve A. Abusorrah, «Reliability Based Optimal Planning of Electricity and Natural Gas Interconnection for Multiple Energy Hubs,» *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2015.
- [5] C. M. Correa-Posada ve P. Sanchez-Martin, «Integrated Power and Natural Gas Model for Energy Adequacy,» *IEEE Transactions on Power Systems*, cilt 30, no. 6, 2015.
- [6] L. Wu, M. Shahidehpour ve T. Li, «Cost of Reliability Analysis Based On Stochastic Unit Commitment,» *IEEE Transactions on Power Systems*, cilt 23, no. 3, 2008.
- [7] X. Zhang, M. Shahidehpour, A. Alabdulwahab ve A. Abusorrah, «Reliability based optimal planning of electricity and natural gas interconnections for multiple energy hubs,» *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2015.
- [8] C. Wang, W. Wei, J. Wang, F. Liu, C. Correa-Posada ve S. Mei, «Robust defence strategy for gas-electric systems against malicious attacks,» *IEEE Transactions on Power Systems*, cilt 32, no. 4, 2016.
- [9] E. P. İ. A. Sirketi, «2016 Yılı Elektrik Piyasası Özet Bilgiler Raporu,» EXIST, İstanbul, 2016.
- [10] A. Schiff, «Ready or Not... Lessons from the 1994 Northridge Earthquake in California,» *IEEE Power & Energy Magazine*, cilt March/April, pp. 46-51, 2011.
- [11] N. Abi-Samra ve W. Henry, «Actions before and after a flood substation protection and recovery from weather-related water damage,» *IEEE Power & Energy Magazine*, cilt March/April, pp. 52-58, 2011.
- [12] P. Corredor ve M. Ruiz, «Against all odds mitigating the impact of terrorist activity on Colombia's power system,» *IEEE Power & Energy Magazine*, cilt March/April, pp. 59-66, 2011.
- [13] H. Rudnick, S. Mocarquer, E. Andrade, E. Vuchetich ve P. Miguel, «Disaster Management Restoring Electricity Supply after the 2010 Chilean Earthquake,» *IEEE Power & Energy Magazine*, cilt March/April, pp. 37-45, 2011.
- [14] Q. Xie ve R. Zhu, «Damage to electric power grid infrastructure caused by natural disasters in China,» *IEEE Power & Energy Magazine*, cilt March/April, pp. 28-36, 2011.
- [15] X. Fang, S. Misra, G. Xue ve D. Yang, «Smart grid-the new and improved power grid-a survey,» *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, cilt 14, no. 4, pp. 944-980, 2012.
- [16] L. Che, M. Khodayar ve M. Shahidehpour, «Only Connect,» *IEEE Power & Energy Magazine*, cilt Jan/Feb, pp. 70-81, 2014.
- [17] R. Murphy, «A National Initiative in Emergency Informatics,» 2010.
- [18] D. Manz, R. Walling, N. Miller, B. LaRose, R. D'Aquila ve B. Daryanian, «The Grid of the Future,» *IEEE Power & Energy Magazine*, cilt May/June, pp. 26-36, 2014.

Biyokütle Santrali'nin Jeotermal Santral ile Karşılaştırılması

Alara Ulaş¹, Gürkan Soykan²

Bahçeşehir Üniversitesi

Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü

¹alaraulac@gmail.com, ²gurkan.soykan@eng.bau.edu.tr

Özet

Enerji insanoğlu için bir ihtiyaçtır ve büyüyen popülasyon enerji tüketiminde artışa sebep olmuştur. Bu artışı karşılamak için yeni elektrik santralleri kurulmalı ve bu santrallerden kaynaklanan çevresel kirlenmeyi azaltmak için sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynakları tercih edilmelidir. Biyokütle ve jeotermal kaynakları yakın zamanda alternatif enerji kaynağı olarak elektrik enerjisi üretmek için kullanılmaya başlandı. Bu çalışmada biyokütle ve jeotermal bazlı elektrik güç santralleri, hangisinin daha verimli, çevre dostu olduğu ve sermaye maliyetinin az olduğunun anlaşılması için karşılaştırılmıştır. Biyokütle enerji santralleri jeotermal enerji santrallerine göre daha kolay kurulmaktadır. Jeotermal enerji santrallerinin kurulumu daha uzun sürmektedir, zahmetlidir ve daha çok risk taşır fakat buna rağmen jeotermal enerji santralleri daha çevre dostu bir teknolojidir.

Abstract

Energy is a necessity for human kind and growing population leads to increasing energy consumption in all over the world. To meet this increase, new power plants should be built and sustainable and renewable resources can be preferred in them to decrease the environmental pollution. Biomass and geothermal resources have been used recently as alternative energy sources to generate the electrical energy. In this study biomass and geothermal based power plants are contrasted to find out that which one is more efficient, environmentally friendly and requires low starting cost. Biomass power plants can be erected easily than geothermal power plants. The process of building a geothermal power plant is much longer, inconvenient and carries more risks even though geothermal is much more environmentally friendly technology.

1.Giriş

Enerji, insanoğlu için bir ihtiyaçtır ve artan nüfus bu ihtiyacın karşılanması için daha çok enerji tüketimine sebep olmuştur. Genel olarak enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemeyen olarak ikiye ayrılır.

Yenilenemeyen enerji kaynakları hem çevresel kirliliğe sebep olmakta hem de sürdürülemez oldukları için artan enerji ihtiyacının karşılanmasında yetersiz kalmaktadırlar. Bu artışı karşılamak adına yeni enerji üretim santralleri kurulmalı ve bu santrallerden kaynaklanan çevresel kirlenmeyi azaltmak için sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynakları tercih edilmelidir. Bir çok yenilenebilir enerji kaynağı bulunmaktadır. Bunların başlıcaları; rüzgar, güneş, su, jeotermal, biyokütlelerdir. Tablo 1 de 2016 yılı sonu itibari ile dünyada ki yenilenebilir kaynaklı güç üretim kapasitesi verilmiştir [1]. En büyük kapasite hidrolik kaynaklı olup en küçüğü ise jeotermal kaynaklı sistemlerdir. Türkiye de yenilenebilir kaynakların duruma bakıldığı zaman lisanslı ve lisanssız kurulu güç olarak en büyüğü hidrolik kaynaklı olup en küçüğü ise biyokütle kaynaklı sistemlerdir, Tablo 2 ve Tablo 3 de bu durum görülmektedir [2].

Tablo:1 2016 Yılı Sonu İtibari ile Dünya da Bulunan Yenilenebilir Kaynaklı Güç Üretim Kapasitesi [1]

Kaynak Türü	Güç Üretim Kapasitesi (GW)
Biyokütle	112
Jeotermal	13,5
Hidrolik	1096
Güneş (Fotovoltaik)	303
Güneş (Yoğunlaştırılmış)	4,8
Rüzgar	487

Tablo:2 2017 Yılı Haziran Ayı Sonu İtibari ile Türkiye de Bulunan Lisanssız Yenilenebilir Kaynaklı Kurulu Güçler [2]

Kaynak Türü	Kurulu Güç(MW)
Güneş(Fotovoltaik)	1490,56
Biyokütle	52,46
Rüzgâr	20,15
Hidrolik	7,42
Güneş(Yoğunlaştırılmış)	1,22

Tablo1 ve Tablo 3'den görüleceği gibi biyokütle ve jeotermal enerji kaynakları yakın zamanda popüler olmaya başlamış ancak çok fazla bilinmeyen enerji kaynaklarıdır. Bu çalışmada önce jeotermal ve biyokütle

enerji santrallerinin genel özellikleri verilecek, sonrasında dört farklı grupta iki santral tipi karşılaştırılacaktır.

Tablo:3 2017 Yılı Haziran Ayı Sonu İtibari ile Türkiye de Bulunan Lisanslı Yenilenebilir Kaynaklı Kurulu Güçler [2]

Kaynak Türü	Kurulu Güç(MW)
Barajlı Hidrolik	19770,95
Akarsu	7275,34
Rüzgar	6155,03
Jeotermal	860,78
Biyokütle	371,35
Güneş	12,90

2.Jeotermal Enerji Santrali

Jeotermal kaynakları hemen hemen hayatımızın her alanında kullanmaya başlıyoruz. Jeotermal kaynaktan enerji üretimini sağlamak amaçlı üç çeşit jeotermal enerji santrali bulunmaktadır; ilki organik rankin döngüsü ile çalışan sistem, ikincisi ise buhar türbini kullanılan sistem, üçüncüsü ise iki sistemin birlikte kullanıldığı kombine çevrim sistemidir [3]. Daha düşük sıcaklıklar için organik rankin döngüsü kullanılırken daha yüksek sıcaklıkta ki kaynaklardan enerji elde etmek için buhar türbinleri kullanılır, buhar türbin sistemine rankin çevrimi eklenerek yapılan kombine sistem santralin verimliliğini artırmak amacı ile yapılır. Jeotermal kaynaklar sadece elektrik enerjisi elde etmek için değil aynı zamanda ısınmak içinde kullanılır. Kaynağın yoğun olduğu bölgelerin bazılarında jeotermal kaynak ile ısınma sağlanmaktadır. Böylelikle doğadan gelen kaynakla ısınmak daha efektif ve ucuz olmaktadır. Kısaca jeotermal enerji santralleri, yerin altından gelen jeotermal akışkanda mevcut olan enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Güneş ve rüzgar enerjisine kıyasla jeotermal kaynağın en büyük avantajlarından biri günün her saati, haftanın her günü ulaşılabilir olmasıdır. Jeotermal enerji santralleri temiz ve yenilenebilir enerji üretmektedir, bu süreçte çok az hava kirliliği oluşturmaktadır.

Jeotermal kaynaklı enerji santrallerinin bir kaç dezavantajı bulunmaktadır. Bunların biri hidrojen sülfatın (H_2S) doğaya salınımıdır. Bu gaz zehirli olup aynı zamanda çürük yumurta kokusuna benzemektedir [4]. Jeotermalin bir diğer dezavantajı ise uygun alan bulma zorluğudur. Jeotermal kaynağın bulunduğu alanlar belirli ve sınırlıdır bu alanların dışına santral inşa edilemez. Uygun alan bulunduğu takdirde inşa edilen jeotermal enerji santralinin en büyük problemi kaynağın çıkartıldığı kuyulardır. Sondaj çok dikkatli bir şekilde ve profesyonelce yapılmaz ise kuyularda geri dönüşü olmayan hasarlar hatta kuyunun tamamında çökme meydana gelebilmektedir. Sismik taramalar sonrasında yapılan sondaj çalışması doğru bir biçimde yapılsa bile her zaman kuyudan istenen performansı alamama ihtimali bulunmaktadır. Açılan kuyunun jeotermal akışkan sağlama garantisi hiçbir zaman yoktur ayrıca jeotermal kaynak ancak ve ancak rezervuar düzgün idare edilir ise

sürdürülebilirliğini korumaktadır. Kullanılan akışkanın sıcaklığı çok fazla düşmeden enjeksiyon pompaları ile kaynağa geri basılmalıdır. Geri basılmaz ise kaynağın bulunduğu rezervuarda çöküntüler yaşanabilir ve kaynağın sürdürülebilirliği kalmamaktadır. Jeotermal enerji santrallerinin üretim kapasitesi küçük bile olsa diğer santrallere kıyasla daha büyük alan kaplamaktadır.

3.Biyokütle Enerji Santrali

Biyokütle enerjisi bitki kaynaklı maddelerden gelen bir enerji olup farklı amaçlar için kullanılabilir. Biyokütle kaynağı dünyada bol bulunan bir kaynaktır, jeotermal gibi yedi gün yirmi dört saat kaynağa ulaşılabilir. Biyokütle kaynağı olarak gıda bitkileri, odun kalıntıları, çimenlik ve odunsu bitkiler, tarım ve ormancılıktaki kalıntılar ve atıkların organik bileşenleri kullanılarak elektrik enerjisi elde edilebilir. Biyokütle ile elektrik üretmek için kullanılan dört farklı sistem teknolojisi vardır [5]. Bu sistemlerden en yaygın olarak kullanılanı biyokütlenin buhar üretmek için doğrudan yakıldığı direkt ateşlemeli sistemdir.

Biyokütle enerji santralleri jeotermal enerji santralleri gibi sürdürülebilir ve yenilenebilir. Düzgün bir şekilde organize edildiği takdirde düşük karbon salınımı sağlar ve aynı zamanda çöpleri azaltmakta ve dünyayı daha yeşil bir yer yapmakta yardımcı olur. Biyokütle enerji santralleri iyi idare edilemezse doğaya zarar verebilecek unsurlara sebep olabilmektedir ayrıca bir diğer dezavantajı ise su ayak izi bırakmasıdır. Enerji santralinin genelinde soğutma ihtiyacını karşılamak için yaklaşık olarak bir kömür enerji santralinde kullanılan kadar su harcanmalıdır buda yaklaşık yıllık 870 000 galon (3 360 000 litre) etmektedir [6]. Sadece soğutma için değil aynı zamanda biyokütle olarak kullanılacak, özel yetiştirilmiş endüstriyel amaçlı ağaçların yetiştirilmesi için de büyük miktarlarda su harcanacaktır. Enerji elde etmek için yakılan biyokütleden çıkan yanma sonrası karbondioksit (CO_2) bir baca yardımı ile doğaya salınmaktadır, bu karbon dioksitin bitkiler tarafından fotosentez ile oksijene (O_2) dönüştürüldüğü varsayılmakta ancak kesin bir sayısal veri bulunmamaktadır. Biyokütle depolanan alanların güvenliği çok önemli bir unsurdur, eğer düzgün havalandırma yapılmaz ise ve depolanma sağlanmaz ise çürümeden kaynaklı biriken metan gazı (CH_4) düzenli kontrolü sağlanmaz ise sıkışarak patlama riski oluşturarak can güvenliğini tehdit etmesi sebebiyle geri dönülmez hasar oluşturma potansiyeline sahiptir. Düzgün havalandırma yapılsa bile çıkacak olan metan gazı (CH_4) doğaya salınarak çevre kirliliği yaratmaktadır.

4.Karşılaştırma

Jeotermal ve biyokütle tabanlı santrallerin karşılaştırılması dört farklı kategoride yapılmıştır. Bunlar; maliyet, çevreye etkisi, kurulum ve elektrik şebekesi ile uyumudur. Tablo 4 ve Tablo 5 de santrallerin yatırım ve birim enerji üretim maliyetlerinin 2012, 2014 ve 2016

yıllarına ait değerleri verilmiştir. Birim enerji üretim maliyetleri hesaplanırken santrallerin sabit ve değişken işletme maliyetleri de göz önüne alınmıştır [7,8,9,10]. 2012 yılı ile 2016 yılları karşılaştırıldığı zaman hem ilk yatırım maliyeti olarak hem de birim enerji üretim maliyeti olarak biyokütle santral tipi, jeotermal santral tipine göre daha uygun maliyetli gözükmetedir.

Tablo 4. Biyokütle Enerji Santrali Maliyetleri [7, 8, 9]

Yıl	İlk Yatırım Maliyeti (\$/kW)	Birim Enerji Üretim Maliyeti (cent/kWh)
2012	3000-4000	87-116
2014	3000-4000	87-116
2016	2500-4000	77-110

Tablo 5. Jeotermal Enerji Santrali Maliyetleri [7, 8, 9]

Yıl	İlk Yatırım Maliyeti (\$/kW)	Birim Enerji Üretim Maliyeti (cent/kWh)
2012	4600-7250	89-142
2014	4600-7250	89-142
2016	4250-6400	79-117

Jeotermal enerji santralleri, biyokütle enerji santrallerine oranla az karbon dioksit (CO₂) salınımından dolayı daha çevre dostudur. Bunun yanında biyokütle enerji santralleri aynı zamanda çevresel anlamda belediye ve endüstriyel atıkların azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

Jeotermal kaynağa bağlı santral kurmak biyokütleyle kıyasla daha riskli olup zaman bakımından da daha uzun bir kurulum süreci vardır. Biyokütle kaynağının yakınında santral kurulabileceği gibi kaynaktan uzak noktaya da santral kurulabilir. Bu durumda taşıma maliyeti oluşmakta ve daha fazla zamana mal olmaktadır. Biyokütle enerji santralinin kurulacağı yer seçilebilir fakat kaynak taşıma maliyeti en az olacak şekilde bir lokasyon seçimi yapılmalıdır. Jeotermal doğal kaynağa bağlı olduğu için kaynak nerede ise santral oraya kurulmalıdır. Gelecek üretimlerine bakıldığında ise jeotermal kaynak sürekli kullanılması nedeni ile her gün azalan bir akışkan ve bu akışkanın azalan sıcaklığı söz konusudur. Bir jeotermal santralin eğer rezervuarı doğru yönetilirse santralin ömrü yaklaşık olarak yirmi yıl olabilir. Biyokütle enerji santralinde ise kaynak var olduğu sürece santralin ekonomik ömrünün yirmi ile yirmibeş yıl arasında olduğu kabul edilir [5]. Türkiye de 2016 yıl sonu itibarı ile hali hazırda jeotermal enerji santrali kurulu gücü 860,78 MW, biyokütle enerji santralinin kurulu gücü 396,81 MW değerine ulaşmıştır. Türkiye'nin 2023 yılında iki santral tipi içinde 1GW'lık kurulu güce ulaşma hedefi bulunmaktadır [11].

Bunun yanında kaynağın doğaya bağlı olmasından dolayı jeotermal, kaynağa bağlı olarak anlık elektrik üretiminde dalgalanmalar gösterir. Bunun aksine biyokütle kaynaklı santraller sabit kaynak kullanılabilmesi sebebiyle daha kararlı bir elektrik üretimi sağlamaktadır.

5.Sonuç

Bu çalışmada elektrik üretiminde yaygın olarak kullanılan hidrolik, rüzgar ve güneş gibi yenilebilir enerji kaynakları yanında son yıllarda hızlı bir şekilde yaygınlaşmaya başlayan jeotermal ve biyokütle kaynaklı üretim santralleri ele alınmış ve farklı yönlerden incelenmiştir. Yukarıda yapılan karşılaştırmanın ışığında özetle; küçük ölçekli ve bölgesel kurulan biyokütle enerji santralleri çöplerin azaltılmasına yardımcı olmakla beraber bölgesel enerji ihtiyacını da karşılanmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca biyokütle kaynağına yakın yerlerde kullanılarak kaynak taşıma maliyeti daha az ineneğinden dolayı birim enerji üretim maliyeti azalacaktır. Bir diğer yandan jeotermal enerji santralleri daha büyük enerji ihtiyaçlarının giderilmesinde rol oynamaktadır. Emisyon miktarının az olması nedeniyle çevreye zarar minimum seviyededir. Jeotermal kaynak sürekli bulunmasından dolayı kesintisiz bir elektrik enerjisi üretimi gerçekleşmektedir. Biyokütle gibi jeotermal kaynak da doğru idare edildiği takdirde uzun ömürlü ve sürdürülebilirdir. Türkiye'nin yenilebilir ve sürdürülebilir enerjiye yaptığı yatırımları sürdürmesi, 2023 teki jeotermal ve biyokütle enerji santrallerinin için hedeflenen değere ulaşılmasını sağlayacaktır.

6.Kaynaklar

- [1] Renewables 2017 Global Status Report, www.ren21.net/gsr (Son erişim: 29.09.2017)
- [2] Elektrik Piyasası Sektör Raporu Haziran/2017, www.epdk.gov.tr (Son erişim: 29.09.2017)
- [3] Eliasson, E. T., Thorhallsson, S., ve Steingrímsson, B. "Geothermal Power Plants" Short Course on Geothermal Drilling, Resource Development and Power Plants, Ocak 2011.
- [4] Holm A., Jennejohn D. ve Blodgett L. "Geothermal Energy and Greenhouse Gas Emissions." Geothermal Energy Association, Kasım 2012.
- [5] Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series Volume 1: Power Sector Issue 1/5 Biomass for power generation, International Renewable Energy Agency, Haziran 2012.
- [6] <https://populationeducation.org/content/what-are-pros-and-cons-biomass-and-geothermal-energy> (Son erişim: 29.09.2017)
- [7] Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis - Version 10.0, Aralık 2016, <https://www.lazard.com/media/438038/levelized-cost-of-energy-v100.pdf> (Son erişim: 29.09.2017)
- [8] Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis - Version 8.0, Eylül 2014, <https://www.lazard.com/media/>

1777/levelized_cost_of_energy_-_version_80.pdf (Son erişim: 29.09.2017)

[9] Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis - Version 6.0, Haziran 2012 <http://leg.mt.gov/content/Committees/Interim/2013-2014/Energy-and-Telecommunications/Meetings/September-2013/Day2Exhibit10.pdf> (Son erişim: 29.09.2017)

[10] Kaya, K., Koç, E. "Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi," Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 660, s. 61-68. 2015.

[11] Renewables 2017 Global Status Report, www.ren21.net/gsr (Son erişim: 29.09.2017)

IEC 61850: Enerji Otomasyonuna Yeni Protokol

IEC 61850: New Protocol for Energy Automation

Elşan Kahraman¹

¹Ekosinerji Elektrik San. ve Tic. A.Ş.

elsan.kahraman@ekosinerji.com

Özet

Enerji otomasyon sistemlerinin uluslararası standardı olarak, IEC 61850 trafo merkezi cihazları ile diğer kontrol sistemleri arasındaki haberleşmeyi tanımlar. IEC 61850 trafo merkezi otomasyonunu ve bunun tüm mühendislik yönünü destekler. Önceki protokollerin aksine, IEC 61850 getirdiği esneklik ve gelecekteki değişikliklerden etkilenmeme özelliği ile modern bir protokol olarak öne çıkmaktadır.

Trafo merkezi otomasyonu için birçok protokol olmasına rağmen, tüm üreticilerin IED'lerini destekleyen ve koruma, izleme, otomasyon, ölçüm ve kumanda işlemleri için standart bir metod getiren tek protokol IEC 61850 dir.

Bu standart kullanıcılara verinin cihazlar ve kontrol merkezi arasında nasıl iletileceğinin analizini yapması imkanını vermektedir. IEC 61850 sunucu/istemci yapısıyla karar verme mekanizması prosese yaklaşmakta ve klasik yapının engelleri ortadan kalkmaktadır. İstemci veri akışını kontrol ederek sunucu haberleşmesini daha esnek hale getirmektedir. Kritik veri akışını da hızlandıran protokol, güvenlik açısından önemli otomasyon fonksiyonlarının yerine getirilmesine imkan sağlamaktadır.

Abstract

As the international standard for power substation automation systems, IEC 61850 defines the communication between devices in the substation and related control systems. It supports substation automation functions and its engineering requirements. Unlike earlier protocols, IEC 61850 with its flexible and future-proof features becomes a modern protocol.

Although there are many protocols for substation automation, IEC 61850 is the only one that supports IEDs from all vendors and brings a standard method for protection, monitoring, automation, metering and control.

This standard provides users with analysis of how data will be transferred between IEDs and control center. With IEC 61850 client/server architecture, intelligence is closer to the process and bottlenecks of classic architecture are eliminated. The client makes server communication more flexible by controlling data flow. The protocol which also speeds critical data flow, enables safety critical functions to be implemented.

1. Giriş

Dijital dünyada bir tek IED'de binlerce analog ve dijital veri noktası mevcuttur. Artık veri iletiminde bant genişliği sorun olmaktan çıkmıştır. Trafo merkezi SCADA arası veri akışı 64kbps'den çok daha yüksek hızlara çıkmıştır. Bu geçişle birlikte konfigürasyon ve dokümantasyon faktörleri önem kazanmıştır. Bir haberleşme sisteminin ana bileşeni kendisini veri ve servisler açısından tanımlama yeteneğidir. Diğer önemli parametreler şunlardır:

- Yüksek hızlı IED IED haberleşmesi
- Ağ yapısına dönüşebilirlik
- Yüksek bulunurluk
- Garanti edilmiş teslim süresi
- Standartlara dayanan
- Çoklu üretici arası çalışabilirlik
- Voltaj ve gerilim örnekleme desteği
- Otomatik konfigürasyon
- Güvenlik

Bu ihtiyaçlara göre yeni nesil haberleşme mimarisi için çalışmalar yapılmış ve IEC 61850 standardı ortaya çıkmıştır.

2. IEC 61850 Genel Bakış

Öncelikle IEC 61850'nin kullanım alanı trafo merkezi haberleşmesidir. Doküman trafo merkezi haberleşmesini tablo 1'deki gibi 10 başlık altında tanımlar.

Bölüm 3,4 ve 5 trafo merkezindeki genel fonksiyon ihtiyaçlarını tanımlar. Bu gereksinimler daha sonra servislerin, uygulama protokolünün, veri linki ve fiziksel katmanların tanımlanmasında kullanılır.

IEC 61850'nin kabul ettiği en önemli mimari değişiklik veri ve servisleri ayırmasıdır. Diğer bir deyişle veri objeleri ve servisleri protokolden bağımsız olarak tasarlanmaktadır. Bu yapı veri objeleri ve servislerin başka bir protokole aktarılmasına olanak sağlamaktadır. Bu servislerin tanımı standardın 7.2 bölümünde, veri objeleri ise 7.4'de bulunmaktadır. Birçok veri objesinin ortak parçalardan oluşması nedeniyle Common Data Class veya CDC kavramı geliştirilmiştir. Bu da daha büyük veri objelerinin tasarlanması

için ortak yapı taşları tanımlamıştır.

Veri ve servislerin ayrılmış tanımlarından sonraki adım da servislerin gerçek protokollere eşlenmesidir. Bölüm 8.1 veri obje ve servislerin MMS üzerine, 9.1 ve 9.2 de SV'lerin Ethernet üzerine eşlenmesini tanımlar. 9.2 Process Bus olarak bilinen kavramı tanımlamaktadır.

Sistem açısından bütün parçaları bir araya toplamak ve çalıştırmak için büyük bir konfigürasyona ihtiyaç vardır. Bunun için bölüm 6'da XML tabanlı bir Substation Configuration Language (SCL) tanımlanmıştır. Bu otomasyon sistemi ile trafo merkezi arasındaki iletişime izin verir. Uygulama seviyesinde trafo merkezi topolojisi ve IED'ler üzerinde konfigüre edilen SAS fonksiyonlarının ilişkisi tanımlanabilmektedir.

Her ne kadar IEC 61850 başta trafo merkezleri için düşünülse de daha sonra SCADA ve trafo merkezi arası için de genişletilmiştir.

Bölüm 10 ise çeşitli protokol tanımlamaları ile uyumluluk testleri için metodoloji tanımları içermektedir.

Çizelge 1: IEC 61850 yapı standardı

Part #	Title
1	Introduction and Overview
2	Glossary of terms
3	General Requirements
4	System and Project Management
5	Communication Requirements for Functions and Device Models
6	Configuration Description Language for Communication in Electrical Substations Related to IEDs
7	Basic Communication Structure for Substation and Feeder Equipment
7.1	- Principles and Models
7.2	- Abstract Communication Service Interface (ACSI)
7.3	- Common Data Classes (CDC)
7.4	- Compatible logical node classes and data classes
8	Specific Communication Service Mapping (SCSM)
8.1	- Mappings to MMS(ISO/IEC 9506 – Part 1 and Part 2) and to ISO/IEC 8802-3
9	Specific Communication Service Mapping (SCSM)
9.1	- Sampled Values over Serial Unidirectional Multidrop Point-to-Point Link
9.2	- Sampled Values over ISO/IEC 8802-3
10	Conformance Testing

3. Modelleme

Eski protokoller temelinde elektronik bilginin tel üzerinde nasıl iletileceğini tanımlamaktadır. Fakat uygulama açısından verinin cihazlar üzerinde nasıl organize edilmesini gerektirir. Bu yaklaşım mühendislerin manuel olarak objeleri konfigüre etmesini ve değişkenlere eşlenmesini gerektirir. IEC 61850 protokol parametrelerine ilave olarak tüm cihazlarda geçerli olacak şekilde verinin organize edilebileceği bir kapsamlı model getirir. Bu sistem konfigürasyonu için gerekli çalışmayı ortadan kaldırır çünkü cihazlar kendileri konfigüre olabilmektedir. Örneğin eğer bir

CT/VT girişini bir IEC 61850 röleye bağlarsanız, röle bu modülü otomatik olarak tanıyacak ve bunu ölçüm ünitesine ilişkilendirecektir. Bazı cihazlar objeleri konfigüre etmek için SCL dosyası kullanırlar ve bu durumda SCL dosyasını cihaza aktarmak yeterlidir. Daha sonra IEC 61850 istemci uygulaması ağ üzerinden obje tanımlamalarını açabilir. Sonuç konfigürasyon maliyeti ve işçiliği açısından büyük bir kazanç olacaktır.

IEC 61850 modeli fiziksel cihazla başlar. Fiziksel cihaz ağa bağlanan cihazdır ve ağ adresi ile tanımlanır. Her fiziksel cihazda bir veya birden fazla lojik cihaz vardır. IEC 61850 lojik cihaz modeli bir fiziksel cihazın proxy olarak çalışmasına olanak sağlar.

Attribute Name	Attr. Type	Explanation	T	M/O
SubName		Sub to be inherited From Logical Node Class (see IEC 61850-7-2)		
Common Logical Node Information				
LOC	SPS	Is a subelement of Mandatory Data Item Common Logical Node Class		M
ELHealth	INS	Local operation (local means without substation automation communication, hardware direct control)		M
EEName	INS	External equipment health		O
EPName	INS	External equipment name plate		O
OpCnt	INS	Operation counter		M
Control				
Pos	DPC	Switch position		M
BlkOpn	SPC	Block opening		M
BlkCl	SPC	Block closing		M
ChgModus	SPC	Charger relay enable		O
Measured Values				
SubSvNs	DCR	Sum of Switched Ampere, available		O
Status Information				
CrCap	INS	Circuit breaker operating capability		M
POWCap	INS	Point On Wave switching capability		O
FullOpCap	INS	Circuit breaker operating capability when fully charged		O

Şekil 1: Circuit Breaker Lojik Yapısı

Her lojik cihaz bir veya daha fazla lojik düğüm içerir. Lojik düğüm bir güç sistemi fonksiyonuna ilişkilendirilmiş veri ve servis grubudur. Adları "A" ile başlayan lojik düğümler otomatik kontrol, "M" ile başlayanlar ölçüm için tasarlanmıştır. Aynı şekilde Supervisory Control (C), Generic Functions (G), Interfacing/Archiving (I), System logical nodes (L), Protection (P), Protection Related (R), Sensors (S), Instrument Transformer (T), Switchgear (X), Power Transformer (Y) ve Other Equipment (Z) için lojik düğümler tanımlanmıştır.

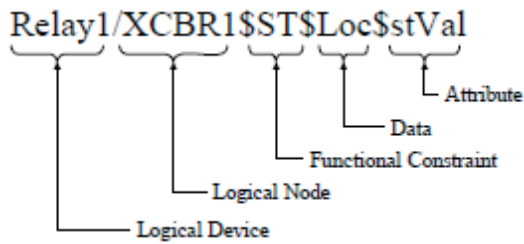
Her lojik düğüm bir veya daha çok veri elemanı barındırır. Her veri elemanı kendine özgü bir isme sahiptir. Bu veri isimleri standart tarafından belirlenir ve fonksiyonel olarak güç sistemi ile ilgilidir. Örneğin bir kesici XCBR lojik düğümü olarak modellenir ve Loc, OpCnt, Pos, BlkOpn, BlkCl ve CBOpCap gibi veriler içerir.

Attribute Name	Attribute Type	FC	Trg Op	Value/Value Range	M/O/G
DataName				Inherited from Data Class (see IEC 61850-7-2)	
DataAttribute					
state					
stVal	BOOLEAN	ST	dcfg	TRUE FALSE	M
g	Quality	ST	dcfg		M
t	TimeStamp	ST			M
substation					
subName	BOOLEAN	SV			PICS_SUBST
subVal	BOOLEAN	SV		TRUE FALSE	PICS_SUBST
subQ	Quality	SV			PICS_SUBST
subID	VISIBLE STRING64	SV			PICS_SUBST
configuration, description and address					
d	VISIBLE STRING255	DC		Text	O
uID	UNICODE STRING255	DC			O
dcName	VISIBLE STRING255	EX			AC_DLNDA_H
dcName	VISIBLE STRING255	EX			AC_DLNDA_H
dataName	VISIBLE STRING255	EX			AC_DLN_H

Şekil 2: Single Point Status (SPS)

Lojik düğümün içindeki her veri elemanı IEC 61850-7-3'e göre CDC (common data class) özelliklerine uyar. Her CDC lojik düğüm içindeki verinin tip ve yapısını tanımlar. Örneğin durum bilgisi, ölçüm, ayar için CDC'ler vardır. Her CDC tanımlanmış bir isme ve bir nitelikler kümesine sahiptir. CDC'nin her niteliği bir fonksiyon kısıtlamaları kümesine aittir.

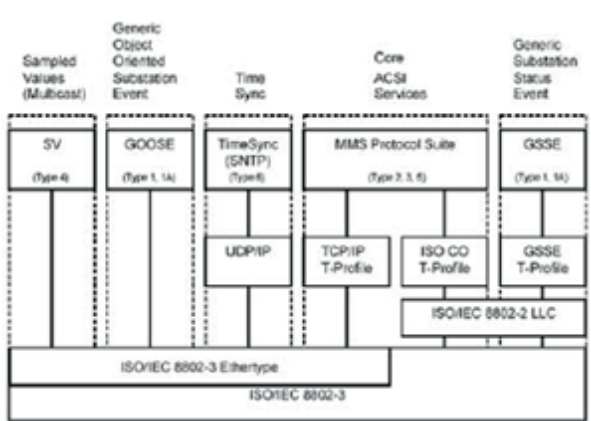
IEC 61850 modeli cihazın soyut görünümü ile başlayan sanal bir modeldir ve IEC 61850 bölüm 7'de tanımlanmıştır. Daha sonra bu soyut model IEC 61850-8-1'de Ethernet, TCP/IP ve MMS tabanlı bir özel protokole eşlenir. IEC 61850 objesinin MMS'e eşlenmesi sırasında IEC 61850-8-1 model bilgisinin MMS değişken objesine çevirim metodunu belirler. Bu işlem modeldeki her veri elemanına özel bir referans atanmasını sağlar.



Şekil 3: IEC 61850 Objeye Adı

4. Protokollere Eşleme

IEC 61850'in soyut veri ve obje modeli güç sistemi cihazlarının tanımlanması için standart bir metod içerir. Bu da tüm IED'lerin fonksiyonları ile ilgili verileri aynı şekilde göstermesine imkan verir. IEC 61850'nin ACSI (Abstarct Communication Service Interface) modelleri tüm IED'lerin aynı şekilde davranmasını sağlayan servisleri tanımlar. Her ne kadar soyut model bu seviyede bir interoperability sağlamada önemli ise de, bu modellerin gerçek protokol kümesi üzerinde işletilmesi gereklidir. IEC 61850-8-1 soyut objeler ve servisleri MMS protokolüne eşler. IEC 61850'yi teorik olarak herhangi bir protokole eşlemek mümkünse de, bunu sadece read/write/report servislerini destekleyen bir protokole eşlemek çok kompleks bir hal alabilir. MMS'in bu iş için seçilmesinin nedeni budur. MMS iyi bir seçimdir çünkü karmaşık isimli objeleri ve birçok esnek servisi destekler.



Şekil 4: IEC 61850 Fonksiyon Yapısı

IEC 61850 obje ve servis modellerini MMS'e eşlemek servis eşleme temellidir. Örneğin ACSI'nin kontrol modeli MMS'in read ve write servislerine eşlenir. Daha sonra IEC 61850'nin diğer obje modelleri ilgili MMS objelerine eşlenir. Örneğin IEC 61850 lojik cihaz objesi bir MMS alanına eşlenir.

Çizelge 2: IEC 61850-MMS Eşleme

IEC 61850 Objects	MMS Object
SERVER class	Virtual Manufacturing Device (VMD)
LOGICAL DEVICE class	Domain
LOGICAL NODE class	Named Variable
DATA class	Named Variable
DATA-SET class	Named Variable List
SETTING-GROUP-CONTROL-BLOCK class	Named Variable
REPORT-CONTROL-BLOCK class	Named Variable
LOG class	Journal
LOG-CONTROL-BLOCK class	Named Variable
GOOSE-CONTROL-BLOCK class	Named Variable
GSSE-CONTROL-BLOCK class	Named Variable
CONTROL class	Named Variable
Files	Files

Çizelge 3: IEC 61850 Servis Eşleme

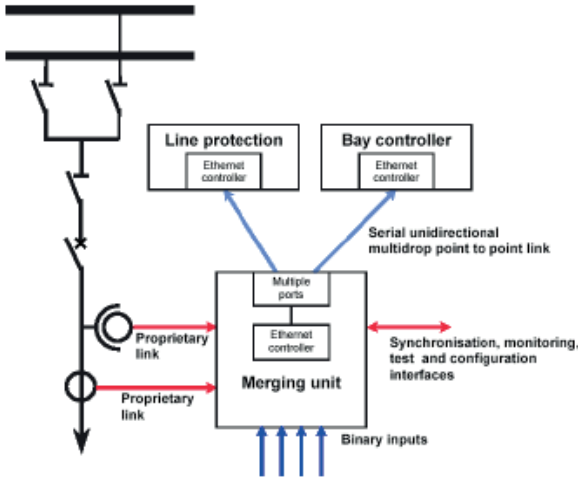
IEC 61850 Services	MMS Services
LogicalDeviceDirectory	GetNameList
GetAllDataValues	Read
GetDataValues	Read
SetDataValues	Write
GetDataDirectory	GetNameList
GetDataDefinition	GetVariableAccessAttributes
GetDataSetValues	Read
SetDataSetValues	Write
CreateDataSet	CreateNamedVariableList
DeleteDataSet	DeleteNamedVariableList
GetDataSetDirectory	GetNameList
Report (Buffered and Unbuffered)	InformationReport
GetBRCBValues/GetURCBValues	Read
SetBRCBValues/SetURCBValues	Write
GetLCBValues	Read
SetLCBValues	Write
QueryLogByTime	ReadJournal
QueryLogAfter	ReadJournal
GetLogStatusValues	GetJournalStatus
Select	Read/Write
SelectWithValue	Read/Write
Cancel	Write
Operate	Write
Command-Termination	Write
TimeActivated-Operate	Write
GetFile	FileOpen/FileRead/FileClose
SetFile	ObtainFile
DeleteFile	FileDelete
GetFile.AttributeValues	FileDirectory

Uygulama katmanına eşlemenin yanında, bölüm 8.1 haberleşme protokolünün diğer katmanları için profiller

tanımlar. Örneğin Sampled Values ve GOOSE uygulamaları Ethernet paketine direkt olarak eşlenir. Böylece herhangi bir ara katmanda işlem ihtiyacı olmaz. MMS TCP/IP veya ISO üzerinde çalışır. GSSE GOOSE ile beraber connectionless ISO servisleri üzerinde çalışır. Tüm veri Sampled Values, GOOSE, TimeSync ve TCP/IP için Ethernete veri tipli ethernet'e eşlenir. ISO ve GSSE için ise 802.3 veri tipi kullanılır.

5. Process Bus

Teknoloji yeni nesil düşük enerjili gerilim ve akım sensörlerine doğru ilerlerken, ölçümü kaynağa yapıp sonuçları trafo merkezine geri yollamak bir ihtiyaç haline gelmiştir. Sampled Values'a ilave olarak, uzaktan durum bilgisi okumak ve çıkışları ayarlamak da önemli bir ihtiyaçtır. IEC 61850 bu ihtiyacı Sampled Measured Values servis tanımı ve Process Bus gerçekleştirilmesi ile karşılar. Trafo merkezinin process katmanı voltaj, akım ve durum bilgilerini trafo ve sensörlerden toplamakla ilgilidir. IEC 61850 bu verinin toplanmasını iki farklı protokolle tanımlar. Bölüm 9.1 Unidirectional Multidrop Point-to-Point sabit linki tanımlarken, bölüm 9.2 konfigüre edilebilir dataset'in multicast ile gönderilmesiyle ilgilidir.



Şekil 5: Sample Measured Value

Process Bus'ta akım ve gerilim kaynaklarından gelen sinyaller MU (Merging Unit) için bir giriş oluşturmaktadır. Merging Unit gelen sinyalleri belli bir frekansta senkronize bir şekilde örnekler. Bu şekilde herhangi bir IED birden çok MU'dan veri alıp işleyebilir. Temel koruma ve izleme için örnekleme frekansı periyot başına 80 iken, güç kalitesi uygulamaları için bu oran 256 olarak belirlenmiştir.

Bölüm 9.1 IEC 60044-8'de belirtildiği gibi pre-configured veya universal dataset'leri tanımlar. Bu dataset koruma için 3-faz voltaj, bus voltaj, nötr voltaj, ölçme için 3-faz akım ve 16-bit durum bilgisi içerir. Analog veri değerleri 16-bit register'lara eşlenir.

Bölüm 9.2 Sampled Measured Values (SMV) veri transferi için daha genel bir gerçekleştirilmiştir. Dataset veya payload SCL kullanılarak kullanıcı tanımlıdır. Bir dataset'te çeşitli boyut ve tipte veri değerleri entegre edilebilmektedir.

9.1 ve 9.2 ethernet katmanına direkt olarak eşlemeyi tanımlar. Örnekleme frekansına bağlı olarak, 1 ile 5 arasında cihaz 100Mbps Ethernet linkine eşlenebilir. Çoklu 100Mbps linkler daha sonra 1Gbps bağlantısı olan bir Ethernet switch'e bağlanabilir. Bu konfigürasyonda 50 veya daha fazla dataset abonelere servis edilebilir.

6. Trafo Merkezi Konfigürasyonu

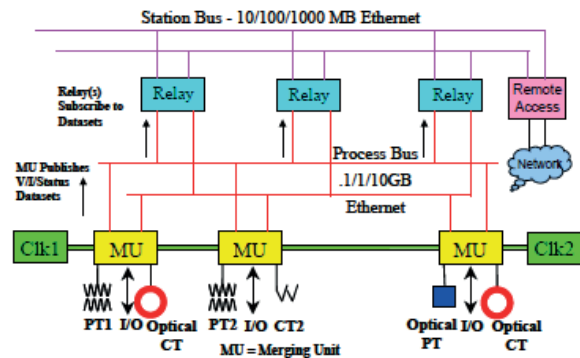
IEC 61850-6-1 eXtensible Markup Language (XML) tabanlı bir Substation Configuration Language (SCL) tanımlar. SCL çok katmanlı konfigürasyon dosyalarındaki hiyerarşiyi anlatır. Çeşitli SCL dosyaları system specific description (SSD), IED capability description (ICD), substation configuration description (SCD) ve configured IED description (CID) dosyalarını içerir. Tüm bu dosyalar aynı metod ve formatla oluşturulur fakat ihtiyaca göre farklı alanlar içerirler.

Bir IEC 61850 istemcisi her ne kadar bir IED'nin konfigürasyonunu açabilse de, off-line olarak da cihazı konfigüre edebilmek önem taşımaktadır.

Kullanıcı IED konfigürasyonu için CID dosyalarını kullanabilir. Aynı zamanda SCL tüm sistem tasarımını değiştirmek için de hatalı işlemlere olanak vermeden kullanılabilir.

7. IEC 61850 Modeli

Process katmanında optik/elektronik voltaj ve akım sensöründen gelen veri Merging Unit (MU) tarafından toplanıp dijitize edilir. MU'lar fiziksel olarak sahada veya kontrol merkezinde bulunabilir. MU'lardan gelen veri yedekli 100Mbps Ethernet linklerinden toplanabilir. Toplama noktaları 1Gbps uplink'e sahip yedekli Ethernet switch'ler olabilir. VLAN Ethernet switch'e dataset'leri sadece abone olan IED'lere teslim etme imkanı verir. Process Bus gerçekleştirilmesine geçişte, üreticiler mevcut CT ve PT'lerden de veri toplama imkanı vermedilerdir. Yedekli bir senkronizasyon sistemi de unutulmamalıdır.



Şekil 6: IEC 61850 Trafo Merkezi Mimarisi

Trafo merkezi seviyesinde Station Bus kullanılacaktır. Bu da aynı şekilde 100Mbps Ethernet tabanlı olmak zorundadır. Station Bus çeşitli lojik nodlarla temel haberleşmeyi sağlayacak ve koruma, kontrol, izleme ve log toplama fonksiyonlarına imkan verecektir. Haberleşme connection oriented veya connection-less olarak gerçekleştirilecektir.

Bu mimari her çeşit veri okuma ve yazma için uzak ağ erişimini desteklemektedir. Bu yapı bireysel olarak IED'leri encryption yapmaktan kurtardığı için üzerlerindeki işlem yükünü azaltmaktadır.

8. Sonuçlar

IEC 61850 sektörde kullanılmaya başlanmıştır. Bu standart dijitalleşme sürecinde karşılaşılabilecek birçok problemi çözmektedir. Özellikle veri isimlerinde standartlaşma, kapsamlı servisler tanımlama, standart protokol üzerinde gerçekleştirme ve process bus desteği önemli avantajları arasındadır. Farklı üreticilerin ürünleri arasındaki interoperability özelliği de operatöre esneklik getirecektir.

9. Kaynaklar

- [1] IEC 61850, "Communication Networks and Systems in Substations", IEC, 2004.
- [2] Mackiewicz, Ralph, "Technical Overview and Benefits of the IEC 61850 Standard for Substation Automation", 2010, 1-8.

Kablosuz Enerji İletiminin Mobil Robota Uyarlanması

Mehmet Ali Özçelik, Ahmet Ateş

ozcelik@gantep.edu.tr, mackaebo@gmail.com

Gaziantep Üniversitesi Teknik Bilimler, Elektrik ve Enerji Bölümü, Gaziantep
Maçka Akif Tuncel Teknik ve End. Meslek Lisesi, Elektrik-Elektronik Teknolojisi, İstanbul

Günümüzde kablosuz enerji iletimi her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Yapılan çalışmada bu teknoloji bir mobil robota uygulanmaktadır. Şebekeden alınan enerji mobil robota transfer edilmekte ve mobil robot üzerindeki tüm sistem bu transfer edilen güç ile çalışmaktadır. Mobil robotun çizgi üzerindeki hareket kabiliyeti sayesinde insansız taşımacılık, stoklama, üretim yapılabilir. Tasarlanan sistem, üzerinde dâhili bir güç ünitesi bulunmaksızın çalıştığı için bakım ve ikmal sıkıntısı olmadan gün içinde güvenle kullanılabilir şekilde olup fabrika üretim bandı sistemine katkı sağlamaktadır. Bu çalışma bir güzergâh üzerinde hareket eden otonom sistemlerin alt yapısını oluşturmaktadır.

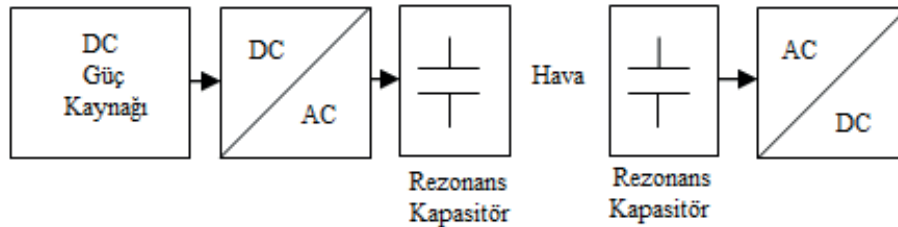
Implementation of Wireless Energy Transmission on Mobile Robot

The wireless energy transmission is becoming widespread every day. In this study, this technology is applied to a mobile robot. The energy received from the grid is transferred to the mobile robot and the entire system on the mobile robot works with this transferred power. Thanks to the mobile ability of the mobile robot on the line, unmanned transportation, stocking, production can be done. The system is designed to be used safely during the day without the need for maintenance and repairs because it operates without an integral power unit and contributes to the factory production system.

1.Giriş

Kablosuz enerji transferi elektronik endüstrisinde geniş bir uygulama potansiyeline sahip olması nedeniyle son zamanlarda ön sıralarda yer almaktadır [1-2]. Kablo kullanımıyla enerji vermenin tehlikeli veya mümkün olmadığı medikal devre uygulamaları, yüksek gerilim iletim hatlarına bağlı şarj sensörü gibi uygulamalarda kablosuz enerji transferiyle güç temin edilebilmektedir[3], aynı zamanda elektrikli araç ve batarya teknolojilerindeki gelişmeler içerisinde kablosuz enerji transferi yer almaktadır [4].

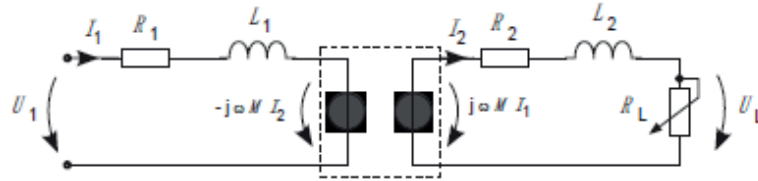
Bir iletken elektrik akımı uygulandığında iletken etrafında çember biçiminde bir elektromanyetik alan meydana gelmektedir, iletkeni halka haline getirdiğimizde ise oluşan elektromanyetik alan daha büyümektedir. Halka sayısının artırılması manyetik alanında artmasına sebebiyet verecektir, manyetik alanın etki çevresine bir başka halka iletken girdiğinde ise bu iletken üzerinde bir gerilim indüklenmekte ve elektrik akımı oluşmaktadır, bu olay endüktif kuplaj olarak tanımlanmaktadır. Endüktif kuplaj prensibiyle oluşan bir şarj sisteminde alışılmış bir dönüşüm zinciri Şekil 1’de görülmektedir. Sistem, bir güç kaynağı, DC/AC dönüştürücü, rezonans kapasitörleri, hava iletimi ve AC/DC doğrultucudan oluşmaktadır.



Şekil 1. Konvansiyonel kablosuz enerji aktarımı

Verici kısım ve alıcı kısımdan oluşan rezonans kapasitör devreler karşılıklı olarak birbirinin etkileşim alanı içerisinde belirli bir frekans değerinde ve elektromanyetik alan etkileşimiyle verici tarafından enerjii alıcı tarafa aktarmaktadır.

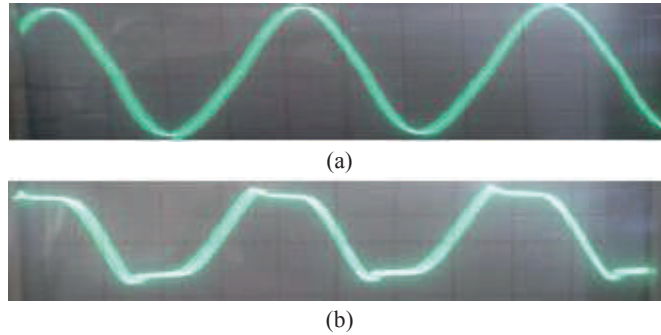
Şekil 2’de bir transformatörün eş-değer devresi görülmektedir, Şekil 1’e göre batarya ve AC/DC doğrultucuya R_L yük direnci karşılık gelmektedir.



Şekil 2. Transformator eşdeğer devresi

Alıcı ve verici devresinde aynı özellikte bobinler kullanılıp verici devresindeki ortak uçlu bobinin 2 ucu birbirine ters yönlü iki ayrı manyetik alan verecek şekilde anahtarlama yapıldığında verici girişindeki doğru akım (DC), alternatif akım (AC) normuna geçirilmiş olur, dolayısıyla verici çıkışında değişken bir manyetik alan meydana gelmektedir.

Bu değişken manyetik alan, alıcı ve verici arasındaki hava transformator nüvesi gibi düşünüldüğünde sekonder yani alıcı devresi bobinini keserek bir gerilim indükler. Alıcı devresindeki AC/DC doğrultmaç ile DC normuna çevrilmiş olur. Şekil 3'te kablosuz enerji iletim uygulama devresinde verici çıkış, alıcı giriş gerilim sinyalleri görülmektedir.



Şekil 3. Verici devresi(a) gerilim çıkış, Alıcı devresi (b) gerilim giriş sinyalleri

Verici ve alıcı arasındaki mesafe kablosuz enerji iletimindeki verimi önemli derecede etkilemekte olup, verim ifadesi denklem (1)'de verilmektedir. Burada η verim, V_i giriş

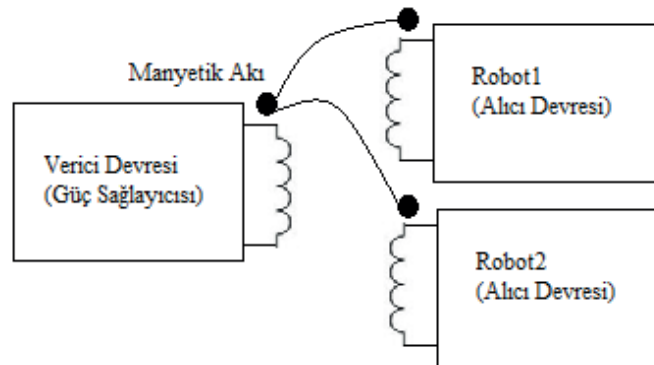
gerilimi, V_s vericiye aktarılan gerilim, V_0 çıkış gerilimi, P_i giriş gücünü, P_0 çıkış gücünü, R_s sistem direncini, R_0 yük direncini ifade etmektedir.

$$\eta = \frac{P_0}{P_i} \times 100\% = \left(\frac{V_0^2}{R_0} \right) / \left(\frac{V_s - V_i}{R_s} \right) \times V_i \quad (1)$$

2. Uygulama Devresi

Uygulanan sistemin blok yapısı şekil 4'te görülmektedir, aynı anda kablosuz iki yönlü iletişim sağlayan 60x60 cm'lik kontrplak güç yüzeyi üzerinde çizgi izleyen ve her biri

200mW güç tüketen 2 adet yapılan test robotu hareket ettirilmiştir. Sistemde çizgi üzerinde hareket ettirilen robotlarda batarya bulunmamaktadır, çizgi izleme devresinde sensör olarak kızılötesi algılama sensörü kullanılmıştır.



Şekil 4. Güç sağlayıcı ve alıcı blok diyagramı

60x60cm kontrplak' ın arka yüzeyinde verici devresi ve rezonans bobini bulunmaktadır, verici devresinin rezonans bobini 23 sarım ve endüktans değeri 740 μ H değerindedir, verici devrenin osilasyon frekansı 112 kHz değerinde olup doğru akımda ölçülen direnci 0.42 Ω değerindedir, bu verilere

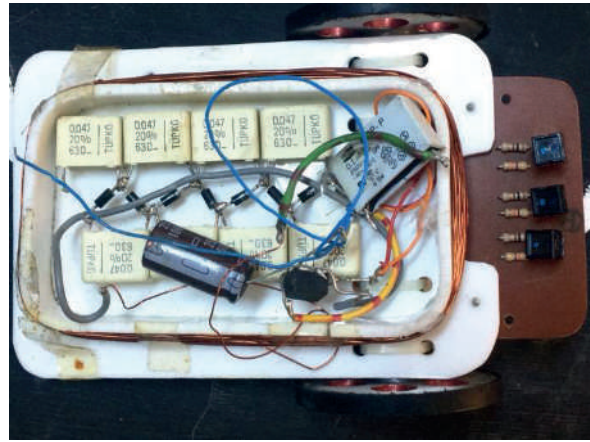
göre kristal kalite katsayısı $Q=2\pi fL/R=1240$ değerindedir. Verici devresi Şekil 5'te görülmektedir. Burada 2 Mosfet ve sürücü entegresi kullanılmış olup ortak sargılı rezonans bobininden AC elde edilmektedir.



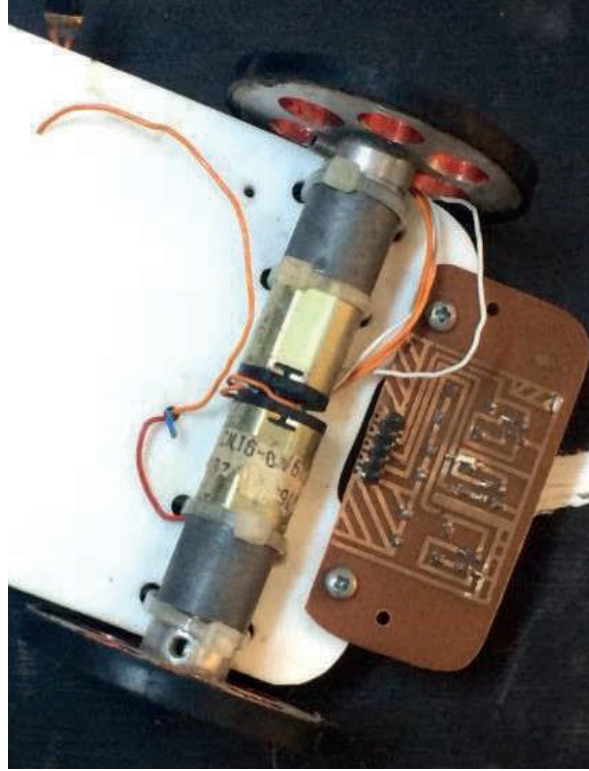
Şekil 5. Verici Devresi

Alıcı devresi üstten görünüşü şekil 6'da, alttan görünüşü şekil 7'de görülmekte olup alıcı bobini ile verici bobini aynı elektriksel özelliktedir, alıcı bobini; verici bobininde oluşan manyetik akı tarafından kesildiğinden üzerinde bir gerilim oluşmaktadır, alıcı tarafta alınan frekansa uygun bobin ve kondansatör rezonans devresi tasarlanarak maksimum verimli bir alıcı elde edilmiştir. Alıcı devresi aynı zamanda çizgi

izleyen robot devresi olup ana devresinde PIC 16F628 mikro denetleyicisi, motor sürücü entegresi, sensör çıkışları bulunmaktadır. Mikrodenetleyici çıkışına 1293 motor sürücü entegresi bağlanarak 2 adet 6 V 150 rpm DC motorun çalışması sağlanmıştır. Devre epoksi baskı devre kartı üzerine kurulmuştur.



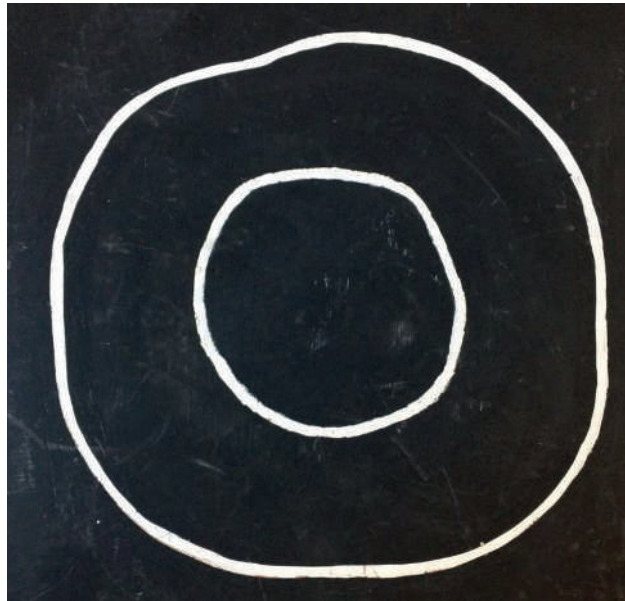
Şekil 6. Alıcı(robot) devresi üstten görünüş



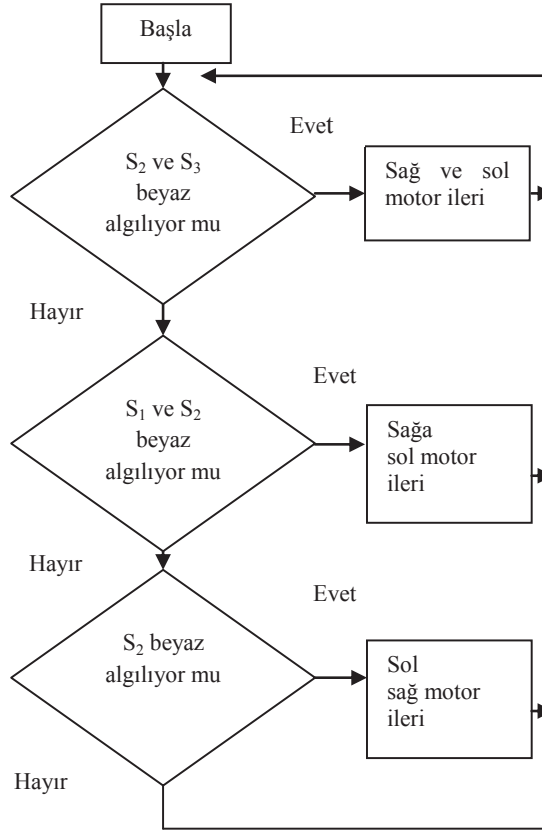
Şekil 7. Alıcı devresi alttan görünüş

Şekil 8'de sensör parkuru görülmektedir, 3 adet infrared çizgi sensörü vasıtasıyla beyaz renkte iletim sağlanarak robotun bu güzergâhta hareket etmesi sağlanmaktadır. Burada mikrodenetleyiciye konum bilgisi sensörler tarafından

verilmektedir. Sensörlerden gelen veri mikrodenetleyici içerisindeki algoritma tarafından değerlendirilerek çıkıştaki motor sürücülerini kontrol edilir. Algoritmanın akış şeması şekil 9'da verilmiştir.



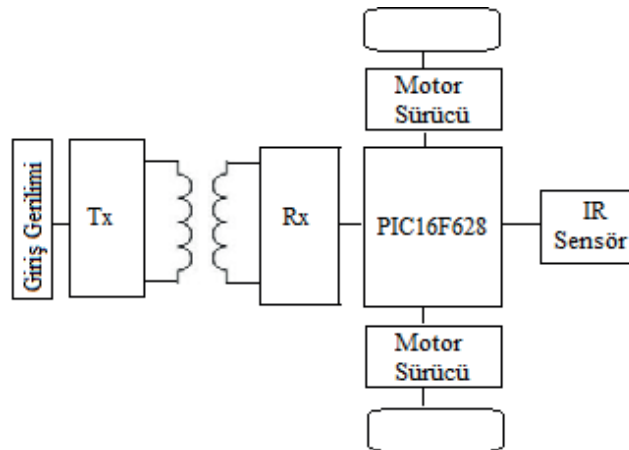
Şekil 8. Robot hareket çizgi güzergâhı



Şekil 9. Çizgi izleme algoritması

Kablosuz enerji transferiyle çalışan bataryasız robot sistemin blok şeması Şekil 10’da görülmektedir. Genlik modülasyonu taşıyıcı sinyal frekansı 112 kHz değerindedir. Manyetik alan

genlik modülasyonu yüzey ile robotlar arasında eş zamanlı yayın iletişimi göstermektedir.



Şekil 10. Kablosuz robot sistem blok şeması

3. Sonuç

Kablosuz enerji iletiminin günümüz yaygınlaşması sonucu oluşturulan sistemde düşük güçlü ve bataryasız çalışacak şekil tasarlanan mobil robotlara kablosuz güç transferi sağlanmıştır. Robot hareket yüzeyine eş zamanlı dağıtılan elektrik enerjisinin iletken malzeme ve batarya elemanı olmadan robotlara iletilmesi, robot hareket kabiliyetini arttırmıştır, aynı zamanda batarya maliyeti ve batarya bakım masraflarının bertaraf edilmesi endüstriyel taşımacılıkta düşük güçlü ve düşük maliyetli bir mobil sistemin üretim bandında yer alabileceğini göstermektedir. Yapılan çalışmanın mikrodenetleyici tabanlı olması, uzaktan kumandaya gerek kalmadan kendi karar mekanizmasını çalıştırmasına ve geliştirilmesine olanak sağlamaktadır.

4. Kaynaklar

- [1] Liu Z.T., Zhong Z., Guo Y.X., In vivo high-efficiency wireless power transfer with multisine excitation, IEEE transaction Microwave Theory Tech., 2017.
- [2] Imura T., Hori Y., Maximizing air gap and efficiency of magnetic resonant coupling for wireless power transfer using equivalent circuit and Neumann formula, IEEE Transmission Ind.Electronics, vol.58, no.10, pp.4746-4752, 2011.
- [3] Lim J., Byunghun L., Maysam G., Optimal Design of a Resonance-Based Voltage Boosting Rectifier for Wireless Power Transmission, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.PP, no.99, 2017.
- [4] Germano P., Perriard Y., Battery Charger for Electric Vehicles based on a Wireless Power Transmission, CES Transactions on Electrical Machines and Systems, Vol.1, No.1, pp.66-71, 2017.

MARKAL Modeli ile Türkiye'nin Optimum Enerji Stratejilerinin Belirlenmesi

Egemen SULUKAN^{*1}, Doğuş ÖZKAN¹, Tanay Sıdkı UYAR²

^{*1}Millî Savunma Üniversitesi, Deniz Harp Okulu, Dekanlık, Makine Mühendisliği Bölümü
esulukan@dho.edu.tr, dozkan@dho.edu.tr

²Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
tanayuyar@marmara.edu.tr

Özet:

Dünyada sıklıkla yaşanan enerji krizleri, ülkeleri enerji politikalarını olası krizleri gözeterek planlamaya, kaynak kullanımında dikkatli olmaya ve ekonominin enerji alanında dışa bağımlılığını azaltacak önlemleri almaya yöneltmiştir. Bu çerçevede, ulusal kaynakların etkin, verimli ve rasyonel kullanımları ülkelerin enerji yönetimleri için hayati önem taşımaktadır. Enerji sektörü; enerji kaynaklarını, enerji üretim ve çevrim teknolojilerini ve ulaşım, konutlar, sanayi ve tarım için son kullanım teknolojilerini içerir. Enerji, ekonomi ve çevresel yönleri ile sistemin en maliyet-etkin çözümü verecek şekilde optimize edilebilmesi maksadıyla her ülke için böyle bir planlamada kullanılacak karar destek temelli yaklaşımlara ihtiyaç vardır. İşte bu çalışmada esas amaç, ülkemiz için enerji sektöründe genel veya özel karar-destek süreçlerinde kullanılabilen maksadıyla geliştirilmiş olan entegre enerji modeli hakkında okuyucuya bilgi sunmaktır.

Abstract:

Energy crises that frequently experienced around the world have compassed the countries to plan for possible crises, be cautious in using resources, and take measures to reduce the economy's external dependency on energy. In this framework, the efficient and rational use of national resources is vital for countries' energy management. Energy sector contains the energy sources, energy production and conversion technologies, and end-use technologies utilized for transportation, residential, industry and agriculture. Decision support-based approaches are needed for each country in order to optimize the system in terms of energy, economy and environmental aspects and to provide the most cost-effective solution. The main purpose of this work is to present information to the reader about the abovementioned integrated energy model that has been developed for our country in order to be used in general or specific decision-support processes in the energy sector.

1. Giriş

Dünyada sıklıkla yaşanan enerji krizleri, ülkeleri, enerji politikalarını olası krizleri gözeterek planlamaya, kaynak kullanımında dikkatli olmaya ve ekonominin enerji alanında dışa bağımlılığını azaltacak önlemleri almaya yöneltmiştir.

Bu çerçevede, ulusal kaynakların etkin, verimli ve rasyonel kullanımları ülkelerin enerji yönetimleri için hayati önem taşımaktadır. Enerji üretimi halen büyük ölçüde petrol, doğalgaz, kömür gibi fosil yakıtlara dayalıdır ve bu durumun yakın gelecekte de süreceği öngörülmektedir. Özellikle petrol ve doğalgaz kaynaklarının dünyanın belirli bölgelerde yoğunlaşmış olması, bu kaynaklar açısından zengin olan bölgelerin ve buralardaki enerji kaynaklarının kontrolünü son derece önemli hale getirmektedir. Ülkemiz de bulunduğu stratejik konum itibarı ile bu kümeye dahil ülkeler arasında yer almaktadır.

Enerji sektörü; enerji kaynaklarını, enerji üretim ve çevrim teknolojilerini ve ulaşım, konutlar, sanayi ve tarım için son kullanım teknolojilerini içerir. Ulusal enerji planlanmasında sadece muhtemel talebi karşılamaya yönelik biçimde oluşturulacak enerji stratejilerinin hem yetersiz kalacağı, hem de dünyadaki yaygın eğilimlerle uyumlu olmayacağı görülmektedir. Ayrıca, ülke olarak taraf

olduğumuz İklim Değişikliği Sözleşmesinin taahhütleri gereği enerji tüketimlerinin bir miktar daha aşağıya çekilmesi için çözümlerin ortaya konulması giderek artan bir ihtiyaç haline gelmiştir.

Enerji, ekonomi ve çevresel yönleri ile sistemin en maliyet-etkin çözümü verecek şekilde optimize edilebilmesi maksadıyla her ülke için böyle bir planlamada kullanılacak karar destek temelli yaklaşımlara ihtiyaç vardır. İşte bu çalışmada esas amaç, ülkemiz için enerji sektöründe genel veya özel karar-destek süreçlerinde kullanılabilen maksadıyla geliştirilmiş olan entegre enerji modeli hakkında okuyucuya bilgi sunmaktır.

Enerji kullanımı yıllara sari olarak artarken, gerek enerji verimliliğinin artırılması gerekse enerjinin etkin kullanılması ve enerji kullanımında çevrenin korunması bu artışın niteliğini anlamlandıracaktır. Enerji politikalarının temelini projeksiyonlar, yani model bazlı hesaplamalar ve tahminler oluşturmaktadır. Ülke çıkarlarını ön planda tutan enerji stratejilerinin geliştirilmesi için geliştirilen modellerin güvenilir sonuçlar üretmesi beklenir. Model sonuçlarının güvenilirliğinin yüksek olması ise kullanım amacına uygun modelleme yaklaşımlarının uygulanmasına, modellerin değişkenler arası ilişkileri gerçekçi olarak ortaya koyabilmelerine ve yapılan varsayımların doğruluğuna

bağlıdır. Ülkemizde de bu yönde çalışmaların akademik düzeyde desteklenmesi ülke çıkarlarımız açısından önemlidir.

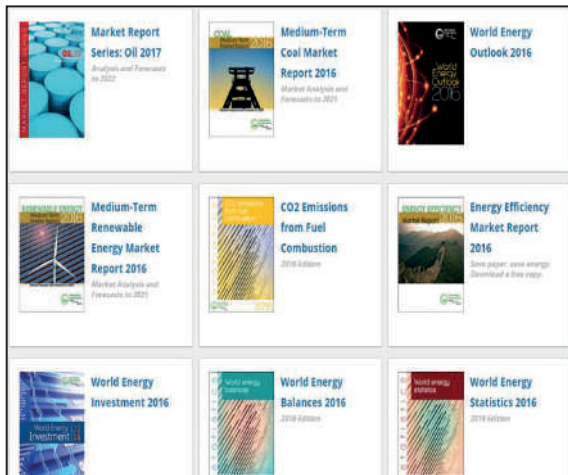
2. Amaç

Yürütülmekte olan enerji sistem analizi ve modelleme çalışmalarının temel amacı; ülkemiz için geliştirmiş olduğumuz enerji-ekonomi-çevre entegre modelleri ile arz-talep dengesinin sağlandığı maliyet-etkin çözümlerin belirlenebilmesidir. Bu çözüme enerji kaynakları, kullanılan her türlü enerji üretim ve tüketim teknolojileri, karbon yutak alanları ve tüm enerji üretim tesisleri ile enerji tüketen teknolojilerden atmosfere salınan emisyonlar dahildir. Çalışmaların misyonuna maliyet-etkin enerji sistemleri ve salımlara getirilen sınırlamalara makul ve uygulanabilecek alternatif çözümlerin belirlenebilmesi, araştırma ve geliştirme faaliyetleri için yeni teknolojiler ve öncelikler ile yönetmeliklerin, vergilerin ve maddi teşviklerin etkileri değerlendirilebilmesi, sera gazı salımlarının mevcut durum ve şartları altında ve üretilecek özel senaryolara göre envanterinin oluşturulması gibi ülkemizin temel ihtiyaçları dikkate alınmaktadır.

3. Makro Ölçekte Enerji Planlaması

Halihazırda yirmi dokuz üye ülkesi bulunan ve makro ölçekte enerji camiasında en yetkin uluslararası kuruluş olan Uluslararası Enerji Ajansı (UEA)'nın misyonu enerji güvenliği, ekonomik kalkınma, çevre bilinci ve dünya çapında katılım olarak deklare edilmiştir. UEA, bu hedefe yönelik çalışmalarını her yıl yayınlamakta ve enerji piyasasında belirleyici bir aktör olarak görevine devam etmektedir.

UEA, ülke bazında yaptığı incelemelerin yanısıra, yıllık olarak dünya genelinde enerji sektörü ile ilgili gelişmeleri kayıt altına alan ve geleceğe yönelik tahminlerin de yer aldığı "Dünya Enerji Görünümü" raporlarını yayınlamaktadır. Makro ölçekte enerji alanında sunulan en dikkat çekici çalışmalar olarak bunlar sayılabilir.



Şekil 1. Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yayınlanan çalışmalar [1].

4. Enerji Planlama ve Sistem Modelleme Felsefesi

Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) bünyesinde faaliyet gösteren UEA başlısı bir uygulama

anlaşması olan Enerji Teknoloji Sistem Analiz Programı (ETSAP) programı dahilinde, iklim değişikliği ile ilgili Birleşmiş Milletler Çerçeve Anlaşması ile de uyumlu olan uluslararası bir işbirliği projesinde geliştirilen "MARKAL (MARKet Allocation) Modeli Enerji Sistemleri Optimizasyon Programı", değişik maksatlarla üretilen ve geliştirilen farklı versiyonları 70 civarında ülkede halen kullanılmakta ve geliştirilmeye devam edilmektedir.

Analizlerde kullanılan MARKAL, enerji sektörü için modelleyicinin belirlediği kısıtlara bağlı olarak önce enerji sistemini tanımlayan ve toplam enerji sistem maliyetini en maliyet-etkin seviyede minimize eden bir lineer programlama model üreticisidir. Model halen OECD ülkelerinde enerji fayda/maliyet analizi ve sera gazı salımlarının azaltılması konusunda etkin olarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda, bu model ile Türkiye'nin enerji seçeneklerinin değerlendirilmesi ve sera gazı salımlarının azaltılmasındaki alternatif tüm ekonomik, teknolojik ve çevresel seçenekler irdelenebilmektedir.

Model uygulaması çıktılarının muhtemelen öncelikle Kalkınma Bakanlığı, Çevre ve Enerji Bakanlıkları ile tüm yerel yönetimlerin ve enerji-iklim değişikliği alanlarına faaliyet gösteren sivil toplum kuruluşlarının görev ve ilgi alanına girmesi beklenir; ayrıca ülkemizin halen devam eden AB üyelik süreci açısından AB Bakanlığı da bu paydaşlar listesine dahil edilebilir.

Bahse konu enerji modelleri, tanımlanan her bölge için bir enerji sistemini karakterize eden parametre değerleri ve özellik gruplarından kurulu genel değişkenler ve denklemlerden oluşmuştur. Profil ilk maliyetleri, işletme maliyetlerini, enerji verimliliği, kirlenici salımları, emre amadelik faktörlerini, pazara giriş oranlarını ve diğer karakteristiklerini tanımlar. İhtiyaç duyulan modeli kurmak için bir önışlemci, modelci tarafından tanımlanan bütün verileri özel bir iç veri yapısına çevirir. Bu adım matris üretimi olarak adlandırılır. Model çözümlendiğinde modelcinin analizi için sonuçlar verir. Matris üretimi, rapor yazarı ve kontrol dosyaları General Algebraic Modeling System (GAMS) içinde yazılır. GAMS özellikle geniş kapsamlı eniyileme (optimizasyon) modelleme işlemlerini kolaylaştırmak için tasarlanmış güçlü bir dildir. GAMS bunu parametre değerleri, gruplar, değişkenler ve denklemlerle yapar. GAMS ayrıca MARKAL lineer ve lineer olmayan modellerini çözümlenme görevlerini üstlenen çok sayıda eniyileme programı ile de çalışır. Çözüm ve eniyileme safhasında da CPLEX veya XPRESS gibi eniyileme programları kullanılır.

4.1. Modelleme Basamakları

Modelleme süreci tipik olarak birbiri ile ilişkili bir dizi adımdan oluşur. Çalışmanın gelişme basamakları olarak bu adımlar yedi ana başlık altında toplanabilir :

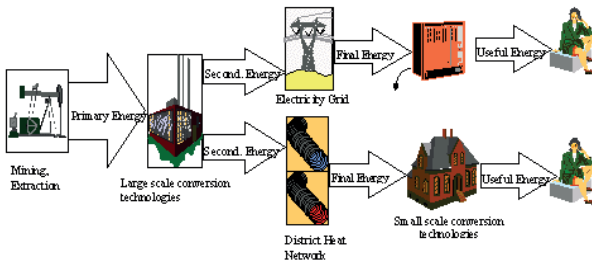
- Model hedeflerinin belirlenmesi,
- Model formülasyonu,
- Veri toplama,
- Veri analizi,
- Model kalibrasyonu,
- Model uygulanması,
- Duyarlılık analizi.

Model kurulum ve gelişim aşamalarında, yukarıda sayılan basamaklar takip edilmektedir.

4.2. Model Genel Yapısı

Enerji sistemlerinde karar-destek sürecine teknik açıdan katkıda bulunabilmek için Türkiye MARKAL Enerji Sistem Modeli kurularak 2005-2025 yılları arasında izlenebilecek alternatif senaryoların analizleri yapılmıştır. Bu çalışmalarda, ülkemiz enerji sistemi evrimi sürecinde geliştirilen teknoloji senaryoları diğer ülkeler için üretilmiş olan birkaç örnek MARKAL modelinde olduğu gibi geleceğe dair kehanette bulunmak yerine, tercih edilebilecek enerji seçeneklerinin kavranmasına yönelik bir anlayış sağlamak yönünde olmuştur.

Türkiye MARKAL modeli kurulumu çalışmalarında, enerjinin kaynaktan son kullanım aşamasına kadar dahil olduğu her bir süreci gösteren Şekil 2' ye benzer şekilde enerji taşıyıcıları ile halihazırda kullanılan ve gelecekte kullanıma girmesi muhtemel olarak değerlendirilen kaynak teknolojileri, işlem-çevrim teknolojileri ve talepler belirlenmiş, aralarındaki etkileşim ve pozisyonları MARKAL hiyerarşisinde tanımlanarak "Referans Enerji Sistemi" (RES) olarak adlandırılan, kaynaktan son kullanıma kadar genel ve basitleştirilmiş bir enerji ağı kurulmuştur.



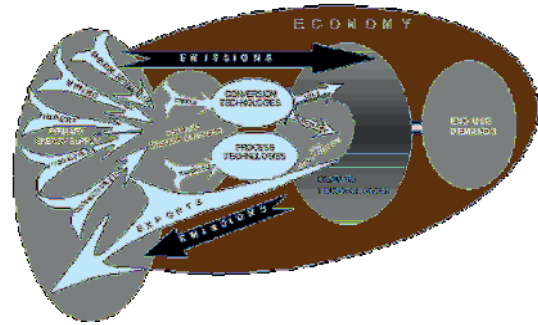
Şekil 2. Kaynaktan Son Kullanıma Enerji Dönüşüm Süreçleri

RES, enerji sistemi yapısını modelleyen bir şemadır ve kaynaklardan son kullanıma kadar enerji akışını tanımlar. Birincil enerji kaynağından tüm enerji akışlarını, büyük ve küçük ölçekli enerji çevrimlerini, farklı dağıtım formlarını ve farklı sektörlerde enerjinin son kullanımını gösterir. RES genellikle enerji talebi ve hatta enerji hizmetleri hakkında faydalı bilgiler içerir; bir enerji sisteminde enerji çevrim teknolojilerinin yakıt-teknoloji bağlantılarına nasıl etkideğinin görülmesini sağlar. Bu ağ, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayımlanan sayısal verilerle tanımlanarak genel hatları ile 2005 yılına ait enerji dengesi "Temel Senaryo" olarak adlandırılmıştır.

Türkiye MARKAL modeli referans enerji sistemi, 2005 yılı verileri temel alınarak geniş bir enerji teknolojileri kümesini içerecek şekilde hizmet sektörleri bazında teknoloji seçenekleri artırılarak kurulmuş; teknoloji çeşitlendirilmesi uygulamasına ise özellikle ulaşım sektöründen başlanmıştır. Aşamalı olarak tüm sektörler ele alınarak incelenmiş ve bu sektörlerde kullanılan teknolojiler çeşitlendirilerek RES son haline getirilmiştir. Ancak bu durum yeni bir analizde daha da geliştirilerek ihtiyaç duyulan hale getirilebilir. RES alt sistemleri sektör bazında teknoloji veya talepler açısından eldeki verilere istinaden genişletilebilir.

4.3. Referans Enerji Sistemi

Türkiye MARKAL modeli kurulumu çalışmalarında ile etapta enerji taşıyıcıları ile hâlihazırda kullanılan ve gelecekte kullanıma girmesi muhtemel olarak değerlendirilen kaynak teknolojileri, işlem-çevrim teknolojileri ve talepler belirlenmiş; aralarındaki etkileşim ve pozisyonları Standart MARKAL hiyerarşisinde tanımlanarak RES olarak adlandırılan, kaynaktan son kullanıma kadar genel ve basitleştirilmiş bir enerji ağı Şekil 3'te tasarlanmış olan genel felsefeye uygun olarak kurulmuştur.

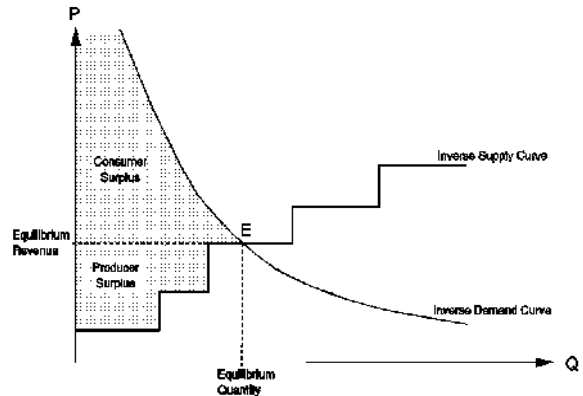


Şekil 3. Referans Enerji Sistemi [2].

4.4. Model Amaç Fonksiyonu

MARKAL'ın amaç fonksiyonu, ekonominin temel konularından arz-talep dengesi esas alınarak geliştirilmiştir. Serbest piyasadaki ürünlerin istek ve sunulan ürün miktarına göre ortaya çıkan ve "Denge Noktası" yani arz ve talep eğrilerinin kesiştiği nokta olan denge fiyatı model tarafından hesaplanan en önemli sonuç parametresidir.

Bu çerçevede, elektrik fiyat oluşumu sürecinde üreticinin marjinal maliyeti onun arz eğrisini tanımlar. Bütün üreticilerin arz eğrilerinin toplamı piyasa arz eğrisini oluşturur ve bu toplamdan dolayı nihai eğri bir merdiven görünümündedir. Sistemdeki kapasite tükenmekte iken arz daha fazla arttırılmayacağından eğri son noktasında dikey olarak yukarı çıkar. Diğer taraftan tüm tüketicilerin toplam talebini yansıtan bir talep eğrisi vardır. Elektrik talebinin fiyat değişimlerine duyarlılığı az (fiyat esnekliği düşük) olduğundan talep eğrisi Şekil 4' te olduğu gibi tipik olarak dik bir görünüm arz eder.



Şekil 4. Arz-Talep Eğrileri ve Denge Noktası [3].

Arz ve talep eğrilerinin kesiştiği nokta denge fiyatını verir. Eğer elektrik fiyatı serbest rekabetin gerektirdiği gibi arz talep dengelerine göre oluşmuyor ve denge fiyatının altında bir fiyat sabitlemesi varsa aradaki fark marjinal maliyeti denge fiyatından yüksek olan üreticilerin zararına karşılık gelecektir. İlgili üreticiler tesislerini kapatmak zorunda kalacak ve sistemde bu miktar kadar karşılanamayan talep olacaktır.

MARKAL enerji modelinde hedef fonksiyonu yıllık olarak gerçekleşen maliyetlerin toplamından ibarettir ve aşağıdaki şekilde gösterilebilir: [4]

$$NPV = \sum_{r=1}^R \sum_{t=1}^{NPER} \frac{NYRS^*(1-t)}{(1+d)^t} * ANNCOST(r, t) * \left((1+(1+d)^{-1} + (1+d)^{-2} + \dots + (1+d)^{1-NYRS} \right) \quad (1)$$

- NPV: sistemin tanımlanan bölgede net güncel maliyeti (MARKAL amaç fonksiyonu),
- ANNCOST(r,t): r bölgesinde, t periyodu için yıllık maliyet,
- NPER: planlama sürecindeki periyot sayısı,
- NYRS: her bir t periyodunda yıl sayısı, r bölge sayısını ifade eder. T değeri her periyotta 5 yıl olduğu için 5, r değeri de tüm Türkiye tek bir bölge olarak tanımlandığından 1 olarak belirlenmiştir.

ANNCOST(r,t) olarak ifade edilen toplam yıllık maliyet ise; tüm k teknolojilerinin, tüm d talep alanlarında, tüm p kirleticilerinin, tüm ithal edilen f yakıtlarının ve yıllık yatırım, sabit ve değişken teknoloji maliyetleri, yakıt dağıtım maliyetleri, enerji taşıyıcıların çıkartılması ve ithal maliyetleri de dahil olmak üzere yıllık işletme maliyetleri ile salımlara uygulanan vergiler ile talep kayıplarının toplamından ihraç edilen enerji taşıyıcı maliyetleri çıkartılarak hesaplanmaktadır.

Matematiksel olarak, ANNCOST(r,t) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir. Eşitlikte yer alan değişkenlerin anlamları kısaca şöyle verilebilir:

$$ANNCOST(r, t) = \sum_k \{ Annualized_Inv\ cost(r, t, k) * INV(r, t, k) + Fixom(r, t, k) * CAP(r, t, k) + Varom(r, t, k) * \sum_s ACT(r, t, k, s) + \sum_c [Deliv\ cost(r, t, k, c) * Input(r, t, k, c) * \sum_s ACT(r, t, k, s)] \} + \sum_{c,p} \{ Mining\ cost(r, t, c, l) * Mining(r, t, c, l) + Tradecost(r, t, c) * TRADE(r, t, c, s, i / e) + importprice(r, t, c, l) * import(r, t, c, l) - Exportprice(r, t, c, l) * Export(r, t, c, l) \} + \sum_p \{ Tax(r, t, p) * ENV(r, t, p) \} + \sum_d \{ DemandLoss(r, t, d) \}$$

- Annualized_Invcost: Teknolojilere yapılan yıllık yatırım,
- Fixom: Sabit işletme ve bakım maliyetleri,
- Varom : Değişken işletme ve bakım maliyetleri,
- Delivcost: Dağıtım maliyetleri,
- Miningcost: Maden çıkarma maliyetleri,
- Tradecost: Bölgelerarası ticaret maliyetleri,
- Importprice: İthalat maliyetleri,
- Exportprice: İhracat maliyetleri,

- Tax: Vergiler,
- Demand Loss: Talep azalması.

Çalışmaların başında MARKAL-Answer yazılımı bilgisayara kurulmuş, GAMS programının CPLEX optimizasyon programı ile uyumlu olarak çalışması ve sonuç vermesi sağlanmıştır. Türkiye'nin en genel anlamda referans enerji sistemi hazırlanmış olup veri güncelleştirmeleri ve ilaveleri ile Türkiye'nin enerji dengesi MARKAL programına ANSWER ara yüzü ile girilmiş ve işletilmiştir.

Temel senaryonun modelde çalıştırılması ile optimum sonuç alınmıştır. Bir başka deyişle; enerji sisteminde yer alan, arz ve talep toplamlarının lineer olarak çözümü sonucunda dengede olduğu, yani sisteme giren ülke kaynakları ile ithalat kalemlerinin; tüketim ve ihraç sonucunda ekonomi ve enerji açısından dengenin muhafaza edildiği görülmüştür.

5. Analiz Çalışmaları ve Modelde Kaydedilen Gelişmeler

Enerji sistem analizi ve modellemesi çalışmalarımıza öncelikle ülkemiz enerji sisteminin analiz ve modellemesi ile enerji teknoloji seçenekleri ile bu teknolojilerden salınan emisyonun modellenmesi ile başlanmış; daha sonra da arz tarafı, çevrim teknolojileri, son kullanıcı teknolojileri ve sektör odaklı olarak bu çalışmalara devam edilmiştir. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda yer almaktadır:

- Genel olarak enerji arz seçenekleri analiz edilmiş,
- Doğalgaz için özel bir referans enerji sistemi kurulmuş,
- Sanayi alt kollarında kullanılan enerji teknolojileri incelenmiş,
- Sanayi kollarındaki enerji talepleri analiz edilmiş,
- Konut ölçeğinde enerji sistem analizi ve modellemesi ile konutlardaki enerji taleplerinin belirlenmiş,
- Sivil hava taşımacılığı sektörü ve bu sektörde kullanılan teknolojiler,
- Deniz taşımacılığı sektörü ve bu sektörde kullanılan teknolojiler ile ayrıca genel olarak ulaştırma sektörü genel olarak modellenerek bu sektörde kullanılan teknolojiler incelenmiş,
- Tarım sektörümüz ve biyokütleden biyoyakıt üretimi modellenmiş,
- Ülkemizdeki enerji üretim sektörü ve çevrim teknolojileri modellenmiş,
- Ülkemizde yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretim tesisleri analiz edilerek modellenmiş,
- Ülkemizde güneş enerjisinden elektrik üretim tesisleri analiz edilerek modellenmiş,
- Ülkemizde rüzgar enerjisinden elektrik üretim tesisleri analiz edilerek modellenmiş,
- Örnek olarak seçilen bir binada merkezi ısıtma sistemi ve ayrıca konut ölçeğinde bir enerji sistemi modellenmiş,
- Örnek olarak seçilen bir endüstriyel besin işleme tesisi analiz edilerek modellenmiştir.

Son dönemde de şehir bazında yenilenebilir enerji üretiminin artırılması yönünde yol haritaları hazırlayabilmek amacıyla sürdürülebilir enerji eylem planlarının hazırlanması çalışmalarına birkaç farklı ölçeğinde devam edilmektedir.

6. Sonuç ve Öneriler

Hazırlanan stratejik planlarda; özellikle enerji konulu çalışmalar ve kalkınma planlarında öncelikle plan dönemine ait durum tespiti yapılmakta ve karar-destek araçları ile geleceğe yönelik projeksiyonlarla ekonomik, çevresel ve teknolojik öngörü ve önerilerde bulunmaktadır.

Enerji sektöründe geleceğe yönelik olarak enerji talep tahminleri, üretim kapasitesi artışı, teknoloji veya alternatif yakıt seçim süreçlerinde ise ülke ölçeğinde çok karmaşık bir problem ile ilgilenildiği için kendine özel parametreleri içeren ve probleme katkıda bulunan tüm alan/sektör sabit ve değişkenlerinin tanımlanabileceği bir platforma ihtiyaç duyulmaktadır. Geleceğe yönelik yapılan bu çalışmaların sadece günümüz koşulları, trendleri ve kısıtlarına bağlı olarak yönlendirilmesi "Business as Usual" (BAU) olarak bilinen uygulanagelen olağan senaryoların dışına çıkamamamıza sebep olacak, bununla birlikte muhtemel diğer alternatiflerin de ele alınarak incelenmesi, alternatif hal tarzlarının belirlenerek uygulanabilecek politika enstrümanlarının çeşitlendirilmesine olanak sağlayacaktır. Tabi ki bu alternatif senaryoların, farz edilen durumu o koşullara özel veriler ve tüm seçenekleri ile en iyi şekilde tanımlaması gerekir.

Enerji konusu sadece ısı ve elektrik gibi yaygın olarak ihtiyaçlarımızı karşılarken kullandığımız iki formun üretim ve tüketiminden ibaret olmayıp, arz ve talep kanatlarını içeren bir sistem olarak ele alındığında; derinlemesine bir ekonomik ve çevresel analiz gerektirmektedir. Çünkü teknik veya ekonomik olarak bu problemler kâğıt üzerinde halledilmiş olsa bile; politik bir gelişme tüm bu hesapları bir anda geçersiz kılabilir. Bu açıdan bakıldığında enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi süreci de enerji arz güvenliği açısından önemlidir.

Enerji arz güvenliğinin sağlanması temel maksadı ile hazırlanan strateji belgelerinde ortaya konan hedeflere yönelik stratejilerin öncelikle özdeğerler kullanılarak geliştirilmesi için de her bir hedefe yönelik stratejilerin detaylı olarak çalışılıp belirlenerek bir eylem planı halinde ortaya konulması gerekmektedir.

Bu maksatla, genel olarak ülke ölçeğinde veya yerel yönetimler, yani belediye ölçeğindeki bir enerji sisteminin hem arz, hem de talep tarafında geliştirilen ileriye yönelik projeksiyonlar ile teknolojik, ekonomik ve çevresel açılardan detaylı olarak analiz edilebileceği entegre bir model geliştirilmesi ve mevcut durum ve muhtemel alternatif senaryoların incelenerek değerlendirilmesi gerekir. Stratejik planlama için uzun vadeli projeksiyonlar da bu çalışma sonuçlarına göre şekillendirilebilir.

Enerji, ekonomi ve çevresel yönleri ile sistemin en maliyet-etkin çözümü verecek şekilde optimize edilebilmesi maksadıyla her ülke için böyle bir planlamada kullanılabilecek karar destek temelli yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Bu tür çalışmalarda esas amaç, ülkemiz için bu maksatla kullanılabilecek entegre bir model ortaya koymaktır. Meselenin ekonomik, teknik ve çevresel yönlerini mühendislik bakış açısı ile ele alarak inceleyen bütüncül bir yaklaşımla, uzun vadeli sürdürülebilir çözümlere ulaşılabileceği unutulmamalıdır.

Referanslar

- [1] Uluslararası Enerji Ajansı ürün sitesi, <https://www.iea.org/publications/> (Erişim tarihi: 20 Eylül 2017).
- [2] A Native Energy Decision Model for Turkey, Sulukan E., ISBN:978-3-319-45659-1, Bölüm Sayfaları:167 - 179, Springer International, 2017.
- [3] G. Tosato, New Directions In Energy Modeling, Summary of Annex V (1993-1995), April 1997, ETSAP-97-1, <http://www.etsap.org/annex5/main.html>, 2010.
- [4] R. Loulou, G. Goldstein, K. Noble, "Standart MARKAL User Manual", Volume-I, "MARKAL MACRO User Manual", Volume-II, "MARKAL (SAGE) User Manual", Volume-III, <http://www.etsap.org/documentation.asp> (2004).

Mevcut Şebekeler ve Geleceğin Teknolojisi Akıllı Şebekelerin Karşılaştırılması

Comparison of Traditional Grid With Smart Grid Technology of The Future

Ahmet Batuhan ÜNSAL¹, Ozan GÖK¹, Prof. Dr. Nurettin UMURKAN²

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Müh. ABD Elektrik Tesisleri Yüksek Lisans Programı
Yıldız Teknik Üniversitesi

²Elektrik Elektrik Fakültesi Fakülte Dekanlığı
Yıldız Teknik Üniversitesi

batuhanunsal@outlook.com, ozan.gok@emo.org.tr, umurkan@yildiz.edu.tr

Özet

Günümüzdeki nüfus artışına bağlı olarak enerji ihtiyacı artmakta ve bu enerji ihtiyacının mevcut şebeke ile karşılanması durumunda sistem güvenilirliği azalmakta, CO₂ salınımı artmaktadır. Mevcut şebekenin akıllı sensör teknolojileri ile donatılıp gelişmiş kontrol ve haberleşme metodlarının entegrasyonu ile akıllı şebeke konseptine dönüştürülmesi sonucu bu sorunlar azaltılacaktır. [1]

Günümüzde artan enerji talebinin dünya çapında yüzde seksene yakını [2] ve Türkiye’de seksen dokuzuna yakını [3] fosil yakıtlarla sağlanmaktadır. Akıllı şebekelerle beraber yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye daha efektif bir şekilde dâhil olmasıyla sera gazı üreten fosil yakıtların kullanımı azalacaktır. Bu sayede çağımızın en büyük sorunlarından biri haline gelmeye başlayan küresel ısınmanın önüne geçilmesi planlanmaktadır.

Akıllı şebekelerle beraber pik zamanlarda oluşan şebeke zararları azaltılacak, tüketici bilinci ve tüketicinin sisteme pozitif etkisi arttırılacak, oluşabilecek kontrolsüz enerji kesintileri ve sistem arızaları önceden tespit edilip gerekli önlemler alınabilecektir. Bu yaklaşımlarla birlikte bu çalışmada akıllı şebekelerin getirdiği yenilikleri mevcut şebekeden üstünlüklerini altyapı sistemleri, koruma sistemleri, yönetim sistemleri başlıklarında inceleyeceğiz.

Anahtar kelimeler: akıllı şebekeler, CO₂ emisyonu, enerji verimliliği, sistem koruması, yenilenebilir enerji

Abstract

Energy demand increases due to population growth in our day, and this demand cause to system reliability decreases while the CO₂ emission increases on the traditional grid. However, conversion of the traditional grid into smart grid by smart sensor technologies, advanced control and communication methods will optimize these problems [1].

Today, eighty percent of the energy demand of the world [2] and eighty-nine percent of Turkey's [3] are furnished

through fossil fuels. The use of fossil fuels producing greenhouse gases will be reduced when renewable energy sources are included in the grid in addition to the smart grids in a more effective way. In this way, it is planned to prevent global warming which has started to become one of the biggest problems of our time.

The study investigates the advantages of smart grid over traditional grid in the topics of infrastructure systems, protection systems, management systems.

Keywords: smart grid, CO₂ emissions, energy efficiency, system protection, renewable energy

1. Akıllı Şebekeler

Günümüzdeki nüfus artışına ve teknoloji kullanımına bağlı olarak enerji ihtiyacı devamlı olarak yükselmektedir. Bu talebin merkezi sistemle karşılanması hem üretim hem de işletme kapasitesinin artırılması ile mümkündür. Kapasite artırımına yönelik yapılacak yatırımlar için büyük meblağlar ve fazlaca zaman gerekmesi nedeniyle günümüzde geleneksel yöntemler verimli çözümler olarak görülmemektedir. Ancak günümüzdeki şebekenin bu ihtiyacı karşılaması gelişen teknoloji ürünlerinden faydalanarak, gelişmiş kontrol ve haberleşme metodlarının alternatif enerji kaynaklarının daha etkin kullanıldığı bir şebeke modeli ile mümkündür. Biz bu modernize şebeke modeline akıllı şebeke (smart grid) demekteyiz [4-6]. Bu tanım Amerikan Enerji Bakanlığına göre; Akıllı şebeke tanımının genel olarak insanların 21.yy' da elektrik dağıtım sistemlerinin uzaktan kontrol ve otomasyon tabanlı olmasına verdikleri addır. Bu sistemler çift taraflı dijital haberleşmeyi ve bilgisayar tabanlı veri işlemeyi endüstrinin diğer alanlarında hali hazırda kullanılmaktadırlar. Bu sistemlerin enerji santrallerinden tutun da rüzgar çiftliklerine kadar bütün enerji üretim noktalarında kullanılmaya başlanması beklenmektedir. Bu gelişmeler servis sağlayıcılarına, iş yerlerine, ev kullanıcılarına kadar faydalar sağlayacaktır. Bu faydaların en önemlileri de enerji verimliliği ve güvenilirlik olacaktır [7].



Şekil 1.1 Akıllı Şebeke Tanımı

1.1. Akıllı Şebekeyi Oluşturan Yapı Elemanları

Mevcut şebeke ile akıllı şebeke arasındaki farklar aşağıdaki gibi belirli başlıklar altında toplanmıştır.

Çizelge 1. 1 Mevcut Şebeke ve Akıllı Şebeke Farkları

Mevcut Şebeke	Akıllı Şebeke
Elektromekanik	Dijital
Tek yönlü veri akışı	Çift yönlü veri akışı
Merkezi enerji üretimi ağırlıklı	Dağıtık enerji üretimine dayalı (YES'ler ile)
Az sensör	Şebeke sensörler aracılığı ile çalışıyor
Manuel arıza tespiti	Otomatik arıza tespiti
Manuel arıza çözümü	Kendi kendini iyileştirebilen
Hatalarla ve kesintilerle dolu	Adapte olan ve ada modunda çalışabilen
Limitli kontrol	Her yöne yayılmış kontrol
Kullanıcının çok az söz sahibi olduğu	Kullanıcının da ekosistemde söz hakkı olduğu

Ayrıca NIST (National Institute of Standards and Technology)'in bir akıllı şebeke de bulunması gereken gereksinimler ve faydaları akıllı şebeke konseptini anlamamızda fazlasıyla yardımcı olacaktır. Bunlar aşağıdaki gibidir[8];

- 1) Güç kalitesinin ve güvenilirliğinin geliştirilmesi;
- 2) Enerji üretim tesislerini optimize etme ve pik yükler için enerji santrali kurmaktan kaçınmak;
- 3) Mevcut şebekenin enerji verimliliğini ve kapasitesini artırma;
- 4) Bozulmalara karşı çabuk iyileşme özelliği;
- 5) Sistem bozulmalarına karşı önlem olarak kendini iyileştirme özelliği kazanma ve bakım zamanları için tahmin verebilme;
- 6) Yenilenebilir enerji kaynaklarının geniş bir şekilde dağıtımının kolaylaştırılması;
- 7) Dağıtık güç kaynaklarının bulunması;
- 8) Otomatik bakım ve operasyon;
- 9) Elektrikli araçlar ve yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke entegrasyonu ile sera gazı emisyonlarının azaltılması;
- 10) Pik zamanlardaki ihtiyacı karşılama için üretilen verimsiz enerjinin azalması ile fosil yakıt tüketiminde azalması;
- 11) Mevcut şebeke güvenilirliğini arttırmak için fırsatlar sunması;
- 12) PHEV, BEV gibi elektrikli araç türlerine geçişin altyapısını sağlaması ve yeni enerji depolama yöntemlerine geçişi sağlaması;
- 13) Müşterinin ekosistemde söz hakkı ve seçim şansı olması;
- 14) Yeni ürünler, yeni iş alanları ve yeni piyasalar yaratması.

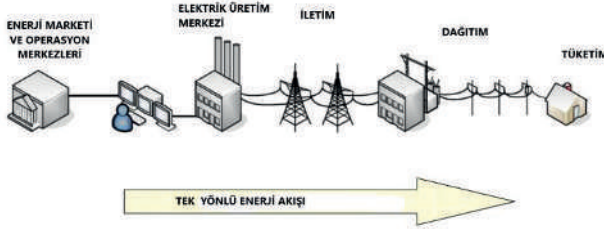
Bütün bu tanımlara ve açıklara istinaden akıllı şebekeyi oluşturan teknoloji elemanlarını 3 ana parçaya ayırabiliriz.

Bunlar akıllı altyapı sistemleri, akıllı koruma sistemleri ve akıllı yönetim sistemleridir[34].

1.1.1. Altyapı Sistemleri

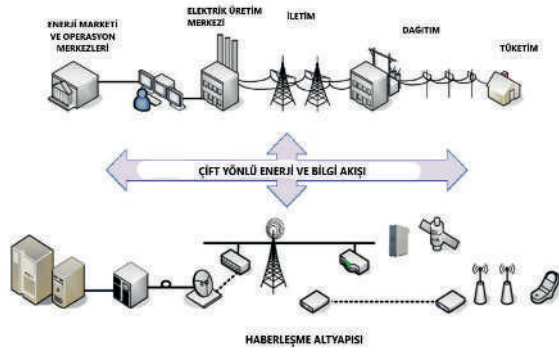
Akıllı altyapı sistemlerinin temelinde akıllı şebekedeki 2 yönlü enerji ve bilgi akışı bulunmaktadır. Akıllı şebekeyi geleneksel şebekelerden ayıran en önemli özelliği belki de 2 yönlü enerji ve bilgi akışıdır.

Aşağıdaki geleneksel şebekeyi tarif eden (şekil 1.2) şekilden de görebileceğiniz gibi geleneksel şebekede yük ve bilgi akışı tek yönlü olarak tasarlanmış ve varlığını bu şekilde sürdürmüştür. Elektrik enerjisi santrallerde üretilmiş iletim hatları ile beraber dağıtıcı şebekeye taşınmış ve bu dağıtıcı şebekeden de son kullanıcıya ulaştırılmış bir tek yönlü veri ve bilgi akışı bulunmaktadır.



Şekil 1.2 Geleneksel Şebeke

Akıllı şebekelerde ise son kullanıcılar aynı zamanda şebeke için hem yük hem de elektrik enerjisi üretilen şebekeye veren bir üretim noktası olabilirler. Örneğin, güneş panelleri ile ürettiği enerjiyi şebekeye satabilir, elektrikli araçlar sayesinde enerji talebinin en yüksek olduğu zamanlarda araçların bataryalarından faydalanıp şebekedeki pik yük ihtiyacı giderilmesine yardımcı olabilir (peak shaving). Ayrıca bu geri besleme enerji akışı mikro şebekeler (ada beslemesi) için de çok önemli bir unsurdur [9-10].



Şekil 1.3 Akıllı Şebeke

Bu akıllı enerji altyapı sistemlerini de 3 alt başlık ile tanımlayabiliriz. Bunlar akıllı enerji üretim sistemleri, bilgi sistemleri, haberleşme sistemleridir.

Akıllı enerji üretim sistemlerini elektriğin üretilmesi, iletimi, dağıtılması ve bu gruba yeni dahil olan mikro şebekeler olarak tanımlayabiliriz.

1.1.1.1 Enerji Üretim Sistemleri

Akıllı enerji üretim sistemlerini elektriğin üretilmesi, iletimi, dağıtılması ve bu gruba yeni dahil olan mikro şebekeler olarak tanımlayacağız.

Elektrik enerjisinin üretilmesi geleneksel şebekede merkezi üretim santrallerinde yapılır. Bu merkezi santraller hidroelektrik, termik veya nükleer santraller gibi yerleşim

yerlerine uzak kurulması gereken lokasyonlarda bulunurlar. Bu santrallerde üretilen enerji yüksek gerilim hatları ile beraber dağıtıcı merkezlerine taşınır. Bu dağıtıcı merkezlerinde gerilim son kullanıcı ihtiyacına göre düzenlenir ve dağıtımı gerçekleştirilir. Bu elektrik enerjisinin son kullanıcıya ulaşmasındaki uzun süreç yüksek enerji kayıplarına, gerilim düşümlerine sebep olur. Akıllı enerji üretim sistemlerinde ise dağıtım merkezlerine direk bağlanabilen rüzgar çiftlikleri, solar enerji tarlaları sayesinde enerji üretimi tüketicilere daha yakın olabileme imkanına sahip olup enerji kayıpları azaltılmakta ve enerji verimliliği arttırılmaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının bu kadar aktif rol oynaması ile ana şebeke içinde küçük küçük bağımsız bölgeler yaratılabilecek ve mikro şebeke dediğimiz gerekirse ana şebeke bağlantısından kendini izole edip kendi bulunduğu belgeyi besleyebilecek şebekeler oluşturma imkanı sağlanacaktır. Bu da ana şebekede bir arıza olduğunda dahi bu mikroşebekelerin kendilerini izole edip enerji kesintisini son tüketiciye yansıtmadan çalışmaya devam edebilmelerini sağlayacaktır [11-13].

Akıllı enerji altyapı sistemleri sayesinde V2G (vehicle to grid) yani elektrikli araçların bataryalarında şebekeye enerji akışı da mümkün olacaktır. Bu sayede elektrik araçlar şebeke için mobil bir yük oldukları kadar aynı zamanda mobil bir enerji kaynağı da olacaklardır. Şebekenin pik zamanlarında gereken enerjiyi elektrikli araçlar üzerinden de karşılamasına olanak sağlayacaktır. [14-17]

1.1.1.2 Bilgi Toplama Sistemleri

Akıllı bilgi sistemlerinden kasıt ise akıllı elektronik sensörler, akıllı sayaçlar(AMI) ve fazör ölçüm sistemleridir (PMU).

Akıllı sayaçlar akıllı şebeke konseptinde yer alan en önemli elemanlardan biridir. Akıllı şebekenin en önemli elemanlarından biri olmasının sebebi şebekenin son kullanıcıdan anlık enerji bilgilerini alan eleman olmasıdır. Akıllı sayaçlar da kendi içlerinde 2'ye ayrılmaktadırlar. AMR (Advanced Metering Reading) ve AMI (Advanced Metering Infrastructure)'dir. AMR tipi sayaçlar son kullanıcının enerji tüketimlerinin, arıza durumunu ve kullanıcının faturalandırma, bilgilerini tek yönlü bilgi akışı ile genel merkeze göndermesini sağlayan cihazlardır.

AMR öncesi güç kullanımı ödemeleri belirli periyotlarda tüketilen güç değeri toplamına bakılarak yapıyordu. AMR sonrası ise dah sıkı enerji takibi ve gerçek zamanlı enerji fiyatlandırması ile daha doğru bir faturalandırma yapılmaktadır. Örneğin; Eski tip sayaçlarda kullanıcının bir ay boyunca tükettiği enerji toplamı dikkate alınır ve bu tüketim toplam miktarı enerji servis sağlayıcısının kWh başına belirlemiş olduğu birim enerji fiyatı ile çarpılarak kullanıcının faturası belirlenmiş olurdu.

01 Haziran 2016 tarihindeki sayaçta yazan 083539 kWh

01 Temmuz 2016 tarihli sayaçta yazan değer 084571 kWh

Kullanıcının 1ayda tükettiği toplam enerji miktarı 084571 – 083539 = 1032 kWh

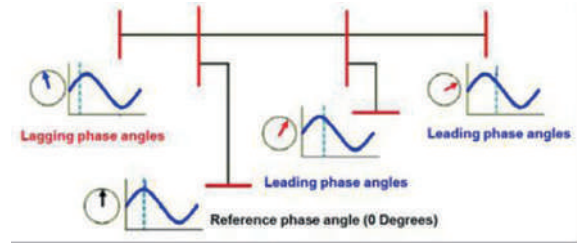
Fatura tutarı = 1032kWh x 0,20 kuruş/kWh = 206,4 TL

Yeni akıllı sayaç tiplerinde, kullanıcının anlık tüketimlerinde gerçek zamanlı takip edilebildiği için ve şebekedeki toplam yük miktarına göre anlık fiyatlandırma yapıp, kullanıcının alışkanlıklarını pik zamandan şebeke için daha uygun bir zamana teşviklerle yönlendirebildiği için yüksek faturalar yerine daha uygun faturalar gelmesine ve kullanıcıyı enerji tüketimi konusunda bilinçlendirmeyi sağlamıştır. Akıllı sayaçta örnek olarak minimum her saat gerçek zamanlı fiyatlandırma yapıldığını baz alırsak toplam 1 aylık tüketim için toplanan tüketim değeri = 30 gün x 24 saat = 720 birim veri aylık faturayı oluşturmak için toplanır.

Akıllı şebekelerinin olmazsa olmaz aktörlerinden biri de akıllı sensörlerdir. Bu sensörler sayesinde şebekede meydana gelebilecek gerçek zamanlı mekaniksel ve elektriksel hataları tespit edebiliriz. Şebekedeki hataları gerçek zamanlı tespit etmeye yararlar. Özellikle iletim hatlarının uzaktan izlenmesi için gereklidirler. Herhangi bir arıza olmadan veya arıza anında şebeke operatörlerini yönlendirebilmelidir. Bu sensörler birbirleri ve şebeke kontrol merkezleri ile haberleşmeleri oldukça önemlidir. Bu sensörler için en önemli kriterler çalışacakları ortama uygun seçilmiş olmaları ve şebekeye gömülü olmaları gerektirir[18-19].

Fazör ölçüm sistemleri (PMU) şebekenin sağlık durumunu an ve an kontrol eden bir akıllı izleme ve kontrol yöntemidir. PMU' lar şebekedeki elektriğin dalgasının boyunu ve faz açısını ölçerler. Biz buna aynı zamanda senkrofazör ölçümü olarak da adlandırırız. PMU verileri şebekenin birbirinden farklı noktalarından global konumlandırma sisteminin (GPS) saati baz alınarak kontrol edilir. Son yıllarda şebekenin durumunu anlamak için kullanılan önemli bir ölçüm sistemlerinden biri haline gelmiştir [20-21]. PMU'yu kısaca büyük bir bölgeyi GPS bazlı bir şekilde anlık faz açısı ve profillerinin fotoğraflarını çeken ve bu fotoğraflardan gecikmeleri ve anlık durumları yakalayan bir kontrol mekanizması olarak da tanımlayabiliriz.

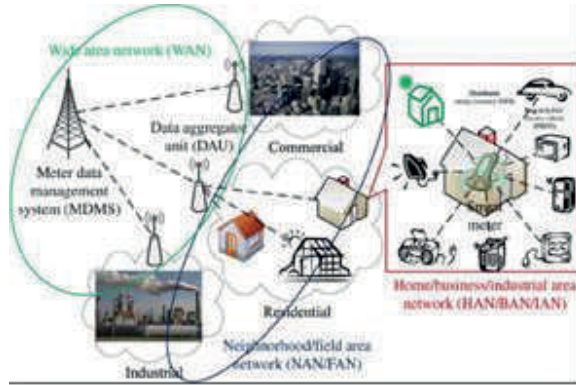
Akıllı şebekeleri oluşturan elemanların hepsi birbiri ile iletişim ve etkileşim halinde bir zincirinin parçaları gibi birbirine bağlı olarak hareket etmektedirler.



Şekil 1.4 PMU

1.1.1.3 Haberleşme Mimarisi ve Teknolojileri

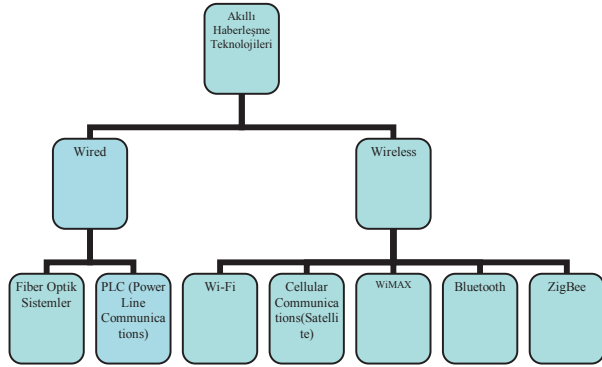
Akıllı şebeke haberleşme mimarilerini 7 maddede aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.



Şekil 1.5 Haberleşme Mimarileri

- 1) Wide Area Networks (WANs): Farklı iletişim olanaklarını birbirine bağlayan Geniş Alan Ağları (WAN'lar) bir ülkenin bölümleri veya kamu hizmetleri olarak kullanılırlar
- 2) Local Area Networks (LAN): Sadece tek bir kişisel alanda kullanılabilir. Diğer ağlar kapsadıkları coğrafi bölgeye göre sınıflandırılmaları gerekirken LAN'da bu farklıdır çünkü LAN uçtan uca iletişim sağlar. Ayrıca herhangi bir ara anahtarlar noktasına gerek duymadan noktadan noktaya ve ya noktadan çok noktalı bir haberleşme becerisi sağlar. LAN'ın bir diğer özelliği de yüksek veri hızını çok düşük gecikmeler ile sağlamasıdır.
- 3) Metropolitan Area Network (MAN): Metropolitan alan ağı LAN'dan çok daha büyük coğrafi alanlara hizmet verilebilmesi için tasarlanmıştır. MAN' lar yüksek verileri lokal ağlar gibi iletebilirler. Bir MAN'a bir kuruluş veya şirket sahip olup kullanılabilir ve ilgili servis sağlayıcı tarafından işletilebilir. Fakat şu anda birden fazla kuruluşun ve şirketin sahip olduğu MAN örnekleri mevcuttur.
- 4) Building Area Network (BAN): Bina alan ağı şebekenin binalarla iletişim kurması için gereklidir. Örnek verecek olursak katlardaki haberleşme ağına BAN dersek bütün katlar birbirleri ile LAN üzerinden iletişim halinde olurlar.
- 5) Home Area Networks (HAN): Müstaki evler için kullanılır. Evin bir LAN olarak yapılandırılmış olması gerekir.
- 6) Neighborhood Area Networks (NANs): Komşu alan ağları birçok HAN sisteminin bilgi paylaşımı için bir araya gelmesi ile oluşur. NAN birçok HAN sisteminden veri toplar ve bu HAN'ları yönetir.

7) Industrial Area Networks (IANs): Endüstriyel alan ağları endüstriyel uygulama için kullanılıp LAN yapısına benzerler [22-24].



Şekil 1.6 Haberleşme Mimarileri

Akıllı haberleşme teknolojilerinden özellikle en fazla üzerinde durulanlar kablosuz teknolojilerden WiMAX, ZigBee, Wi-Fi olup kablolu teknolojilerden ise PLC teknolojisidir.

Kabloların ulaşamayacağı yerlere ulaşır fakat genellikle veri aktarım hızı kablolu haberleşme ile kıyaslandığında düşüktür. Ayrıca çok geniş bir veri iletimi mesafesi bulunmamaktadır. Genellikle HAN ve NAN ağlarındaki veri alış verişi için kullanılır.

ZigBee'nin uzun pil ömrüne, düşük maliyete ve istenen şekilde ağlar kurabilmeye olanak versede yüksek boyutta veri alış verişi için Bluetooth ya da WiMAX gibi uygun bir yapısı bulunmaz. Çok küçük boyut gerektiren veri akışı uygulamalarında kullanılabilir. Akıllı Şebekeden kabul edilen HAN alanları için uygundur [25-29].

Güç hattı haberleşme (PLC) sistemleri, fiber optik kablo ve hızlı veri iletişiminin tüm avantajlarını kablosuz iletişim yöntemlerinin güvenliği ile birlikte içerir. PLC enerji hatları üzerinden bilgi alış verişini sağlar. Buradaki iletişim, yalnızca internet bağlantısını değil, aynı zamanda güç hattına ağa bağlı olan her cihazın da bilgi alışverişini ifade eder. PLC aynı zamanda şebekedeki aktif ve pasif dağıtım hatlarında kontrol edebilir. Bu özellik herhangi bir iletişim altyapısının olmadığı alanlarda bulunan trafo merkezleri için çok önemlidir. PLC teknolojisi genellikle orta ve alçak gerilim hatlarındaki verilerin haberleşme sistemi olarak kullanılır. PLC ayrıca elektrik servis sağlayıcıları tarafından uzaktan ölçüm için kullanılır. PLC, mevcut kablolamada kullanılabilirliği olduğundan dolayı HAN ve NAN'da kullanım için uygundur [30-32].

1.1.2. Akıllı Yönetim Sistemleri

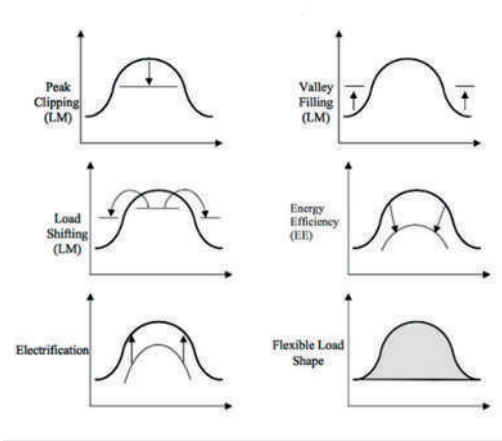
Akıllı Şebekeler'de enerji verimliliğini artırma, işletme maliyet düşürme, talep ve arz dengesi oluşumu, emisyon kontrolü ve fayda maksimizasyonu gibi çeşitli işlevleri ve yönetim hedeflerini gerçekleştiriminin temelini iki yönlü elektrik ve veri akışları oluşturmaktadır.

Akıllı şebekeler de enerji yönetimi denildiği zaman için ilk akla gelen en önemli konu demand side management (talep tarafı yönetimi)' dir. Talep Tarafı Yönetimi son kullanıcının

enerji kullanımını, dağıtım şirketlerinin belirlediği programlarla yük değişimi yoluna giderek şekillendirilmesidir. Bunu yapmanın 2 adet ana yolu bulunmaktadır. Bunlar enerji verimliliği ve talep cevabı (demand response)'dir.

Enerji verimliliği için yapılan yatırımlar ve bunların getirileri zamana bağlı değildir. Şebekeye katkıları kalıcı ve değişmez olup özellikle son kullanıcı tarafında kullanılan cihazların son teknoloji ile enerji kullanımlarının optimizasyonu sayesinde gerçekleştirilir.

DSM'nin başlıca avantajı, bir yükü şebekenin durumuna göre kontrol etmek, yeni bir santral kurmak veya enerji depolama birimi kurmaktan daha az maliyetli olmasıdır [33-34].



Şekil 1.7 Talep Tarafı Yönetimi Sonucu Beklenen Yük Değişim Tipleri

Talep tarafı yönetimi talep cevabı (demand response) yöntemiyle gerçekleştirilir.

ABD Enerji Bakanlığına göre talep cevabı; son kullanıcıların elektrik kullanımlarını ve elektrik kullanım alışkanlıklarını elektrik birim fiyatını pik zamanlarda yükseltmek ve ya çeşitli teşvikler getirerek insanların pik zamanlarda ki sistem güvenilirliğini azaltacak derecede ki enerji kullanımlarını azaltmaktır [35].

Kullanım amacı konulardaki enerji tüketimini azaltmak değildir. Üretimin ve iletimin verimliliğini ve faydasını arttırmak, son kullanıcı için fiyatları azaltmaktır. Ayrıca yeni fiyatlandırma teşviki ve yeni tarifeler ile son kullanıcı için fiyatları azaltırken aynı zamanda enerji farkındalığını ve sorumluluk bilincini artırarak gerçekleştirir.

Son kullanıcı otomasyon kullanımı ile sisteme katılabilir. Bu katılım aktif yada pasif bir şekilde gerçekleştirilir [36].

Talep Cevabı Programları 2 ana kolda sınıflandırılabilir;

- Teşvik bazlı programlar
 - Klasik yük kontrolü
 - Direk yük kontrolü (direct load control)
 - Kesilebilir/esnek yük kontrolü (flexible load control)
 - Market Tabanlı
 - Talep teklif verme/geri satın alma (demand bidding/buy back)
 - Acil talep cevabı(emergency demand response)
 - Enerji market kapasitesi (capacity market)
 - Yardımcı hizmetler enerji marketi
- Fiyat tabanlı programlar
 - Kullanım zamanı programı (Time of Use-TOU)
 - Kritik pik fiyatlandırma programı (Critical Peak Pricing-CPP)
 - Beklenmedik gün kritik pik fiyatlandırma (Extreme day CPP)
 - Beklenmedik gün fiyatlandırması (Extreme Day Pricing-EDP)
 - Gerçek zamanlı fiyatlandırma (Real Time Pricing-RTP)

Özellikle bu yöntemlerden teşvik tabanlı programların öne çıktığını elektrik dağıtım firmalarının teşvik tabanlı programlara şu an için daha fazla öncelik verdikleri görülmektedir. Elektrikli araçların şarj edilmesinde kullanım zamanı programı (TOU) oldukça avantajlı bir fiyat tabanlı program olarak yer alacaktır [34,37-38].

1.1.3. Akıllı Koruma Sistemleri

Akıllı şebekeler'deki akıllı koruma sistemi, kullanıcı hataları, ekipman arızaları ve doğal afetler nedeniyle şebeke altyapısına gelen zararları değil aynı zamanda endüstriyel casuslardan ve siber teröristlerden gelen kasıtlı siber saldırıları da ele almalıdır.

Akıllı koruma sistemlerini sistem güvenliği, hata teşhisi ve hata düzeltme konuları ile inceleyeceğiz.

1.1.3.1 Sistem Güvenilirliği

Güvenilirlik, bir bileşenin veya sistemin belirtilen koşullar altında belirli bir süre için gerekli fonksiyonları yerine getirme yeteneğidir. Sistem güvenilirliği, elektrik hattı tasarımında önemli bir konudur. Günümüzde mevcut şebekenin güvenilirliğinin üst seviyelerde olduğu söylenmesine rağmen gerek enerji politikaları gerekse sistem arızaları sebebiyle enerji kesintileri planlı veya plansız olarak devam etmektedir. Bu çok büyük kayıplara sebep olabilmektedir.

Dijital röleler günümüz akıllı şebekelerindeki ana koruma bileşenlerinden biridir. Dijital rölelerdeki son teknolojik gelişmeler bu akıllı cihazların önemi artırmıştır. Biz bu akıllı dijital rölelerin oluşturduğu gruba akıllı elektronik cihazlar (IED'ler) olarak tanımlıyoruz Bu akıllı elektronik cihazlar

(IED'ler) koruma, ölçme, otomasyon ve hata kaydı gibi farklı işlemleri gerçekleştirebilirler[39].

Bir akıllı şebeke'nin güvenilirliği ve kararlılığı bu şebekenin güvenilirliğini ve kararlılığını izlemek için kullanılan ölçüm sisteminin güvenilirliğine de bağlıdır. Son zamanlarda, fazör ölçüm birimlerine (PMU'lar) dayalı geniş alan ölçüm sistemi (WAMS), akıllı şebeke'deki izleme, kontrol ve koruma işlevleri için önemli bir nokta haline gelmiştir [40-42].

1.1.3.2 Hata Teşhisi, Hata Düzeltme

Elektrik şebekesinde herhangi bir noktada hata meydana geldiğinde yapılması gereken ilk adımlar hatanın lokasyon bilgisi tespit etmek, hatanın tanımını koymak ve hatanın diğer hatalara yol açarak şebekede domino etkisine yol açmadan hatanın lokasyonuna bağlı olarak hata bölgesinin şebekeden izole edilmesi gerekmektedir.

Akıllı şebekenin kendi kendini iyileştirme yeteneği NIST'in akıllı şebekede beklediği önemli karakteristiklerden biridir [43].

Sistemin yeniden yapılandırılmasını uygun bir şekilde kontrol ederek, bozuklukların veya arızaların etkileri adalarda sınırlandırılabilir veya izole edilebilir. Şebekeye domino etkisi ve daha fazla sistem hatası bu sayede engellenebilir. Bu özellik ile sistemin restorasyon hızı artacağı gibi, genel verimliliği de arttırılabilir [44].

2. Dünyadaki Gelişmeler

2.1. ABD'de Akıllı Şebeke Hakkındaki Gelişmeler

Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) akıllı şebekelerin başlangıcı 2007 yılında Enerji Bağımsızlığı Yasası ile yapılan düzenlemelerle olmuştur. ABD'de bu konudaki çalışmalara federal devlete bağlı olan enerji departmanı (US DOE) öncülük etmektedir. DOE 2009 yılında Smart Grid Investment Grant (SGIG) programını duyurmuştur. Bu programa 2010 yılında başlayıp 2015 yılın sonlarında program başarıyla tamamlanmıştır. SGIG programı hakkında bazı sayısal veriler aşağıdaki gibidir.

- Proje süresi boyunca toplam yatırım 7.9 milyar dolardır. Bu tutarın 3.4 milyar doları federal devlet tarafından kalan 4.5 milyar dolarıda özel sermaye tarafından karşılanmıştır.
- 7.9 Milyar yatırım tutarının 507 milyon doları iletim şebekesinin modernizasyonu için, 780 milyon dolarıda son kullanıcı sistemleri için, 2.19 milyar doları da dağıtım şebekesinin modernizasyonu için ve son olarak 4.44 milyar dolar ileri derecede gelişmiş akıllı sayaç kuruluşu (AMI) için harcanmıştır.
- Bu büyük proje kapsamında 99 adet alt proje tamamlanmış olup bu projeye 228 organizasyon ve kuruluş katılımcı olarak yer almıştır.
- Bu proje kapsamında elektrik dağıtım şebekesine 82,000 akıllı otonom cihaz, iletim hattına 1380 şebeke senkrofazör yardımcısı, 700,000 müşteriye özel cihaz ve

16 milyondan fazla akıllı sayaç mevcut şebeke modernizasyonu için entegre edilmiştir [45-46].

2.2. AB Ülkelerindeki Akıllı Şebeke Hakkındaki Gelişmeler

Avrupa Komisyonu Enerji Birliği Başkan Vekili Maros Sefcovic akıllı şebekeler projesinin önemini “Akıllı şebekeler, Avrupa’nın kaya gazı projesi olmalıdır. Amerika Birleşik Devletleri kaya gazı projeleri ile enerjide rekabeti nasıl güçlendiriyorsa, Avrupa’da akıllı şebekeler ile enerji sektöründe rekabet avantajı sağlamalıdır.” sözleriyle belirtmiştir.

İtalya bu konuda AB ülkeleri arasında bu konuda öncü ülke olarak kabul edilmektedir. 2001 yılında akıllı şebekeler çok az kişi tarafından bilinen bir söz öbeği iken, Telegestore projesi ile Enel firması 40 milyon kullanıcıya akıllı ölçüm cihazlarını sunan dünyadaki ilk şirket olmuştur. Bugün itibarıyla sadece Enel firmasının Telegestore projesi için yaptığı yatırım yaklaşık olarak 2.1 milyar Euro civarındadır. Bugün itibarıyla bu proje sayesinde İtalya’da yaklaşık 38 milyondan fazla akıllı sayaç şebekeye entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Şirketin planlarında 2016-2019 yılları arasında 30 milyon akıllı sayacı şebekeye entegre etmek yer almaktadır.

Almanya’da ise akıllı şebekeler konusundaki çalışmayı Almanya enerji ajansı (DENA) yürütmektedir. DENA’nın yürüttüğü projedeki amacı yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut tüketimdeki paylarını yükseltmektir. Akıllı sayaç montajı da DENA projesinin en önemli hedefleri arasında yer almaktadır.

Birleşik Krallık’ta da akıllı şebekeler için çalışmalar yapılmaktadır. Akıllı şebekeye geçişteki motivasyonları karbon salınımını azaltmak, yenilenebilir enerji kaynaklarını etkin bir şekilde kullanmak, enerji güvenliğini arttırmak ve tüm bunları yaparken tüketicinin artan enerji ihtiyacını tümüyle karşıladığı gibi tüketiciye birim fiyatı daha ucuz bir enerji sağlamak [46].

2.3. Türkiyedeki Gelişmeler

Elektrik Dağıtım Hizmetleri Derneği (ELDER), Enerji Piyasası Denetleme Kurulu (EPDK) ile birlikte bir de Türkiye Akıllı Şebekeler 2020 Yol Haritası Projesi’ni hazırladı. 2015 yılında EPDK tarafından kabul edilen projede akıllı şebeke sistemlerine 2035’e kadar 10 milyar euro ödenek ayırıyor. Bu proje kapsamında özellikle akıllı sayaçlara yatırım yapılması hedefleniyor [47].

Ayrıca ülkemizdeki akıllı şebeke yatırımlarına baktığımızda, bunlar genel olarak; Scada projeleri, Enerji Kalitesi İzleme Sistemleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Abone Yönetim Sistemleri ve Faturalama Sistemleri, Akıllı Sayaç pilot uygulamaları, mikro şebekeler, elektrikli araçların kısa, orta ve uzun vadede şebekeye etkileri ve analizi, uygulamaları olarak sıralanabilir [25].

Ülkemizde akıllı şebekeler konusu hem devlet hem de özel sektör tarafından ciddi önemli bir konu olarak görülmekte

olup konu hakkında çeşitli projeler tasarlanmakta ve hayata geçmektedir.

3. Sonuç

Kısaca, neden Klasik şebekeyi “Akıllı Şebeke” ye modernize etmemiz gerektiği konusunda bir soru sordüğümüzde karşımıza 3 ana sebep çıkmaktadır.

3.1. Artan Enerji İhtiyacı

Gelişen teknolojilerle birlikte yükselen hayat standartlarının getirmiş olduğu enerji ihtiyacındaki artan yükün kontrol altına alınabilmesi gereklidir. Artan enerji ihtiyacı özellikle elektrikli araç kullanımında hızla artış gösterdiği gibi şebekeye yeni tip yükler gelmiş bulunmaktadır. Ayrıca değişen kullanım alışkanlıklarına bağlı olarak artan karbon emisyonu en az seviyede tutulmalıdır. Akıllı şebeke konseptinin en önemli yapı taşlarından biri olan talep cevabı yönetimi sayesinde artan enerji ihtiyacına rağmen mevcut enerjinin efektif ve verimli bir şekilde kullanılması, yeni merkezi üretim santralleri yerine dağıtık enerji üretimi yöntemi ile yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonunu gerçekleştirerek enerji ihtiyacı karşılanacaktır.

3.2. Hata Tespitleri, Kayıpların Azaltılması

Şebeke kayıpları iletim ve dağıtım sırasında kablolardaki elektriksel kayıplar olarak genel bir başlık altına alınabilir. Elektriksel kayıplar, kablodan geçen elektrik kabloyu ısıtır ve geçen akımın karesi ile orantılı bir kayıp oluşturur. Ayrıca şebeke üzerindeki ekipmanlarda oluşan kayıpların azaltılması gereklidir. Akıllı şebeke ile dağıtık üretim sistemine geçilmesi sayesinde iletim ve dağıtım mesafelerinin kısaltması ile bu kayıpları minimize etmiş oluruz. Elektrik şebekesindeki hataları tespit etmede, hata olmadan tahmin etmede özellikle senkrofazörler (PMU) ve akıllı sayaçlar ve akıllı yönetim sistemleri çok büyük rol oynayacaktır. PMU’lar ile şebekedeki aynı frekanstaki fazlarda bölgeler arası gecikmeleri, akıllı sayaçlar ile yükün (ev, fabrika, küçük işletme, vb.) durumunu, akıllı yönetim sistemleri ile de genel yüklerin kontrolünü gerçekleştirebileceğiz.

3.3. Mevcut Tesislerdeki Üretim Limiti

Artan enerji ihtiyacı mevcut tesislerdeki üretimin yetersiz kalmasına neden olmuş ve yeni enerji üretim şekilleri ortaya çıkmaya başlamıştır. Son kullanıcı tarafındaki güneş panelleri, geniş arazilerde kurulan fotovoltaik tarlalar ve rüzgar türbini gibi yeni tip enerji üreten sistemler ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu sistemler uzaktan izlenmeli ve kontrol edilmeli, şebekeye bağlandığı yerlerde oluşabilecek teknik problemler yönetilebilmelidir. Aynı zamanda şu an kullanılan mevcut şebekeler, merkezi üretimden son kullanıcıya giden tüm bu sistemler 40-50 yıllık bir sistem olmasından dolayı bu yeni üretim sistemlerinin mevcut şebekeye entegrasyonu zor olmakla birlikte başka sorunlara da yol açmaktadır. Akıllı şebeke ile hem bu sistemlerin kontrol edilmesi hem de yeni üretim sistemlerinin şebekeye entegrasyonu sorunu çözülmüş olunur. Elektrik şebekesi tüketicileri günümüzde enerji talebinin artması yanında merkezi üretim santrallerinin bu talebe yetişmemesi gibi bir durumla karşı karşıyadır. Bu durum tüketicilerin enerjisiz kalmamaları enerjinin efektif ve

verimli kullanılmasının yanında yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanılması gerektiğini ön plana çıkarmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının lokal şebeke beslemeleriyle dağıtık enerji üretimi dediğimiz üretilen enerjinin üretildiği yerde tüketilmesi durumu çok daha mantıklı hale gelmiştir. Fakat yenilenebilir enerji kaynaklarının da en büyük problemi olan kesintili ve güç kalitesi olarak dalgalı olması bu sorunun çözülmesi için enerji depolama sistemlerinin öneminin ortaya koymaktadır. Enerji talebinin, yenilenebilir kaynaklardan gelen belirsiz ve sürdürülemez güçlerin çözümünde daha iyi bir yol, arz ve talebin dengelenmesi için şebekeye küçük bir alt sistem yaklaşımı ile yaklaşmak gerekli ve lokal çözümlerden büyük şebeke resmine doğru gitmek gereklidir. Bunun içinde şart olan çözüm şebekelerin modernize edilip akıllı şebeke gerekliliklerini kazandırılmasıdır.

Kaynaklar

- [1] The Smart Grid: An Estimation of the Energy and CO2 Benefits
http://www.pnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-19112.pdf
- [2] World Bank Data,
<http://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.COMM.FO.ZS4>
- [3] World Bank Data,
<http://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.COMM.FO.ZS?locations=TR&view=map&year=2014>
- [1] Department of Energy, "The Smart Grid: An Introduction", at <http://energy.gov/oe/downloads/smart-grid-introduction>.
- [2] X. Fang, S. Misra, G. Xue, and D. Yang, "Smart Grid - The New And Improved Power Grid: A Survey"; accepted for publication in IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2012. Available at <http://optimization.asu.edu/~xue/papers/SmartGridSurvey.pdf>
- [6] A. Carvallo, The Advanced Smart Grid: Edge Power Driving Sustainability, Artech House, June, 2011.
- [7] Smart Grid Definition, U.S Department of Energy (DOE) <https://energy.gov/oe/activities/technology-development/grid-modernization-and-smart-grid..>
- [8] Office of the National Coordinator for Smart Grid Interoperability, (2010). NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0, NIST Special Publication 1108, Gaithersburg, USA.
- [9] Singh A, Surjan BS. Microgrid: a review. IJRET2014;3:185-98.
- [10] Fang X, Misra S, Xue GL, Yang DJ. Smart grid - the new and improved power grid: a survey. Commun Surv Tuts 2012;14:944-80.
- [11] H. Farhangi. The path of the smart grid. IEEE Power and Energy Magazine, 8(1):18-28, 2010.
- [12] Vandoorn TL, Vandeveld L, Contribution of Microgrids to the Development of the Smart Grid 1st ed Smart grids, Clouds, Communications, Open Source, and Automation; 2014, CRC Press, p. 191-211.
- [13] A. Ipakchi and F. Albuyeh. Grid of the future. IEEE Power and Energy Magazine, 7(2):52-62, 2009.
- [14] B. Jansen, C. Binding, O. Sundström, and D. Gantenbein. Architecture and communication of an electric vehicle virtual power plant. IEEE SmartGridComm'10, pages 149-154, 2010.
- [15] W. Kempton, V. Udo, K. Huber, K. Komara, S. Letendre, S. Baker D. Brunner, and N. Pearre. A test of vehicle-to-grid (V2G) for energy storage and frequency regulation in the PJM system. Mid-Atlantic Grid Interactive Cars Consortium, 2009.
- [16] U. of Delaware. V2G technology: <http://www.udel.edu/V2G/>.
- [17] Mwasilu F, Justo JJ, Kim EK, Do TD, Jung JW. Electric vehicles and smart grid interaction: a review on vehicle to grid and renewable energy sources integration. Renew Sust Energ Rev 2014;34:501-16.
- [18] Federal Energy Regulatory Commission. Assessment of demand response and advanced metering. Staff Report, <http://www.ferc.gov/legal/staff-reports/2010-drr-report.pdf>. 2010.
- [19] H. Gharavi and R. Ghafurian. Smart grid: The electric energy system of the future. Proceedings of the IEEE, 99(6):917 - 921, 2011.
- [20] M. Hurtgen, J-C. Maun, "Applications of PMU Measurements in The Belgian Electrical Grid", technical report, May 2012.
- [21] L. Zhang, A. Abur, "Assigning Weights for PMU Measurements: Two Alternative Methods," Power and Energy Society General Meeting, 2012 IEEE.
- [22] V.K. Sood, D. Fischer, J.M. Eklund, T. Brown, "Developing a communication infrastructure for the Smart Grid", pp. 1-7, Electrical Power & Energy Conference, EPEC, 2009 IEEE, 2009
- [23] IEEE Std.802.16, "IEEE Standard for Local and Metropolitan area networks," 2009
- [24] NIST framework and roadmap for Smart Grid interoperability standards, Release 1.0, http://www.nist.gov/public_affairs/releases/upload/smart_grid_interoperability_final.pdf.
- [25] Demirkol, Ö. F., (2014). "Akıllı Şebekelerin Gerekliliği ve Dünyada Uygulamaları", 2. Uluslararası İstanbul Akıllı Şebekeler Kongre Fuarı, Bildiri Kitabı, 8-9 Mayıs 2014, sayfa 158-160, Ankara.
- [26] FabriceSaffre,RichardGedgen.Demand-sidemanagementforthesmartgrid. In:Proceedingsofthe2010IEEEIFIPnetworkoperationsand management symposiumworkshops.2010;p.300-3.
- [27] M. Mouly and M.-B. Pautet. The GSM system for mobile communications. Telecom Publishing, 1992.
- [28] P. Yi, A. Iwayemi, and C. Zhou. Developing ZigBee deployment guideline under WiFi interference for smart grid applications. IEEE Transactions on Smart Grid, 2(1):110-120, 2011.
- [29] M. Souryal, C. Gentile, D. Griffith, D. Cypher, and N. Golmie. A methodology to evaluate wireless technologies for the smart grid. IEEE SmartGridComm'10, pages 356-361, 2010.
- [30] SSSR Depuru, Wang LF, Devabhaktuni V. Smart meters for power grid: challenges, issues, Advantages and status. Renew Sust Energ Rev 2011;15:2736-42.
- [31] Brooks A, LuE, ReicherD, SpirakisC, WeihB. Demanddispatch.Power Energy Mag2010;8(3):21-9.

- [32] S. Galli, A. Scaglione, and Z. Wang. Power line communications and the smart grid. *IEEE SmartGridComm'10*, pages 303–308, 2010.
- [33] Siano P. Demand response and smart grids-A survey. *Renew Sust Energ Rev* 2014;30:461–78.
- [34] Palensky P. Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads *IEEE Transactions On Industrial Informatics*, Vol. 7, No. 3, August 2011
- [35] US Department Of Energy, Smart Grid Investment Grand Program Final Report, December 2016
- [36] H. Farhangi. The path of the smart grid. *IEEE Power and Energy Magazine*, 8(1):18–28, 2010.
- [37] M. A. Lisovich and S. B. Wicker. Privacy concerns in upcoming residential and commercial demand-response systems. the TRUST 2008 Spring Conference, 2008.
- [38] Opazo, H., Garcia-Santander, L. ve Pezoa, J. E., (2012). “Minimal Loss Reconfiguration of Power Distribution Networks Under Time-varying Demand”, International Conference on Computational Engineering in Systems Applications (CESA), U.K.
- [39] F. Zavoda, “The key role of Intelligent Electronic Devices (IED) in Advanced Distribution Automation (ADA)”, CICED 2008, Guangzhou, China, December 2008.
- [40] Smart Grid Standards Assessment and Recommendations for Adoption and Development, technical report, EnerNex Corporation, October 2008.
- [41] Y. Wang, W. Li, and J. Lu. Reliability analysis of wide-area measurement system. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 25(3):1483–1491, 2010.
- [42] W. Wang, Y. Xu, and M. Khanna. A survey on the communication architectures in smart grid. *Computer Networks*, 55:3604-3629, 2011.
- [43] National Institute of Standards and Technology. NIST framework and roadmap for smart grid interoperability standards, release 1.0, http://www.nist.gov/publicaffairs/releases/upload/smartgrid_interoperability_final.pdf. January 2010.].
- [44] O. Samuelsson, M. Hemmingsson, A. H. Nielsen, K. O. H. Pedersen, and J. Rasmussen. Monitoring of power system events at transmission and distribution level. *IEEE Transactions on Power System*, 21(2):1007–1008, 2006.
- [45] US Department Of Energy, Smart Grid Investment Grand Program Final Report, December 2016
- [46] International Energy Agency, Smart Grid Road Map 2011
- [47] Akıllı Şebekeler 2020 Yol Haritası Projesi, <http://www.elder.org.tr/ebulten/bulten38.html>.

Ulusal Güç Sistemimizde Kayıp Yük Değerinin Makroekonomik Analizi ve Hesaplanması

Mehmet Rıda Tür¹, Ramazan Bayındır²

¹Mardin Artuklu Üniversitesi Midyat MYO Elektrik ve Enerji Bölümü, Mardin, Türkiye

²Gazi Üniversitesi Teknoloji Fak. Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

¹mehmetridatur@artuklu.edu.tr, ²bayindir@gazi.edu.tr

Özet—Tüketicilerin güvenilirlik algılamaları, her zaman geleneksel güvenilirlik endeksleri tarafından ifade edilen güvenilirlik düzeyini yansıtmayabilir. Bu sorunları gidermek amacıyla, elektrik hizmeti kesintilerinden kaynaklanan müşteri kesintisi maliyetlerini değerlendirmeyi amaçlayan müşteri anketlerine dayalı çalışmalar yapmıştır. Ancak, kesintilerin bölgesel, mevsimsel ve zamansal değişiklikleri anket yolu ile elde edilen maliyetlerde farklılıklar göstermektedir. Bu maliyetlerin artan değerleri, müşteri kesinti maliyetleri, güvenilirlik yatırımına dayalı güvenilirlik değeri ve müşterilerin marjinal faydaları olarak kabul edilir. Bu çalışmanın sonuçları kesintiler ile ilgili müşterilerin kayıplarını çok iyi bir şekilde ortaya koymuştur, ancak en önemlisi müşteri yararlarını değerlendirmek için makroekonomik veriler ile birlikte tutarlı bir yöntem geliştirilmiş ve ulusal güç sistemimiz için Kayıp Yük Değeri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kayıp Yük Değeri, Arz Talep Dengesi, Enerji Arz Güvenirliği, Döner Rezerv.

Abstract- Consumer perceptions of reliability may not always reflect the level of reliability expressed by traditional reliability indices. In order to resolve these problems, based on customer surveys aimed at evaluating the cost of customer interruptions resulting from electricity service interruptions. However, the regional, seasonal and temporal changes of the discrepancies show differences in the costs of the survey. Increasing values of these costs are considered to be customer outages costs, reliability value based on reliability investment, and marginal benefits of customers. The results of this study have revealed the losses of customers related to discontinuities very well, but most importantly, a consistent methodology with macroeconomic data has been developed to assess customer benefits and the Value of Lost Load for our national power system has been obtained.

Keywords: Value of Lost Load, Supply Demand Balance, Energy Supply Reliability, Spinning Reserve.

1. Giriş

Kayıp Yük Değeri (KYD), elektrik tedarik zincirinin bir veya daha fazla bileşeninin planlı veya planlanmamış bir kesintisi sonucunda tüketiciye iletilmemesi öngörülen bir miktar elektrik için verilen ekonomik değer bir ölçüsüdür. Olamayan elektrik bedeli olarak ifade edilen KYD, ayrıca planlanmış veya planlanmamış bir kesintinin karşısında, elektrik kesintisini yaşamamak için tüketicilerin kendi

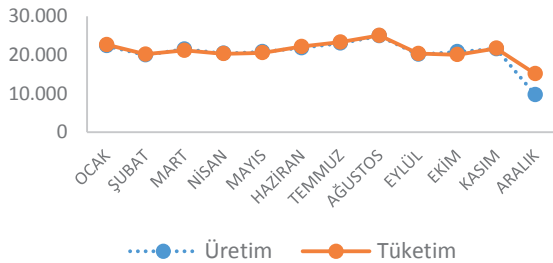
istekleri ile ödemeye hazır oldukları ortalama maliyettir. KYD, tüketiciye teslim edilmeyen her bir kilowatt saat (TL / kWh) elektrik enerjisi başına ödenen lira olarak ifade edilir. KYD, güç kaynağının toplam kapasitesi ile ilgili kararlar için yararlı bir ölçüttür [1]. Bir ülkenin KYD tahmini genellikle o ülkedeki tüketicilerin tercihlerini yansıttığından dolayı bu değer farklı bir ülkeye uygulanamaz. Bu, özellikle elektrik arzı hızla genişleyen ve yeniden yapılandırıldığı ülkeler için geçerlidir ve arz sıkıntısı ihtimali var olan bir gerçektir [2-5]. Ekonomik sektörlerde kesinti maliyeti tahmininde, teorik olarak makroekonomik modeller veya belirtilen tercihlere dayanan yöntemler geçmişte daha çok kullanılmıştır. Farklı sektörlerde kısmen çok heterojen elektrik kullanımı olduğundan dolayı, çok sayıda sektör kullanarak ekonomiyi bölmenin ve sektörler ayırarak çözümleme yapılması önerilmiştir. Makroekonomik modelleri kullanarak, Bliem [6] ekonomiyi altı sektörde bölerken, Nooij ve ark. [7] yediye, Nooij ve diğerleri [8] altıya, O 'Leary ve ark. [9] 19 ve Growitsch ve ark. [10] 15 sektöre ayırmıştır. Belirtilen tercihleri kullanarak, Lehtonen ve Lemstrom [11], analizlerini dört sektör üzerinde sınırlarlar, Samdal ve ark. [12] ve Kjolle ve ark. [13] sırasıyla beş sektör üzerinde yoğunlaşmaktadır. Farklı bir araştırma odağından dolayı (bir elektrik kesintisinin süresi veya süresi gibi) yukarıda bahsedilen çalışmalar ekonomiyi daha çok sayıda sektör haline getirmemiştir. Ayrıca, farklı sektörler arasındaki bağlantılar arası etkilerin etkileri daha önce analiz edilmemiştir. Bundan dolayı çözümler oldukça karmaşık halde gerçekleşmektedir. Bununla birlikte, elektrik sektörü detaylı verilerinin bulunmaması aynı zamanda anket yapmak için olanak bulunmaması gibi çeşitli kısıtlamalar göz önüne alındığında, diğer ülkelerden gelen tahminleri Türkiye için baz almak tek seçenek gibi görünmektedir. Ancak bu çalışmada, makroekonomik veriler kullanılarak ortalama bir KYD elde edilmektedir.

Kesintiler sırasında ortaya çıkan maliyetleri en aza indirmek için güç sistemlerinde yeterli miktarda Döner Rezerv (DR) sağlanmalıdır. DR, üretim kesintileri ve ani yük değişimleri gibi öngörülemez olaylara yanıt olarak sistem operatörleri tarafından kullanılan en önemli kaynaklardan biridir. Kullanılacak rezervlerin üretim miktarını yüksek tutarak doğabilecek beklenmedik durumların sebep olduğu üretim kesintilerine karşı güç sistemini korumak mümkün olur, böylece yük atma işleminin uygulanma olasılığı azalır. Fakat bu durumda da rezerv sağlama oldukça yüksek bir maliyet ile sonuçlanır. Bu durumda KYD maliyeti ile DR gereksinimi arasında ekonomik bir dengenin sağlanması gerekmektedir. Literatürde genelde en büyük güçlü santralin devre dışı olması durumunda sağlanmayan enerjinin miktarı karşılığında DR tutulur, ancak bu durum her zaman güvenilir değildir.

2. Kayıp Yük Değeri

Güç sistemlerinde oluşan arızalardan dolayı yaşanan büyük elektrik kesintilerinin Dünya çapında yaşanan birçok örneği bulunmaktadır. Bu kesintiler sonucunda sağlanamayan bir enerji miktarı karşısında bir yük kaybı söz konusudur. Bu kesinti örneklerinden bazıları; 2015 yılında 31 Mart günü 400 kV iletim hattı aşırı yüklenerek servis dışı kalması ardından 12 saniye sonra sistem çökmesi ile Türkiye genelinde yaşanan elektrik kesintisi [14]. 2006 yılında Almanya'da yüksek gerilim hatlarının açılması, Avrupa'nın önemli bir bölümünde elektrik kullanıcıları için büyük etkiler doğurdu [15]. Avustralya'da (2004) ve ABD, İskandinavya ve İtalya'da (2003) elektrik arzındaki kesintiler benzer şekilde yaygın ekonomik etkilere sahipti [16],[17]. Bu olaylar, enerji tedarikçisinin güvenilirliğini önemi üzerine olumsuz bir imaj oluşturmaktadır. Böylece, enerji planlamacıları arz/talep dengesine ve güvenilirlik konusunda daha da yoğunlaşmasına sebep oldu. Daha geniş anlamıyla, bu güç kaynağı kesintileri, enerji arz güvenliği konusunda daha geniş kapsamlı araştırma yapmayı sağlamıştır. Bu çalışmada, enerji arz güvenliğinin daha genel temasındaki temel konuların başında gelen elektrik arz güvenliğinin ortaya çıkardığı ekonomik değerlere odaklanmıştır. Enerji arzının güvenceye alınıp kayıpların hesaplanarak ölçülmesi çok önemlidir. Ancak, enerji arzının güvenilirlik miktarının belirlenmesi oldukça zordur. Arzın miktarının belirlenmesi, enerji arz güvenliğinin nicelleştirilmesi için somut bir yoldur. Arz kesintilerinin etkileri veya enerji arz güvenliğinin değeri, bu kesintileri önlemek için kendi rızaları ile ödenecek maliyet değerini temsil eder. Oluşturulan regresyon denklemi ile durum çalışmaları ile ortalama kayıp yük değeri sonucu edilmiştir.

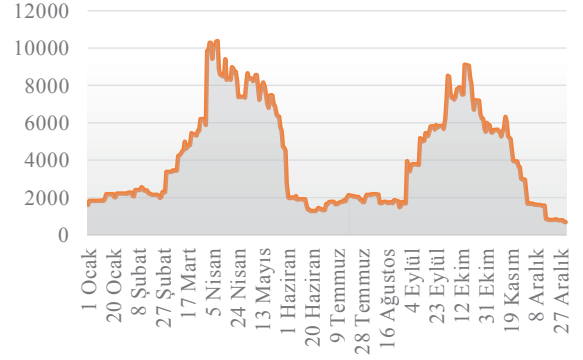
Enerji arz güvenliğinin dört önemli özelliği vardır: güvenilirlik, kapasite, çeşitlilik ve bağımlılık [18]. Enerji arz güvenliğinin değeri, doğal olarak, ilgili enerji hizmetleri için gerçek talebin seviyesine ilişkindir. Şekil 1'de gösterilen diyagram, Türkiye'nin 2016 yılı verilerine göre arz ve talep değerlerinin karşılaştırması sonucunda kış ve yaz aylarında arz değerinin talepten düşük olduğu görülmektedir [19]. Bu dönemlerde arz eksikliği, fark olarak belirtilen miktar kadar sağlanamayan bir enerjinin olduğunu göstermektedir.



Şekil 1: 2016 yılı Türkiye üretim ve tüketim değerleri (MW)

Üretim ve şebeke arızaları, doğrudan güç kaynaklarındaki kesintiyle ilgili maliyetleri ifade eder. Şebeke arızaları, bir kesintinin KYD ile çarpılma olasılığı ile ifade edilebilir. Arz kesinti maliyetlerini belirlemek için KYD değişken olarak hesaplamak, elektrik arz güvenliğini değerlendirmeye yönelik önemli yaklaşımlardan birini teşkil eder ve enerji arz güvenliğinin genelinde doğru bir değer verir. KYD üretim ve

iletim arızalarının olasılığı yüksek olması durumunda, üretim ve/veya şebeke kapasitesinin artırılması veya DR yönelik yatırımların yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Şekil 2'de gösterilen bakım programı dışında oluşan arızalardan ve/veya beklenmedik durumlarda gerçekleşen kesintilerden kaynaklı karşılanmayan bir yük söz konusudur [20].



Şekil 2: 2017 yılı için Türkiye Santral Bakım Programı (MW)

KYD, güç kaynağı kesintilerinin maliyetleri tarafından belirlendiğinden dolayı, bu kesintileri belirleyen faktörlerin incelenmesi gerekmektedir. Bu faktörler aynı şekilde KYD doğrudan etkilemektedir. Kesinti maliyetleri, aşağıda belirtilen çeşitli koşulların bir sonucu olarak oldukça değişkendir [21],[22]:

- *Tüketici türleri arasındaki farklılıklar.* Sanayi sektörü, hizmet sektörü ve konutların farklı elektrik maliyetlerinden dolayı, elektrik enerjisine olan gereksinimleri de farklılık olmaktadır.
- *Güvenilirlik düzeyindeki farklılıklar.* Güvenilirlik düzeyi, müşterilerin kendilerini potansiyel kesintilere karşı hazırlama derecesini etkiler. Beklenen güvenilirlik seviyesi ne kadar yüksekse, müşteriler daha az ihtiyati tedbir almaktadır (DR gibi).
- *Kesintinin oluşma zamanındaki farklılıklar.* Kesinti maliyetleri yılın mevsimi, haftanın günü ve hatta rahatsızlıktaki günün saatine göre önemli ölçüde farklılık gösterebilir. Tablo 1'de, KYD konut tüketimlerinde mevsime göre nasıl değiştiğini göstermektedir.

Tablo 1: ABD'nin mevsime göre KYD konut tüketimi [23].

Mevsim	Günlük kWh	KYD (TL/MWh)
Kış	42.25	76.96
İlk Bahar	31.36	43.85
Yaz	42.37	77.21
Son Bahar	32.92	47.98

- *Kesinti Süresindeki farklılıkları.* Kesinti süresi, ortaya çıkan maliyetler için de belirleyici niteliktedir. Sanayi sektörü prensipte üretim yaptığı için süre ne kadar uzun olursa, ön görülen toplam kayıp maliyet o kadar yüksek olur. Tablo 2'de, Avustralya'da konut sektörüne dayalı bir incelemede kesintinin 1-4-12-24 saat gerçekleşmesi durumunda KYD değişimi görülmektedir [24]. Bu değerler, Tüketicilerin Zarar Fonksiyonu (TZF) olarak adlandırılabilir. TZF, faktör değerlerinin belirli bir

kümesi için KYD düzeyini birlikte belirleyen bu faktörlere bağlı bir kayıp değeridir.

Tablo 2:Konut Sektörü kesinti süresine göre sınıflandırma

Kesintinin Toplam saati	1	4	12	24
KYD (TL/kWh)	6.30	17.01	44.55	77.84

- *Kesinti Duyurularındaki farklılıklar.* Bir kesintinin oluşumu ve süresi hakkında önceden bildirim yapmak, kayıp maliyetleri düşürür, çünkü tüketiciler önleyici faaliyette bulunabilir veya planlamalarını yeniden yapabilirler [25].

2.1.Kayıp Yük Değeri Ölçüm Yöntemleri

KYD, piyasa davranışlarından doğrudan gözlenemez veya elde edilemez, çünkü arz kesintilerinin ticaretini yapan herhangi bir piyasa mevcut değildir. Kesinti maliyetlerini ve KYD'yi ölçmek için literatürde mevcut birçok farklı yol bulunmaktadır. Burada, arz kesintilerinin etkilerini tahmin etmek için dört metot açıklanmaktadır. Bu çalışmada, tamamen olmazsa da literatürdeki çalışmalarının incelemeleri yapıldı [26-28].

Kısaca özetlediğimiz yöntemler aşağıda belirtildiği gibidir:

- Açıklanmış tercihler (örneğin piyasa davranışları gözlemlerine göre);
- Belirtilen tercihler (örneğin, anketler veya mülakatlar);
- Proxy yöntemleri (üretim fonksiyonu yaklaşımı);
- Durum çalışmaları (elektrik kesintileri analizi gibi).

i. Açıklanmış tercihler

Açıklanmış tercih yöntemi, bir firma tarafından arz kesintilerini önlemeye adanmış finansal araçları içermektedir. Bu araçlar, kesintilerin beklenen maliyeti için gösterge niteliğindedir. Bir güç kaynağı kesintisinin etkilerini azaltmak için en az iki durum mevcuttur: DR gereksiniminin belirlenerek ünitelere dağıtılması ve arıza durumuna göre planının oluşturulması. İlk olarak, ekonomik açıdan bakıldığında DR en uygun yatırım miktarına nasıl karar vereceğiniz konusunda analiz yapmamız gerekmektedir. DR ile üretim ünitelerinin kWh cinsinden marjinal elektrik biriminden beklenen kazanç, sağlanmayan marjinal bir elektrik biriminin beklenen kaybına eşit olmalıdır [29].

ii.Belirtilen tercihler

Belirtilen tercihler yöntem temel olarak ikiye ayrılır: Koşullu değerlendirme yöntemi (KDY) ve konjonktür analizi [30]. KDY 'yi uygularken, tüketicilerin daha fazla güvenilirlik için ne kadar para ödemeyeceğini, yani net ödeme istekliliği (NÖİ), ya da arzın daha düşük güvenilirliğini, yani net kabul istekliliklerini (NKİ) kabul etmek için ne kadar para kazanmak isterler. Senaryoların derecelendirmesinin regresyonu kesintilerin sıklığı, süresi, oluşma zamanı ve gelişmiş bildirimler ile bağlantılı olarak yapılır, böylece ortaya çıkan regresyon denkleminde bir fayda fonksiyonu elde edilir [31].

iii. Proxy yöntemleri

Proxy yöntemleri, güç kaynağı kesintilerinden kaynaklanan doğrudan maliyetler ile yakından ilişkili değişkenlerin incelenmesi yoluyla kesinti maliyetlerini dolaylı olarak tahmin etmektedir. Bu bağlamda, kaybedilen üretim maliyetlerinin miktarı kolay bir şekilde belirlenebilir. Aynı zamanda fazla mesai çalışmasından kaynaklanan maliyetler, makinelerin yeniden başlatılmasından kaynaklanan maliyetler veya malzeme üretim atıklarının, boş iş zamanları, bozuk malların ve stresin neden olduğu maliyetler bu maliyetlere birer örnektir. Farklı üretim sektörleri ve tüketici grupları için bu tür etkilerin tahminleri, makroekonomik toplamla birleştirilebilir. Elektrik faturası ile toplam enerji tüketimi oranı, makul bir alt sınır olarak kabul edilebilirken Gayri safi yurt içi hâsıla (GSYİH)'nin oranı ve tüketilen elektrik miktarı kesinti maliyetleri için bir üst sınır oluşturduğu düşünülmektedir [32].

iv. Makroekonomik Durum Analizi

Kesinti maliyetlerinin durum incelemeleri, büyük ölçekli bir güç arızasının oluşmasından hemen sonra çeşitli verilerin ve olguların toplanmasını içerir. Bu verilerle hem üretim hem de şebeke kesintilerinin maliyetleri doğrudan veya dolaylı olarak belirleyebilir. Bu çalışmada, Gayri Safi Katma Değeri (GSKD), Elektrik enerjisine bağlı boş zaman değeri (EBBZD) ve elektrik tüketimine bağlı makroekonomik veriler ile bir analizi yapılmıştır. Durum çalışmaları, arz kesintisinin insan faaliyetinin tüm alanlarındaki farklı etkilerinin incelenmesini ve listelenmesini içerebilir. Kesinti etkisinin her türü, o kategorideki ekonomik değere bağlı olabilir ve tüm maliyet katkıları, toplam kesilme maliyetleri için toplam bir değer elde etmek üzere toplanabilir. Bu yaklaşım birçok avantaja sahiptir:

i) Gerçek ve genel olarak yüksek doğruluk verileri kullanır ve arz kesintilerinin maliyetini etkileyen farklı faktörler hakkında ayrıntılı bilgi sağlarlar.

ii) Buradaki makroekonomik analiz, zaman içinde meydana gelen ekonomik ve yapısal değişiklikler göz önüne alındığında, geçmişin ve geleceğin değerleri ile orantılı olarak güncellenebilir olmasıdır.

iii) Bir durum çalışması diğer üç analize göre daha pratik ve ideal aralıkta sonuçlar çıkarmaktadır.

3. Kayıp Yük Değerinin Hesaplanması

Gerçek olaylarla ilgili kesintilerin durum incelemeleri ile bir KYD elde edilebilir. Örneğin, olayın masraflarını belirlemek için enerji sağlayıcısına gönderilen taleplerin değeri elde edilmeli. Saat başı ortalama ücret (SBOÜ) değeri Harcanabilir gelir (HG) ile Çalışma saatleri (ÇS) oranı ile denklem (1) elde edilebilir [33] HG değeri, 2017 yılına göre ülkemizde kesintiler hariç hesaplanan asgari ücret 1777,50 TL olarak ifade edilmektedir [34]. Bir işçinin iş kanununda aylık çalışma saati 225 saat olarak hesaplanmaktadır [35].

$$SBOÜ = \frac{HG}{\text{ÇS}} \quad (1)$$

Rejenerasyon (R), kişinin uyku, yemek yeme ve sağlık bilgisi üzerine harcadığı zamandır. Bu zaman yapılan anket çalışmaları sonucunda günde ortalama 10,3 saat olarak hesaplanmıştır. 2016 sayımlarına göre 78.741.053 olan nüfusun P değerine göre toplam boş zaman değeri (BZD) denklem (2) hesaplanır:

$$BZD = SBO\ddot{U} * (P * 365 * (24 - R) - \zeta S) \quad (2)$$

Bir elektrik kesintisi durumunda boş zaman değerinin kaybını belirtmek için, boş zaman yararının elektrik üzerindeki bağımlılığı tahmin edilmelidir. Bağımlı, bağımsız ve kısmen bağımlı faaliyetler olarak üç grup faaliyet bulunmaktadır. TV izlemek gibi bazı boş zaman etkinlikleri elektriğe bağlı, koşu gibi diğer etkinliklerden farklı olarak normalde elektrikten bağımsızdır, oysa gece okumak gibi aktiviteler aydınlatma gerektirir. Bunun ötesinde, elektriğe bağlı faaliyetler, diğer bağımsız faaliyetlerle ikame edilebilir. İkame faktörü (İF), enerji arzının kesilmesi durumunda kaybedilen boş zaman değerinin yüzdesini belirtir. Elektrik enerjisine bağlı boş zaman değeri (EBBZD) denklem (3):

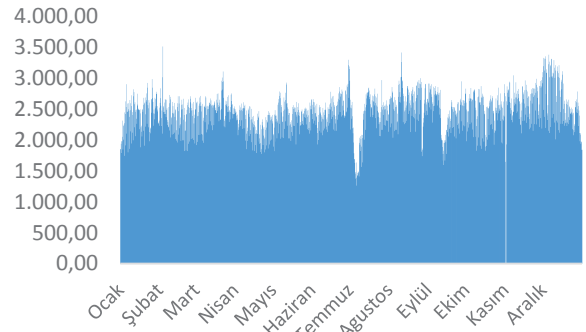
$$EBBZD = BZD * İF \quad (3)$$

Sonuç olarak, bir ulusun toplam KYD değeri denklem (4)'te gösterildiği gibi ülkemizde 29.855 TL olarak hesaplanan GSKD [36] ile EBBZD toplamının 278,3 milyar kWh olan Elektrik Tüketimine [37] oranı ile hesaplanabilir:

$$KYD = \frac{(GSKD + EBBZD)}{\text{Elektrik Tüketimi}} \quad (4)$$

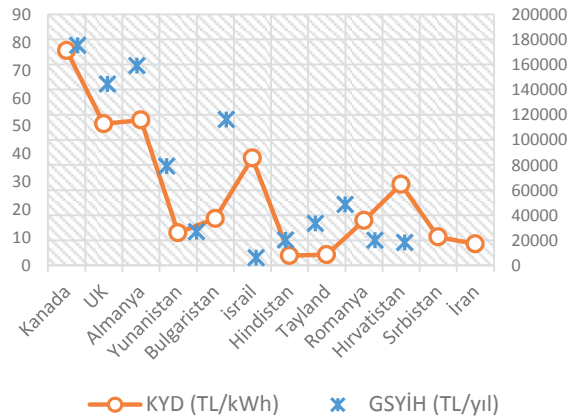
Hesaplamalar sonucunda, ulusal güç sistemimiz için yıllık ortalama KYD 13.79 TL olarak hesaplanmıştır

Farklı ülkelerdeki KYD düzeylerini analiz eden kesinti maliyeti çalışmalarının bir karşılaştırması, bölgenin arz güvenliğinin değerine bağımlılığı hakkında bilgi verebilir. Farklı çalışmalar incelendiğinde KYD düzeylerinin oldukça farklı olduğunu görülmektedir. Farklı KYD çalışmaları arasında ortaya çıkan farklılığın kaynakları, sadece belirli ülkeler, bölgeler veya sektörler odaklanmalıdır. Şekil 3'te gösterilen yük eğrisinde arz karşısında karşılanamayan talebin miktarı MWh olarak gösterilmektedir [38]. Yıl içerisinde yaşanan yük değişimlerin maksimum değerleri sert mevsim koşullarının etkisi ile oluşmaktadır.



Şekil 3: 2016 yılı için arz talep farkının saatlik dağılımı (MWh)

Şekil 4'den gözlemediğimiz gibi, dikkate alınan ülkelerin GSYİH değeri önemli ölçüde KYD düzeyleri etkiliyor [39]. Özellikle ticari sektörün elektrik kesintilerine karşı çok hassas olduğunu ve KYD'nin yaklaşık 245 TL / kWh seviyelerine ulaşabilmektedir. Ayrıca konut ve sanayi sektörleri elektrik kesintilerinden ciddi olarak etkilenebilir, ancak ticari sektöre göre daha az olmaktadır, yaklaşık 87.50 TL / kWh değerine kadar değişmektedir. KYD, kişi başına düşen GSYİH'ya göre nispeten yüksek olan ülkelerde kişi başına düşen GSYİH'ye oranla daha yüksek olma eğilimindedir. Bunun temel nedeni, gelişmiş ülkelerin genellikle enerji tüketimine göre daha yüksek bir elektrik paylaşımına sahip olmaları ve bu nedenle gelişmekte olan ülkelere göre güç arzına daha çok bağımlı olmalarıdır [40].



Şekil 4: Ülkelerin 2016 Kayıp Yük Değeri ve GSYİH

Elektrik hizmet kesintilerine ilişkin kaygılarının yanı sıra, elektrik hizmetlerinin güvenilirliği konusundaki müşterilerin algılarını yansıtan verileri temel alan KYD hesaplamasına yönelik bir yöntem geliştirildi [24]. Kapsamlı bir hassasiyet analizi ve farklı ağırlıklandırma yöntemleri, KYD için 14-140 TL / kWh aralığında değerler ortaya çıkardı. Benzer bir amaçla, ancak farklı bir yöntem enerji arz güvenliğini etkileyen enerji politikaları için bir örnek tüketicinin ödeme istekliliğini araştırıldı [41]. Göz önüne alınan abonelerin, enerji politikasına yüksek değer verdiklerini ve tüketicilerin harici enerjiyi içselleştirmek için elektrik için daha yüksek bir fiyat ödemeye istekli olduklarını düşünülmektedir. Tablo 3'de Gelişmekte olan ülkeler için KYD rakamlarının 12-40

TL / kWh, gelişmekte olan ülkelerde 3.50-35 TL / kWh aralığında olduğu sonucunu göstermektedir. Yaklaşık % 90 güven ile bu aralıkları sırasıyla 17.50-87.50 TL / kWh ve 7-17.50 TL / kWh olarak daraltabilir.

Tablo 3: 2030'daki KYD Seviyeleri, % 90 Güven Seviyesi (GS) aralığı.

	ABD'deki ekonomi genel KYD \$ / kWh	
	Maksimum Aralığı	90% GS Aralığı
Gelişmiş Ülkeler	14-140	17.50-87.50
Gelişmekte olan Ülkeler	3.5-35	7-17.50

4. Sonuçlar

Bir ülkenin elektriğine olan talep arttıkça, hem üretim kapasitesi hem de dağıtım şebekeleri üzerindeki yük ve baskı artmakta ve ülkenin güvenilir elektrik arzına bağımlılığı buna bağlı olarak artmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde ve gelişmiş ülkelerde elektrik kullanımının artırılması, daha büyük üretim ve şebeke gereksinimlerini, dolayısıyla bunların sürekli kullanılabilirliği daha fazla güvenilir olmalı. Kesinlerin olasılığının önemsiz olmasına rağmen, ülkemizde bir kesinti durumunda ortaya çıkan kayıp karşılığı olarak 7471.3 MW değerinde yük atma işlemi yapılmıştır. Kayıp maliyetleri yıllara göre neredeyse doğrusal bir şekilde yükseliyor. Türkiye'nin 2016 yılı üretim imkânı, üretim yedekleri hariç 267.620 GWh değerinde iken talep miktarı 273.513 GWh değerindedir. Böylece 5.893 GWh karşılanmayan yük karşılığı oluşur. Bu değer 2017 yılı için üretim yedeği miktarı azaltılıp üretim imkânı üretim yedekleri hariç 284.981 GWh değerinde iken talep miktarı 290.383 GWh değerinde %8,3 oranda bir düşüş ile 5.402 GWh karşılanmayan bir yük ortaya çıkmaktadır. Bu karşılanamayan yüklerin ortalama kayıp değerleri karşılığında KYD değeri 13.79 TL / kWh arasında değişmektedir. Olmayan elektriğin bedeli olarak ifade edilen KYD ortalama yaklaşık değeri ise 4.64 \$ / kWh olarak belirlenmiştir.

Bu sonuçlar sanayileşmiş bir ulusa güvenilir bir elektrik enerjisi tedarikinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Kesintilerden kaynaklanan maliyetler, onları önlemek için ihtiyaç duyulan sistem genişletme maliyetleriyle karşı karşıya kalabilir. Gerçek kesintilerin maliyeti, gündüze ve kesintinin başladığı zamana bağlıdır. Bir kış gününün öğleden sonrasında, bir kesinti sonuçları bir yaz gecesine kıyasla daha kritiktir. Bu durumlar, hesaplamaya yük eğrilerinin eklenmesiyle dâhil edilebilir. Buna ek olarak, bir kesinti süresi de belirleyici bir faktördür. Bu özellikler, hesaplamaya yük profilleri olarak dâhil edilerek analiz daha ileriye götürülebilir.

Kaynaklar

[1] **Sanghvi, A.P.** (1983), 'Optimal Electricity Supply Reliability using Customer Shortage Costs', *Energy Economics*, 129-136.

- [2] **Bazilian, M., F.O'Leary, B.O Gallachoir, and M.Howley** (2006), *Security of Supply in Ireland 2006*, Sustainable Energy Ireland, Cork.
- [3] **Lyons, S., J.Fitz Gerald, N.McCarthy, L.Malaguzzi Valeri, and R.S.J.Tol** (2007), 'Preserving Electricity Market Efficiency while Closing Ireland's Capacity Gap', *Quarterly Economic Commentary*, 2007, (Autumn), 62-82.
- [4] **Malaguzzi Valeri, L. and R.S.J.Tol** (2006), 'Electricity Shortages in Ireland: Probability and Consequences', *Quarterly Economic Review* (winter), 1-7.
- [5] **Richard S.J. Tol** (2007) "The Value of Lost Load" Working Paper No. Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA 214.
- [6] **Bliem, M.** (2005) "Eine Makroökonomische Bewertung zu den Kosten Eines Stromausfalls im Österreichischen Versorgungsnetz"; IHSK: Carinthia, Austria.
- [7] **De Nooij, M. Koopmans, C. Bijvoet, C.** (2007) "The value of supply security—The costs of power interruptions: Economic input for damage reduction and investment in networks." *Energy Econ.*, 29, 277–295
- [8] **De Nooij, M. Lieshout, R. Koopmans, C.** (2009) "Optimal blackouts: Empirical results on reducing the social cost of electricity outages through efficient regional rationing." *Energy Econ.* 31, 342–347.
- [9] **O'Leary, F. Bazilian, M. Howley, M. Gallachóir, B.Ó.** (2007) "Security of Supply in Ireland 2007"; Sustainable Energy Ireland (SEI): Dublin, Ireland.
- [10] **Growitsch, C.; Malischek, R.; Nick, S.; Wetzl, H.** (2013) "The Costs of Power Interruptions in Germany—An Assessment in the Light of the Energiewende;" *EWI Working Paper*; EWI: Cologne, Germany.
- [11] **Lehtonen, M. Lemstrom, B.** (1995) "Comparison of the Methods for Assessing the Customers' Outage Costs". In Proceedings of the 1995 International Conference on Energy Management and Power Delivery (Cat. No. 95TH8130), Jyväskylä, Finland, 21–23 November; pp. 1–6.
- [12] **Samdal, K. Kjolle, G.H. Singh, B. Kvitastein, O.** (2006) "Interruption Costs and Consumer Valuation of Reliability of Service in a Liberalised Power Market". In Proceedings of the 2006 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (IEEE Cat No. 06EX1495), Stockholm, Sweden; Volume 822, pp. 826–832.
- [13] **Kjolle, G.H. Samdal, K. Singh, B. Kvitastein, O.A.** (2008) "Customer Costs Related to Interruptions and Voltage Problems: Methodology and Results." *IEEE Trans. Power Syst.*, 23, 1030–1038

- [14] TEİAŞ (2015), “Türkiye 31 Mart 2015 Sistem Çökmesi Raporu”– Türkiye Proje Grubu ve European Network of Transmission System Operators for Electricity, 21 Eylül 2015.
- [15] UCTE (2007), ‘Final Report - System Disturbance on 4 November 2006’, February.
- [16] IEA (2005), ‘Learning from the Blackouts: Transmission System Security in Competitive Electricity Markets’, December, OECD/IEA, Paris.
- [17] Bialek, J.W. (2004), ‘Recent Blackouts in US and Continental Europe: Is Liberalisation to Blame?’, Cambridge Working Papers in Economics CWPE 0407.
- [18] DTI (2006), ‘Gas security of supply: the effectiveness of current gas security of supply arrangements. An energy review consultation’, October.
- [19] TEİAŞ (2017), ‘Aylık İşletme Faaliyet Raporları’, Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı İşletme Faaliyetleri Raporları.
- [20] SEO (2003), ‘Gansch het raderwerk staat stil. De kosten van stroomstoringen’, Report No. 685, Amsterdam.
- [21] Ajodhia, V. (2006), ‘Regulating Beyond Price - Integrated Price-Quality Regulation for Electricity Distribution Networks’, PhD-thesis, Delft University.
- [22] Richard S., Jose M., Ken S., Raiford S., Eric W., “Estimating the Value of Service Using Load Forecasting Models”, LLC. Presented at the May 2014 Eastern Conference – Center for Research in Regulated Industries.
- [23] Bill M. and Chad V. S., “Value of Lost Load Literature Review and Macroeconomic Analysis Prepared for Ercot by London Economics International LLC”, Attorneys for Electric Reliability Council of Texas, June 27, 2013.
- [24] NERA (2002), ‘Security in gas and electricity markets’, report for the DTI, 003/08 SGEM/DH, London. Munasinghe, M. and M. Gellerson (1979), ‘Economic criteria for optimizing power system reliability levels’, Bell Journal of Economics 10 (1): 353-365.
- [25] Billinton, R., Tollefson, G. and G. Wacker (1993), ‘Assessment of electric service reliability worth’, International Journal of Electrical Power & Energy Systems 15 (2): 95-100.
- [26] CPB (2004), ‘Capacity to spare? A cost-benefit approach to optimal spare capacity in electricity production’, CPB document No. 60, The Hague.
- [27] Nooij, M. de, Koopmans, C. and C. Bijvoet (2007), ‘The value of supply security. The costs of power interruptions: Economic input for damage reduction and investment in networks’, Energy Economics 29: 277-205.
- [28] Sanghvi, A.P. (1982), ‘Economic costs of Electricity supply interruptions: US and foreign experience’, Energy Economics 4 (3), 180-198.
- [29] SEO (2004), ‘Op prijs gesteld, maar ook op kwaliteit: De prijs van stroomonderbrekingen – op zoek naar ϕ ’, Report No. 726, Amsterdam.
- [30] Sopio K., Jake D., “A Study Of The Value Of Lost Load”, United States Agency for International Development (USAID) and Hydro Power And Energy Planning Project (HPEP), May, 2014.
- [31] ILEX (2006), ‘Strategic storage and other options to ensure long-term gas security’, a report to DTI, April.
- [32] Fischer S., Kubis A., Greve M. and Rehtanz C. “Macro-Economic Calculation Of The Value Of Lost Load And The Costs Per Hour Of Blackouts In Germany” IEEE Power and Energy Student Summit 2012, At Bielefeld, Germany.
- [33] Longo, A., Markandya A. and Petrucci M. (2006), ‘The Internalization of Externalities in the Production of Electricity: Willingness to Pay for the Attributes of a Policy for Renewable Energy, FEEM Working Paper No. 132.06.
- [34] ÇSGB İstatistikler, Asgari Ücretinin Net Hesabı ve İşverene Maliyeti, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara, 2017.
- [35] TBMM Kanunlar, Çalışma Süresi Madde 63, İş Düzenlemesi, 4857 Nolu İş Kanunu, 2003
- [36] TÜİK, Yıllık Gayrisafi Yurtiçi Hasıla Hesabı, Sayı:24921, Ankara, 2016.
- [37] EPİAŞ Raporlar, Kesinleşmiş Günlük Üretim Planı ve Tüketim Planı, Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. 2016.
- [38] LLC (2013), *Estimating the Value of Lost Load Briefing paper prepared for the Electric Reliability Council of Texas*, Inc. by London Economics International June 17th, 2013.
- [39] Amin, M. and Ph. F. Schewe (2007), *Preventing Blackouts*, Scientific American, May.
- [40] Kariuki, K.K and R.N Allen (1996), *Evaluation of reliability worth and value of lost load Generation, Transmission and Distribution*, 143(2), 171-180.
- [41] Böske, Johannes: *Zur Ökonomie der Versorgungssicherheit in der Energiewirtschaft*. Zugl.: Münster (Westf.), Univ., Diss., u.a: Lit-Verl (Umwelt- und Ressourcenökonomik, 25). Berlin, 2007.

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Bağlı Sistem Esnekliği: Önemi, Ölçütleri ve Kullanım Alanları

Göktürk Poyrazoğlu

Özyeğin Üniversitesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü

gokturk.p@gmail.com

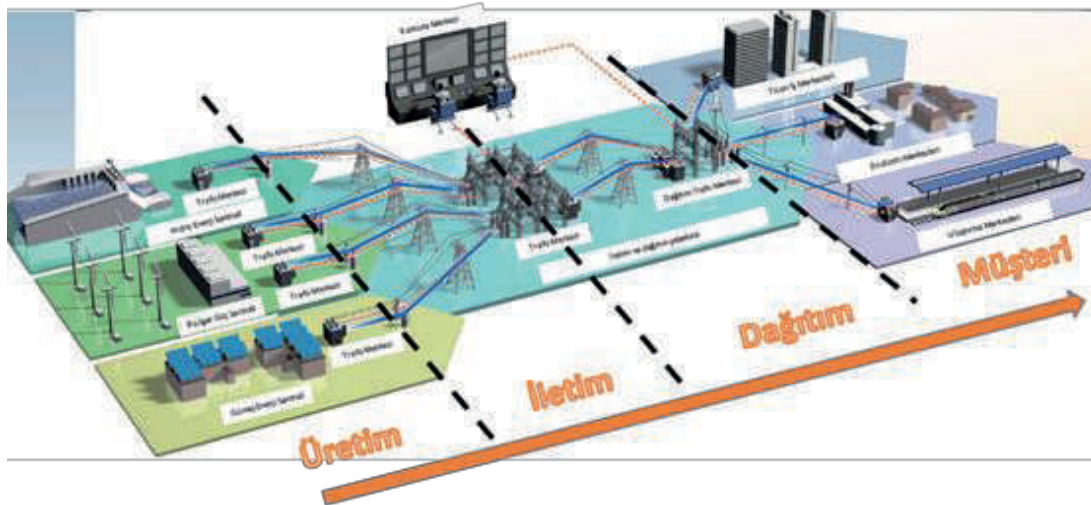
Özet

Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik şebekesine etkisi her geçen gün artmaktadır. Bu tür kaynakların doğası gereği, tahmin edilen üretim değerleri ile gerçek zamanlı üretim miktarları arasındaki farklar enerji talebinde değişkenlik ve belirsizliğe neden olmaktadır. Bu değişkenlik ve belirsizlikler, şebeke planlaması ve yönetiminde esneklik ihtiyacına neden olmaktadır. Yenilenebilir kaynakların sağladığı ucuz ve temiz enerjinin şebekelerde kullanımını teşvik ederken, yine bu kullanıma bağlı olarak sağlanması gereken yukarı ve aşağı yönlü rampalamalardan dolayı daha kirli ve büyük ihtimalle pahalı enerji santrallerini etkinleştirmek terim itibariyle şebeke esnekliğinin azaltılmasıdır. Bu hızlı iniş ve çıkışın sistem tarafından sağlanabilmesi için yenilenebilir enerji kaynakları dışındaki diğer üretim santrallerinin daha önceden bu ivmeleri yakalayabilecek şekilde üretim planının oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı matematik modellemesi ile yapılacak planlamalar sayesinde şebeke esnekliğini artırıcı metod ve araçları tespit etmek, bu metodlar sayesinde artırılan şebeke esnekliğinin en ucuz şekilde sağlanmasıyla üretim sisteminin etkin ve ucuza çalıştırılmasını sağlamaktır.

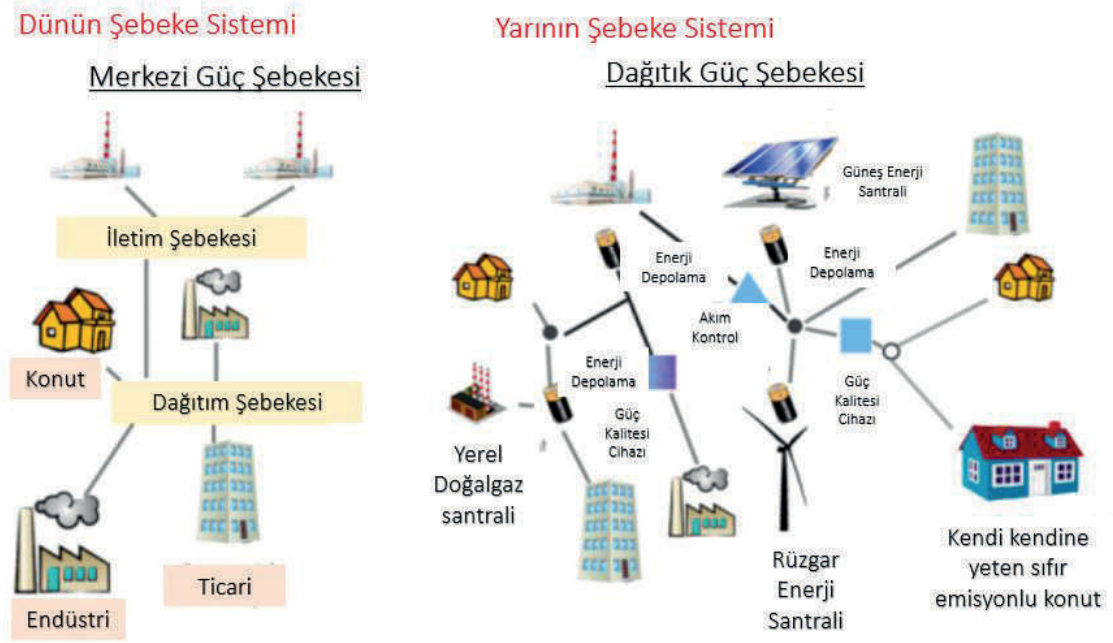
1. Giriş

Elektrik güç sistemleri operasyonel farklılıklar göz önüne alınarak dört ana başlıkta incelenmektedir. Bunlar üretim, iletim, dağıtım, ve son kullanıcı yani müşterilerdir (Şekil 1). Güç üretimi çoğunluğu büyük ölçekli elektrik santrallerinden bir yakıt yardımı ile elektrik üretimini ve üretilen bu elektriğin iletim sistemine aktarılmasını konu almaktadır. Günümüzde üretim santralleri buldukları coğrafi yerler ve üretim kapasiteleri düşünüldüğünde merkezi olarak adlandırılan yapıda, genellikle elektrik ihtiyacına coğrafi olarak uzak bölgelerde bulunmaktadır. Yeni nesil elektrik santralleri ise yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde günbe gün artan kullanımıyla beraber elektrik ihtiyacının çok olduğu bölgelere coğrafi olarak yaklaşmakta ve üretim sistemlerinin yapısı gün geçtikçe merkezi yapıdan dağıtık olarak adlandırılan çok sayıda ama küçük kapasiteli üretim merkezlerine doğru kaymaktadır. Merkezi şebeke ve Dağıtık şebekenin görsel olarak bir örneği Şekil 1 Şekil 'de verilmiştir. Üretim sistemlerinden alınan elektrik enerjisi, iletim ve dağıtım şebekeleri vasıtasıyla son kullanıcı olan müşterilere iletilmektedir.

Elektrik güç üretiminde kullanılan yakıtlar her ülkede farklılık göstermekle birlikte, çoğu ülke şu anda kömür, doğalgaz, su ve petrol ürünlerini kullanarak elektrik enerjisi üretmektedir. Son yıllarda gelişmiş ülkelerde hızlıca yayılan ve gelişmekte olan



Şekil 1. Elektrik Güç Sistemleri



Şekil 3. Merkezi ve Dağıtık şebeke yapılarının görsel örnekleri

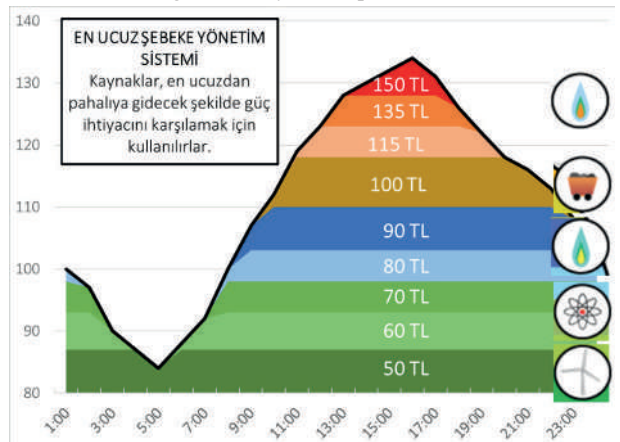
ülkelerde de hızlı bir ivmeyle kullanılan ya da kullanılması üzerine yoğun politikalar gerçekleştirilen yakıtların başında da yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılan rüzgar, güneş ve biyokütle gelmektedir. Güç sistemlerinin onyıllardır süregelen alışılmış çalışma sistemine göre farklılıklar gösteren bu kaynaklar, güç sistemlerinin yönetiminde bazı zorluklara yol açmaktadır. Bu farklılıkların başında yenilenebilir enerji sistemlerinin kesintili hizmet sunması ve ani olarak enerji üretim değerlerinin hava olaylarıyla birlikte değişiklik göstermesi gelmektedir. Sistemin düzenli ve güvenli şekilde işlemesi için gerekli olan öncül karar alma mekanizmaları, yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme yüklediği belirsizlik nedeniyle yüksek risk ile çalışmak zorunda kalmaktadır.

Öncül karar alma mekanizmalarından bir tanesi enerji piyasalarıdır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde üretim sistemleri piyasa ekonomisine bağlı olarak enerji piyasalarında işlem görmekte ve üretim miktarları ile sağlamaları zaruri ölçüm değerleri bu elektrik piyasalarının bir çıktısı olarak hesaplanmaktadır. Farklı yakıt ve teknoloji kullanan üretim santrallerinin bir sistematik içerisinde ülkenin ihtiyacını olabilecek en ucuz şekilde sağlayabilmesi için çoğu ülkede merkezi sistem operatörleri görev almaktadır. Farklı üretim santrallerinin üretim başına düşen maliyetleri hesaba katılarak, Şekil 2’te gösterildiği şekilde optimal güç akışı probleminin çözülmesiyle, bu üretim santrallerinin hangi saat ve dakika aralığında ne kadar güç üretmeleri gerektiği merkezi sistem operatörlerinin işlettiği enerji piyasalarında hesaplanmakta ve müşterilerin düzenli ve istikrarlı şekilde elektrik enerjisine ulaşmaları sağlanmaktadır.

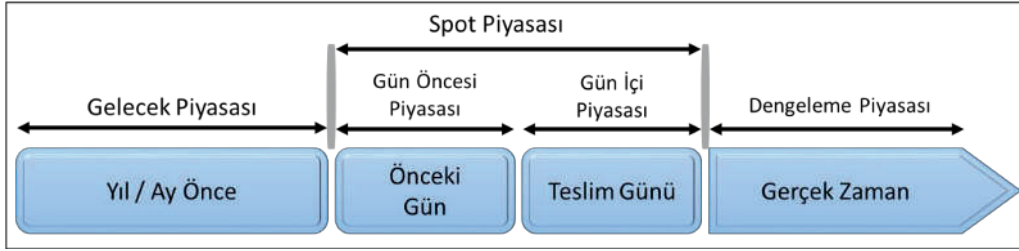
Türkiye’de ve Dünya’nın bir çok ülkesinde elektrik enerjisinin kesintisiz olarak müşteriye ulaştırılması için üretim santrallerinin ne kadar enerji üretmesi gerektiğine dair önceden planlamalar yapılması gerekmektedir. Enerji piyasalarının zamana göre gösterimi ve isimleri Şekil 4’te gösterilmiştir. Türkiye’de bugün itibarıyla bu planlamalar, gün öncesi enerji piyasası ve gün içi enerji piyasasında belirlenmektedir.

Gün öncesi enerji piyasası, enerji ihtiyacı ve üretimini bir sonraki gün için planlamakta. Üretim santralleri 24 saat sonra üretecekleri enerji için birim başına teklif hazırlamaktadır. Piyasanın alıcı konumundaki dağıtım şirketleri de 24 saat sonra ihtiyaç duyacakları enerji miktarını ve bu enerji karşılığında ödemek istedikleri birim fiyatı piyasa yöneticisine bildirmekle yükümlüdür. Üretim santrallerinin satıcı, dağıtım şirketlerinin alıcı olduğu bu gün öncesi enerji piyasasında, 24 saat sonraki enerji ihtiyacının sayısal değeri daha önceki günlerde gözlemlenen gerçek ihtiyaç değerlerine, o tarihteki hava durumuna, ülke genelinde gözlemlenebilecek olağan ve olağan dışı olaylara bağlı olarak bilgisayar programları vasıtasıyla tahmin edilmektedir. Gelecek ile ilgili yapılan her türlü tahminde olduğu gibi enerji talep tahmininde de gerçek değerlere nazaran kaymalar ve hatalar olabilmektedir.

Gün içi enerji piyasası işte tam bu nedenle, gün öncesi enerji piyasasında tamamlanamamış ya da doğru tahmin edilememiş girdilerin düzeltilmesi ve gereken fazla enerji ihtiyacının üreticilerden sağlanması ya da planlanan fazla üretimin



Şekil 2. En ucuz şebeke yönetim modeli



Şekil 4. Enerji Piyasaları

azaltılması için satış ve alış aktörlerine tekrar imkan sağlamaktadır. Bu iki piyasanın oluşma amacı, gün öncesinden gerçek zamana yaklaşırken, daha önce tahmin edilmiş olan enerji ihtiyacının tekrar gözden geçirilmesi ve hataların en aza indirgenerek son kullanıcının kesintisiz ve istikrarlı bir enerjiye ulaşmasını sağlamaktır. Yenilenebilir enerji sistemlerinin artan şekilde üretimde kullanılmalarından önce bu tahmin eyleminde sadece enerji ihtiyacının ne kadar olacağı ile ilgili hata payları hesaba katılırken, yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte üretim tahmin eylemi ve buna bağlı hata payları üretim sistemlerine de kaymaktadır. Güneş ve rüzgardan enerji üreten santrallerde elektrik enerjisi üretimi anlık olarak kullanılan kaynağın bulunabilirliğine göre değişiklik göstermektedir. Güneş enerji santralleri için üretim tahmin işlemi hava durumuna göre değişiklik göstermekle birlikte, santralin üzerinden geçen bir bulutun varlığından da üretim miktarı anlık olarak etkilenmektedir. 24 saat öncesinden güneş enerji santralinin üzerinden geçecek bulut ve onun yoğunluğu dakika dakikasına tahmin edilemediğinden, tahmin eylemleri ile ilgili hata payları artmakta ve enerji piyasalarında gün öncesi ve gün içi arasındaki bilgi farklılıkları bu santrallerin sayısı arttıkça daha da çoğalmaktadır. Rüzgar enerjisi için de güneş enerji santrallerine benzer zorluklar gözlemlenmektedir. Rüzgarın hızına doğrudan bağlı olan elverişli elektrik enerjisi tahmini, zaman ilerledikçe ve tahmin edilen saat dilimine yaklaşıldıkça değişmekte ve tahminlerde oluşan hata payları zaman ilerledikçe azalmaktadır.

Her ne kadar, gün içi piyasaları bu hata paylarının azaltıldığı piyasalar olsalar da, elektrik enerjisinin üretildiği an kullanılması prensibine bağlı olarak tahmin hataları sifıra indirilmediği sürece üretim ve ihtiyaç arasında farklılıklar olabilmektedir. Bu farklılıklara bağlı olarak, gün öncesi piyasasında kararlaştırılan üretim miktarları ile gün içi piyasalarında hesaplanan yeni üretim miktarları arasında fiziksel olarak geçişin mümkün olması gerekmektedir. Bir örnek olarak, gün öncesinde 100MW olarak belirlenen bir santralin üretim çıktısı, gün içi piyasasında 150MW olarak belirleniyorsa, bunun hem santralin teknik imkanları doğrultusunda fiziksel olarak mümkün olması gerekmekte hemde aradaki enerji miktarının finansal değeri artarak sistemin daha yüksek maliyetlere işletilmesi anlamına gelmektedir.

Gün öncesi ve gün içi piyasalarına bağlı olarak değiştirilebilecek üretim miktarlarının daha geniş çapta yapılabilmesine şebeke esnekliği adı verilmektedir. Girdilerdeki hata payları göz önüne alınarak sistemin daha önceden bu hataları saptama ve olası çıktılarına karşı daha istikrarlı durması için şebeke esnekliğinin yüksek tutulması önem arz etmektedir. Şebeke esnekliği yüksek olan sistemlerde gün içi piyasa çıktıları gün öncesi çıktılarına benzemekte ve bu bir piyasanın iyi ve etkin olarak işletildiğini gösteren bir ölçü olarak kullanılmaktadır.

Bildirinin bundan sonraki bölümleri çalışmanın literatürdeki geniş bir konu içerisindeki yerini gösteren literatür taramasını, şebeke esnekliğinin temel tanımlarını, ölçütlerini, önemini ve kullanım alanlarını sırasıyla ele almaktadır.

2. Literatür taraması

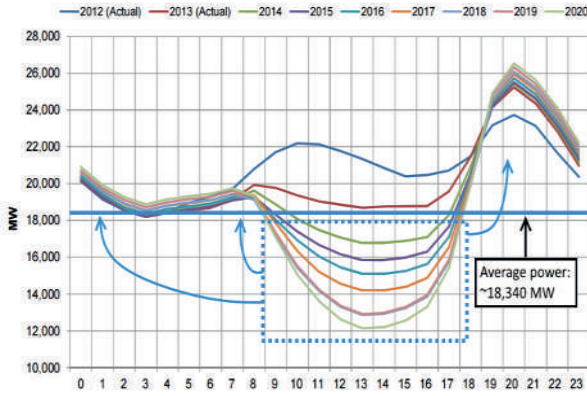
Güç şebekelerinde her geçen gün artan değişkenlik ve belirsizliklere cevap vermek için son zamanlarda akademik çevrelerde ciddi araştırma projeleri gerçekleştirilmiştir. Bu konudaki ilk çalışmalardan biri üretim sisteminde yaşanan kesintileri ve talepteki değişimleri olasılık teorisi ile açıklayan ve çözüm olarak yardımcı rezerv ihtiyacını sunan Gooi'nin çalışmasıdır [1]. Doherty ve diğerleri bu çalışma metoduna rüzgar enerji üretim tahminlerindeki belirsizlikleri de ekleyerek rezerv ihtiyacı hesaplamalarını daha kapsamlı şekilde geliştirmiştir [2]. Üretim maliyeti benzetmelerinin kullanıldığı diğer çalışmalarda, stokastik programlama teknikleri ile belirlenen rezerv gereksinimlerinin hangi santrallerden karşılanacağı ile ilgili planlama yöntemleri tartışılmıştır [3], [4], [5], [6], [7].

Yakın zamanda bu konu üzerine yapılan çalışmalar stokastik programlama teknikleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Amerika Birleşik Devletlerinde bulunan Sandia Ulusal Laboratuvarlarının geliştirdiği, büyük ölçekli güç şebekelerinde kullanıma uygun stokastik şebeke esneklik çalışma prensipleri bunlardan birisidir [8]. Gün öncesi piyasalarında kullanıma uygun esneklikle birlikte santral kullanım planlaması çalışmaları diğer araştırmalarda da görülmektedir [9], [10].

3. Şebeke esnekliği nedir?

Güneş ve rüzgar enerjisinin başı çektiği yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik şebekesine etkisi her geçen gün biraz daha artmaktadır. Bu tür kaynakların doğası gereği oluşan tahmin edilen üretim değerleri ile gerçek zamanlı üretim miktarları arasındaki farklar değişkenlik ve belirsizlik göstermektedir. Bu değişkenlik ve belirsizlikler neticesinde şebeke planlaması ve yönetimi ile ilgili esneklik ihtiyacı baş göstermektedir. Uzun zamandır fosil yakıtlarla beslenen şebekeler için kullanılan şebeke dayanıklılık ölçütleri, genellikle üretim ve iletim sistemlerinde kaynaklanabilecek arızaları hesaba katmakta fakat sistemin esneklik kaybından dolayı yaşadığı arızaları hesaba katmamaktadır. Eskiden azami üretim kapasitesinin azami ihtiyaç tahminine göre ayarlanması ile sağlanan şebeke dayanıklılığı, büyük ölçekli yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye bağlanması ile beraber net talepte kısa süreliğine oluşabilecek değişimlere cevap verebilmek için şebeke esnekliğini de hesaplamalara dahil etmesi

gerekmektedir. Literatür’de ördek eğrisi olarak adlandırılan, yenilenebilir enerji sistemlerinin artışına bağlı olarak geçmiş ve gelecekte ABD’nin Kaliforniya eyaletinin net enerji ihtiyacını gösteren eğri Şekil 5’te gösterilmiştir. Gün ortasında güneş enerjisine bağlı olarak hızlı bir şekilde düşüş gösteren net talep eğrisi güneşin kaybolması ile akşam saatlerinde hızlı bir yükseliş göstermektedir.



Şekil 5. Yenilenebilir enerjiye bağlı talepteki değişimi gösteren ördek eğrisi [11]

Talepteki bu hızlı iniş ve çıkışın sistem tarafından karşılanabilmesi için yenilenebilir enerji kaynakları dışındaki diğer üretim santrallerinin daha önceden bu ivmeleri yakalayabilecek şekilde üretim planının oluşturulması gerekmektedir. Net talep eğrisindeki iniş ve çıkışlara literatürde rampalama denilmektedir. Şekil 5’te gösterildiği üzere güneş enerjisindeki azalışın akşam saatlerinde istikrarlı şekilde karşılanabilmesi için 3 saat içerisinde sistem 11,000MW yukarı rampalamaya ihtiyaç duymaktadır. Bahsedilen rampa ihtiyaçları sistem tarafından karşılanabilecek büyüklüktedir fakat burada şebeke esnekliğinden kasıt, bu büyüklükte bir rampalamanın fiziksel olarak mümkün olup olmadığından çok, bunun en ekonomik şekilde nasıl yapılabileceğidir. Güneş enerjisinin sağladığı ucuz ve temiz enerjinin şebekelerde kullanımını teşvik ederken, yine bu kullanıma bağlı olarak sağlanması gereken yukarı ve aşağı yönlü rampalamalardan dolayı daha kirlili ve büyük ihtimalle pahalı enerji santrallerini etkinleştirmek terim itibariyle şebeke esnekliğinin düşük olmasından dolayı yaşanan aşırı verim kaybıdır.

Bu araştırma temiz ve ucuz enerji kullanımını her alanda teşvik ederken, bilim ve matematik yardımı ile önceden yapılacak planlamalar sayesinde şebeke esnekliğini artırıcı metod ve araçları tespit ederek, bu metodlar sayesinde artırılan şebeke esnekliğinin en ucuz şekilde sağlanmasıyla üretim sisteminin etkin ve ucuza çalıştırılmasını sağlamaktadır.

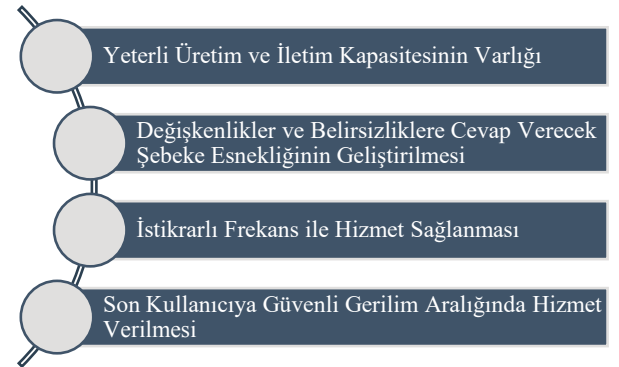
4. Şebeke esnekliğinin ölçütleri

Yenilenebilir enerji sistemleri için şebeke esnekliği önemli bir parametredir. Esnekliği düşük sistemlerde kesintili hizmet sunan yenilenebilir enerji sistemlerinin entegrasyonu sistem dayanıklılığını düşürmekte, yüksek maliyetlere yol açmakta, ve sürdürülebilir enerjinin sisteme dahil edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu tür kötü sonuçların daha oluşmadan engellenmesi için, şebeke esnekliği üzerine çalışmalar

arttırılmalı, bu yeni ölçünün sistemin gelecek planlamasında, kaynak ve yakıt ayarlamasında, ve gerçek zamanlı enerji piyasalarında aktif olarak kullanılması gerekmektedir. Geçmişte bakıldığında bu tür bir problem ile karşılaşmamış olan şebekelerde, esnekliğin tespiti ve ölçülmesi ile ilgili standart kullanımlar gözlenmemektedir. Bu nedenle şebeke esnekliğinin, farklı kullanım alanlarındaki tanımı, esnekliğin hangi kriterlere göre belirleneceği ve ne tür sistemlerin matematiksel olarak ne kadar esnekliğe ihtiyaç duyacakları konularında araştırma boşlukları doğmuştur.

Bu bildiri uzun süreli ve geniş kapsamlı bir araştırmanın başlangıç safhası olsa da, uzun vadede bu çalışmanın amacı bahsedilen araştırma boşluklarını doldurmak ve literatür taramasında bahsedilen önceki çalışmalarını genişletmek sureti ile şebeke esnekliğini etkileyecek metodların tespiti ve bu metodların endüstri tarafından kabul edilen standartlar dahilinde kullanımına ön ayak olacak araçların geliştirilmesidir.

Modern güç şebekelerinde sistemin dayanıklılığını devam ettirmesi için gerekli olan dört ana başlık vardır: (1) Elektrik ihtiyacının tavan yaptığı durumlarda talebi karşılayabilecek üretim ve iletim kapasitenin varlığı, (2) Arz ve talepte yaşanan değişkenlikler ve belirsizliklere cevap verebilecek şebeke esneklik yapısının geliştirilmesi, (3) İstikrarlı bir frekansın uzun süreli ve sürekli olarak sistem tarafından sağlanabilmesi, ve (4) Son kullanıcıya kabul edilebilir bir gerilim seviyesinde servis sağlanması [12].



Şekil 6. Sistem Dayanıklılığını Sağlayan 4 Ana Etken

Bu bildirinin konusu itibariyle şebeke esnekliği üzerinde biraz daha durmak gerekirse, elektrik talebinde saatlik, günlük ve mevsimsel olarak yaşanan değişimlere sistem tarafından cevap verebilmek için şebeke esneklik ölçütlerine riayet edilmesi gerekmektedir. Geleneksel olarak doğal gaz kullanan enerji santrallerinden sağlanan şebeke esnekliği, bu santrallerin yukarı ve aşağı yönlü hızlı rampalama özelliklerini kullanarak anlık talep değişimlerine cevap vermektedir. Doğal gazın kaynak karışımındaki oranlarına bağlı olarak, şebeke esnekliği ihtiyacını arttıran yenilenebilir enerji kaynaklarının sistem entegrasyonlarında sorunlar baş göstermektedir. Doğal gaz santralleri dışında farklı yöntemlerle desteklenmeyen şebeke esnekliği, son yapılan araştırmalara göre yenilenebilir kaynakların maksimum talep karşılama oranını %35 seviyelerinde sınırlandırmaktadır. Bu da daha fazla güneş ve rüzgar enerjisinin sistem istikrarını kötü yönlü olarak

etkileyeceğini göstermektedir. Bu sorunu çözmek için gerekli olan destekleyici esneklik planlamalarından birkaçı şunlardır: (1) sisteme yeni entegre edilecek santrallerin yüksek esneklik kabiliyetli teknolojilerden seçilmesi, (2) yardımcı enerji servislerine ek olarak enerji piyasasına eklenebilecek esneklik rezerv ürünü, (3) talep tepkisi programlarının son kullanıcı üzerinde teşvik edilmesi ve zorunlu olmayan enerji talebinin belirlenerek sisteme yardımcı esneklik katma üzerine değerlendirilmesi, (4) mevcut santrallere enerji çıktısını daha hızlı şekilde değiştirmelerini sağlayacak yeni teknolojilerin eklenmesi ve bu teknolojiye sahip santrallerin piyasa aracılığıyla ödüllendirilmesidir.



Şekil 7. Destekleyici Esneklik Planlamaları

5. Şebeke esnekliğinin önemi ve kullanım alanları

Şebeke esneklik çalışmaları çok uzun bir geçmişe sahip olmadığı ve günümüzde kullanılan çoğu bilgisayar programında halen kendisine yer bulmadığı için şebeke planlayıcıları ve şebeke işleticileri tarafından çoğunlukla göz ardı edilen bir konudur. Bu bildiride sunulan şebeke esneklik arttırıcı metodların geliştirilmesi ve kullanılacak araçların tespiti, uzun zamanlı şebeke planlayıcıları tarafından çalışma prosedürlerine eklenecektir. Burada şebeke planlayıcılarından kasıt, kısa ve uzun zamanlı gelecek planları yapılan, kapasite değerlendirme çalışmaları, iletim hattı planlamaları, kaynak ve yakıt planlamaları, ve en önemlisi ülke geneli enerji politikası belirleme çalışmalarıdır. Bu çalışmaların çoğu birbiri ile bağlantılı ve bazı durumlarda aynı girdilerin kullanıldığı çalışmalardır. Farklı sistemler ile ilgilenen farklı kurumlar bu araştırma önerisinin çıktılarını kendi alanları içerisinde değerlendireceklerdir.

Araştırma konusu edilen şebeke esnekliğini arttırıcı yöntemlerden bir tanesi, yardımcı enerji piyasalarında tanıtılması öngörülen yük takipçi yardımcı servis ürünüdür. Bu ürünün şebekenin en ekonomik şekilde çalıştırılması için gerekliliği enerji politikalarını belirleyen Türkiye’de EPDK benzeri kuruluşlar tarafından gözlemlenerek, bu çalışmanın çıktısı olan etkiler göz önüne alınıp, bu yeni ürünün piyasaya tanıtımı yapılabilecektir. Çalışma önerisinde bulunan esneklik arttırıcı metodlar geniş bir kullanım alanı içerisinde

değerlendirilecek, ama yoğunluk ucuz ve istikrarlı elektrik arzı oluşturmaya yönelik olacaktır.

Şebeke esnekliği yenilenebilir enerji sistemlerinin gün geçtikçe artan şekilde elektrik üretim sistemlerine eklenmesi ile sistem işleticileri tarafından fark edilmeye başlanan yeni bir ölçü biçimidir. Bu nedenle Dünya’da ve Türkiye’de şebeke esnekliği ile ilgili standart uygulamalar yoktur. Literatürde ve uygulamada az rastlanılan ama git gide kullanımı artan metodlar vardır. Esnekliğin kullanıldığı farklı sistemler göz önünde bulundurularak önerisi yapılmış metodların bir çatı altında toplanması ve yararları ile etkisinin az görüldüğü noktaların tespit edilmesi gerekmektedir.

Şebeke esnekliği mevsimsel olarak, gün içerisindeki zamana bağlı olarak, ve coğrafi olarak farklılık gösterdiğinden esneklik ölçülerinin zamana karşı dinamik olarak değişkenlik göstermesi beklenmektedir. Bu nedenle farklı şebekeler için ne kadar esneklik gerektiğinin tahmin edilmesi ve mevcut durumlarda bu esnekliklere ulaşma kabiliyeti farklılık göstermektedir. Bu nedenle sistem işleticileri kendi sistem değerlerine uyan endüstride çoğunlukla kullanılan, amacı açık bir şekilde belirlenmiş, matematiksel olarak ölçülebilen, ve her koşulda hesaplanabilen bir esneklik ölçüm metodu geliştirmelidir.

Bir sonraki aşama, geliştirilen ölçüm metodlarının kullanılan test sistemleri üzerinde simülasyonlarının yapılması ve daha önce tamamlanmış değerlendirme sonuçları ile karşılaştırılmasıdır. Bu sayede geliştirilen yeni metodların mevcut önerilerle kıyaslanması yapılabilecektir. Son aşama olarak test sistemleri üzerinde gözlemlenen etkilerin gerçek sistemler üzerindeki etkisini araştırmak için geliştirilen metodların gerçek sistemler üzerinde test edilebilebileceği bir veri tabanı oluşturmaktır. Bu aşamanın amacı, geliştirilmiş metodların endüstriye aktarılması ve bilgisayar programı vasıtası ile şebeke planlama çalışmalarında esneklik parametresinin etkin şekilde kullanılmasını sağlayarak, geleceğin istikrarlı ve ucuz elektrik sistemine doğru yolculuğuna yardımcı olmaktır.

6. Kısıtlamalar

Bu çalışmanın önceki safalarında da rastlanılan hatalı bir olgu, şebeke esnekliği ile sistemin istikrarlı kalması adına bir işletim ayarından diğer bir ayara geçişe elverişlilik terimlerinin karıştırılmasıdır. Burada üretim santrallerinin sistemin ihtiyacı olan yukarı ve aşağı yönlü rampalamayı yapabilme kabiliyetlerinden çok, sistemin bu kabiliyetlere olan ihtiyaçlarını daha önceden tespit ederek sistemi her duruma hazır hale getirme durumuna şebeke esnekliği denilmektedir. Gelecekte inşa edilmesi planlanan üretim santralleri ile gelecek için şimdiden tahmin edilen enerji arz eğrilerinin oluşturulması sırasında şebeke esnekliği kullanılmalıdır. Bu nedenle tavsiye edilen metodların her tür şebekede aynı sonuçları vermesi beklenmemektedir. Öyleki şebeke esneklik ölçümü, coğrafi olarak farklı yerlerde farklı hava durumu ve enerji ihtiyaç eğrilerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Çıktılarda oluşabilecek farklılıkların en aza indirgenmesi için test sistemlerinin sonuçlarından çok teorik ve matematiksel çıktılar vasıtası ile geliştirilecek metodların etkileri daha geniş bir alanda değerlendirilmelidir.

7. Sonuç

Geleneksel enerji üretim modellerinden farklı olarak daha fazla değişkenlik ve belirsizlik içeren yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye daha hızlı ve etkin şekilde entegre edilebilmesi ve sağlanan enerji hizmetinin sürekli ve istikrarlı olarak devam ettirilebilmesi için şebeke esneklik ölçütlerine riayet edilmesi gerekmektedir. Esnekliğin az olduğu şebekelerde arz talep dengesini anlık olarak sağlamak git gide zorlaşmaktadır. Bu zorlukları önceden tahmin edebilmek ve yapılacak planlamalarla oluşabilecek zorluklara en hızlı ve verimli şekilde cevap verebilmek için bu bildiri içerisinde şebeke esnekliği ölçütleri ve esnekliği artırıcı yöntemler tartışılmıştır.

Referanslar

- [1] H. B. Gooi ve diğerleri, "Optimal Scheduling of Spinning Reserve," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 14, no. 4, pp. 1485-1492, 1999.
- [2] R. Doherty, M. O'Malley, "A new approach to quantify reserve demand in systems with significant wind capacity," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 20, no. 2, 2005.
- [3] J. Morales, A. J. Conejo, J. Perez-Ruiz, "Economic valuation of reserves in power systems with high penetration of wind power," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 24, no. 2, pp. 900-910, 2009.
- [4] A. Tuohy, P. Meiborn, E. Denny, M. O'Malley, "Unit commitment for systems with significant wind penetration," IEEE Trans. Power Systems., vol. 24, no. 2, 2009.
- [5] T. Yong, R. Entriken, P. Zhang, "Reserve determination for system with large wind generation," Proceedings of Power & Energy Society General Meeting, Calgary, Canada, 2009.
- [6] P. Ruiz, C. R. Philbrick, P. W. Sauer, "Wind power day-ahead uncertainty management through stochastic unit commitment policies," Proceedings of Power Systems Conference and Exposition, Seattle, WA, Mart , 2009.
- [7] Papavasiliou, S. Oren, "Reserve requirements for wind power integration: A scenariobased stochastic programming framework," IEEE Trans. Power Syst. Vol. 26, no. 4, 2011.
- [8] S.M. Ryan, R.J. Wets, D.L. Woodruff, C. Silva-Monroy, "Toward scalable, parallel progressive hedging for stochastic unit commitment," IEEE PES General Meeting, 2013.
- [9] E. Ela, M. O'Malley, "Probability-weighted LMP and RCP for Dayahead energy markets using stochastic security-constrained unit commitment," PMAPS 2012, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [10] J. Morales, M. Zugno, S. Pineda, P. Pinson, "Electricity market clearing with improved scheduling of stochastic production," European Journal of Operational Research, 235(3), pp. 765-774, 2014.
- [11] B. Bouillon, "Prepared Statement of Brad Bouillon on Behalf of the California Independent System Operator Corporation," U.S. Federal Energy Regulatory Commission, 10 Haziran 2014.
- [12] U.S. Department of Energy, "Maintainin Reliability in the Modern Power Systems," Aralık 2016.



EEMKON 2017

16-18 KASIM 2017
Harbiye Askeri Müze Kültür Sitesi

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ



İLETİŞİM TEKNOLOJİLERİ SEMPOZYUMU BİLDİRİLERİ

5G: Büyük Ölçekli MIMO, Hüzme Şekillendirme ve Radyo Kaynaklarının Yönetimi

5G Challenges: Massive MIMO, Beamforming and Radio Resource Management

Omer AYDIN^{1,2}

¹Araştırma ve Geliştirme Bölümü, Netaş, İstanbul, Türkiye

aydin@NETAS.com.tr

²Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Özet

Mobil iletişim teknolojileri artık günlük hayatımızın hiç bir şekilde vazgeçemeyeceğimiz bir unsuru haline gelmiştir. Gün geçtikçe daha fazla sayıda mobil cihaz ve sensörler günlük hayatımızda kullanılmaktadır. Bu cihazların fonksiyonlarını sağlıklı bir şekilde yerine getirebilmesi için gerekli olan iletişim altyapısı, teknolojinin çok daha hızlı gelişimini de gerekli hale getirmektedir. Bu nedenle, büyük ölçekli çoklu alıcı çoklu verici (massive MIMO), mm-dalga (mmWave), hüzme şekillendirme (beamforming) ve radyo kaynaklarının yönetimi gibi 5. Nesil haberleşme teknolojileri üzerinde çalışmalara yoğun şekilde devam edilmektedir. Bu çalışmalar kapsamında, ilgili gereksinimlerin sağlanabilmesi için, yüksek performanslı şebeke erişimi ve alıcı algoritmaları gibi konularda çözümlenmesi gereken önemli problemler de ortaya çıkmaktadır. 4G gereksinimleri için, mm-dalga dışında, sözü geçen konular üzerinde yıllardır çok yoğun çalışmalar yürütülmüştür. Bu konular üzerindeki çalışmalara 5G kapsamında da halen devam edilmektedir. 5. Nesil haberleşme teknolojilerinin hedeflerinden birisi olan 1 km²'lik alanda 1 milyon cihazın şebeke bağlantısının sağlanması, aynı anda çok yüksek sayıda sensör veya cihazın şebeke erişimi problemini ortaya çıkarmaktadır. Bu alanda, ilgili performans ihtiyacını karşılamak için çalışmalar çok yoğun bir şekilde devam etmektedir.

Abstract

Today, technology has become an indispensable part of our daily life. An enormously growing number of mobile devices, sensors and actuators are being used today. The required communication infrastructure for these devices to fulfill their functions properly is also pushing the development of new technologies. In this context, studies continue on 5G communication technologies such as massive MIMO, mmWave, beamforming and radio resource management. In the course of these studies, researchers are faced with important and difficult problems, such as high performance network access and receive algorithms. Over the years, very intensive studies have been conducted on these issues for 4G requirements. The studies on these subjects are still going on for 5G requirements. Providing network connection of 1 million devices in 1 km² area, which is one of the targets of the 5th generation communication technologies, also brings up the problem of simultaneously network access of a very high number of sensors, actuators and devices. A large number of studies are currently underway to meet the required network access performance.

1. Giriş

Kablosuz mobil iletişim teknolojisinin ilk denemeleri, hücresel olmayan yapıda, bir araç üzerinde montajı yapılmış ilk mobil radyo kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu tarihten uzun yıllar sonra, hücresel bir mobil şebeke altyapısı ile ilk ticari şebekelerin kullanımı ise 1980'li yıllarda başlamıştır.

Kablosuz mobil iletişim sistemlerinin bu tarihten sonraki gelişiminde ortaya çıkan nesillere bakıldığında;

- 1980'li yıllarda 1. Nesil Analog sistemlerin,
- 1990'lı yıllarda 2. Nesil (GSM) sayısal sistemlerin,
- 2000'li yıllarda 3. Nesil (CDMA) sistemlerin,
- 2010'lu yılların ortalarından itibaren ise 4. Nesil (LTE-Advanced) sistemlerin kullanımına başlandığı görülmektedir.

Bu gelişmeler göz önüne alındığında, kablosuz iletişim teknolojilerinin aşağı yukarı 10 yılda bir yenilendiği görülebilmektedir. Ayrıca yeni nesil bir teknoloji devreye girdiğinde ise, iki önceki nesil teknolojinin kullanımı da terk edilmeye başlanmaktadır. 1990'lı yıllarda geliştirilen 2. Nesil sistemler (GSM), ses temelli servisler için kullanılmak üzere geliştirilmiştir. 2000'li yıllarda bu servislerin üzerine veri temelli hizmetlerin de verilebildiği, 3. Nesil WCDMA ve EDGE sistemleri hizmete girmiştir. 2010'lu yıllardan sonra ise, gerçek zaman yüksek çözünürlüklü video transferi, yüksek servis kalitesi, geniş bantlı internet ve düşük gecikme gereksinimlerine çözüm getiren 4. Nesil mobil iletişim teknolojisinin devri başlamıştır. 4G mimarisi ile saniyede yüzlerce megabit hızında veri iletimi sağlayan IP tabanlı yeni bir iletişim mimarisine geçilmiştir.

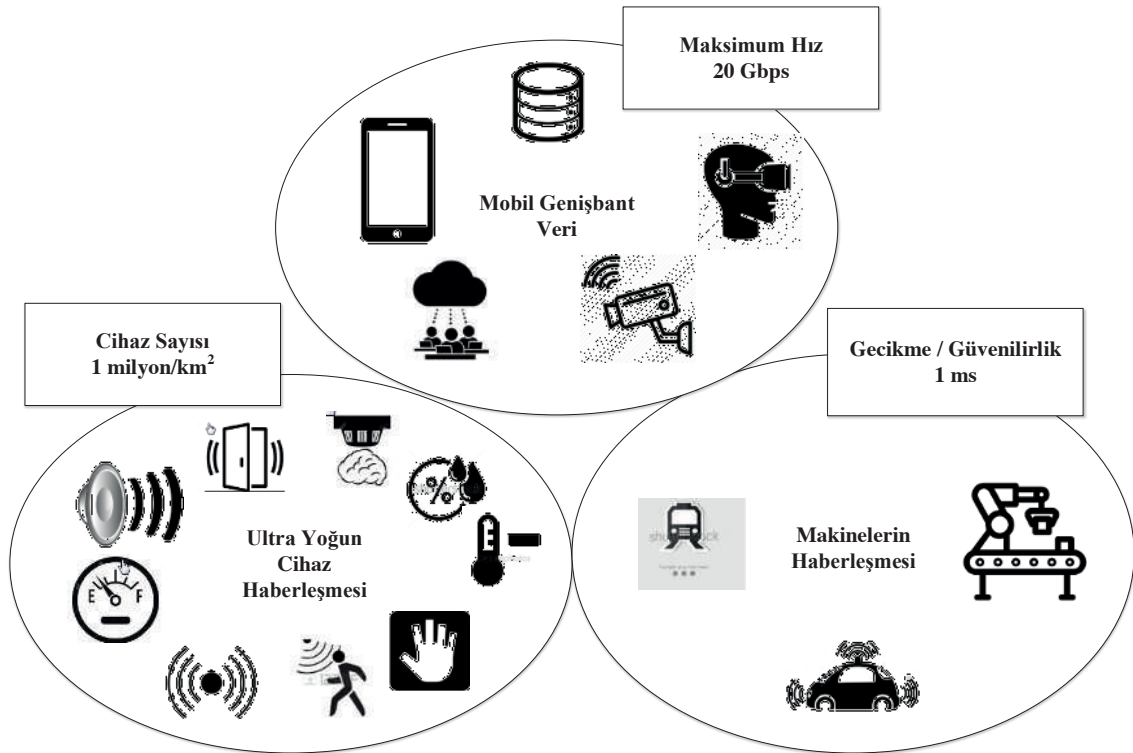
Önümüzdeki birkaç yıl içerisinde standart çalışmalarının tamamlanacağı ve ilk uygulamalarının başlatılacağı öngörülen 5G'de büyük ölçekli çoklu alıcı çoklu verici (massive MIMO), mm-dalga (mmWave), hüme şekillendirme (beamforming) ve radyo kaynaklarına erişim teknolojileri öne çıkmaktadır. 5G şebeke gereksinimlerini belirleyen IMT-2020 standartlarına göre, 1 km²'lik bir alanda 1 milyon cihazın şebekeye bağlantısının sağlanması hedeflenmektedir. Bu hedef göz önüne alındığında, 5G radyo ve merkezi şebeke desteği olan bir hücrenin, on binlerce kullanıcı terminalini desteklemesi gerekecektir. Mevcut 4G şebekelerinde her bir kullanıcı terminali, şebekeye doğru yukarı yönde bir erişim sağlayabilmek ve yakınında bulunan baz istasyonuna erişerek eş zamanlamasını sağlayabilmek için rastgele erişim prosedürü olarak adlandırılan bir prosedürü başlatmaktadır.

Aynı hücre içerisinde şebeke erişimi talebi olan çok fazla sayıda kullanıcı terminali olması durumunda, iletim çakışmalarından dolayı erişim gecikmesinin artması, hava arayüzü kaynaklarının verimli kullanılamaması ve terminal gücünün boşa harcanması gibi olumsuz durumlar ortaya çıkacaktır. Ancak çalışmaları devam eden 5G standartları ile gecikmenin azaltılması, hava arayüzü kaynaklarının ve terminal gücünün daha verimli kullanılması hedeflenmektedir. Bu nedenlerden dolayı, kullanıcı terminallerinin şebekeye erişimi için daha verimli algoritma ve prosedürler üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

2. 5G Gereksinimleri ve Performans Göstergeleri

Yeni nesil mobil haberleşme teknolojisi 5G'nin uygulamaları ve ana gereksinimleri aşağıda Şekil 1'de verilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü gibi, 5G uygulamaları için 3 ana konuda performans hedefleri belirlenmiştir. Bu uygulamalardan mobil geniş bant veri için maksimum 20 Gbps hız desteği, ultra yoğun cihaz bağlantısı için km² başına 1 milyon cihazın bağlantılarının desteklenmesi ve makineler arası iletişim uygulamaları için 1 ms değerine kadar düşük gecikmeli ve güvenilir veri haberleşmesi hedeflenmektedir.

Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU-International Telecommunication Union) tarafından yayınlanan IMT-2020 standardı ile hedeflenen performans değerleri ise Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. 5G Uygulamaları ve Ana Gereksinimler

Tablo 1. 5G için Anahtar Performans Göstergeleri ve İlgili Teknolojiler

Özellik	Performans Değeri	Teknoloji
Yüksek veri hızı (Gbps)	En yüksek veri hızı, 4G hızının 20 katı, yani 20 Gbps hedeflenmektedir.	Milimetre dalga bandı (mm-dalga) Büyük ölçekli MIMO
Bağlı cihaz sayısı (cihaz sayısı/m ²)	4G şebekesinden 10 kat daha fazla sayıda, km ² 'de 10 ⁶ adet sensör, terminal ve diğer cihazların şebeke bağlantısı hedeflenmektedir.	Makineler arası iletişim (MTC) Cihazdan cihaza (D2D) iletişim Daha yüksek bant genişliği (milimetre dalga) Yoğun küçük hücreler
Spektral verimlilik (b/s/Hz)	5G spektral verimliliği için 4G'nin 3 katı hedeflenmektedir.	Yeni dalga formu Büyük ölçekli MIMO CoMP (Coordinated Multi-point)
Uçtan uca gecikme (ms)	4G gecikmesinin 10'da biri, 1 ms hedeflenmektedir.	D2D iletişimleri Yoğun küçük hücre yerleşimi Akıllı veri ön bellekleme
Trafik kapasitesi (Mbps/m ²)	4G'den 100 kat fazlası, 10 Mbps/m ² hedeflenmektedir.	Milimetre dalga bandı Yoğun küçük hücreler Ağ işlev sanallaştırması D2D iletişimleri
Enerji verimliliği (milijoule/bit)	4G'nin 100 katı verimlilik hedeflenmektedir.	Milimetre dalga bandıyla birlikte büyük ölçekli MIMO Milimetre dalga çok sekmeli geçiş istasyonları
Hareketlilik (m/s)	4G ile desteklenen maksimum 350 km/h hız, 5G'de 500 km/h olarak hedeflenmektedir.	Gelişmiş heterojen ağlar

3. 5G Anahtar Teknolojileri

Gelecek nesil mobil haberleşme teknolojisi 5G için gündemde olan ve Ar-Ge çalışmaları devam eden teknolojilerden başlıcaları olan, radyo kaynaklarına erişim teknolojileri, mm-dalga (mmWave), Büyük Ölçekli Çoklu Alıcı Çoklu Verici (massive MIMO) ve hüzme şekillendirme (beamforming) teknolojileri bu kısımda verilmiştir.

3.1 Şebeke Kaynak Yönetimi

Mevcut 4G standartlarında, kullanıcı terminali ile baz istasyonu arasında rastgele erişim için, başlangıç sinyali olarak, birbirlerine dik olan rastgele erişim kodları kullanılmaktadır. Bu kodlar, baz istasyonları tarafından umuma yayın yöntemi ile yayınlanmakta ve kullanıcı terminaleri ise bu kodlardan rastgele seçtiği bir tanesini ilgili rastgele erişim kanalındaki bir slot ile baz istasyonuna yollamaktadır. Bütün bu işlemler için ise, standartlarda verilen mesajlar kullanılmakta ve ilgili prosedürler işletilmektedir. Ancak mevcut 4G standartlarında başlangıç sinyali olarak kullanılabilen ve birbirine dik olan 64 adet kod bulunmaktadır. Bu durumda, aynı hücre içerisinde bulunan kullanıcı terminalerinin tamamı, en iyi ihtimal ile farklı kodları seçmeleri durumunda dahi, aynı anda 64 tanesi şebekeye erişim sağlayabilecektir. Aynı hücre içerisinde şebekeye erişim sağlamaya çalışan daha fazla kullanıcı terminali olması durumunda ise, başlangıç sinyallerinin çakışması kaçınılmaz olacaktır. 5G şebekelerinde bir hücre için öngörülen kullanıcı terminali sayısı göz önüne alındığında, bu çakışmaların çok fazla olacağı, şebeke erişim gecikmesinin artacağı ve radyo kaynaklarının verimli kullanılamayacağı öngörülebilir. Ayrıca 5G hücrelerinde kullanılması planlanan çok sayıda sensör

cihazının belirli zamanlarda ve eşzamanlı olmayan kısa veri iletim ihtiyaçları düşünüldüğünde, düşük gecikmeli ve gerçek zamanlı veri iletimi giderek imkânsızlaşmaktadır. Bu nedenle, 5G hücrelerindeki çok sayıda kullanıcı terminal ve cihazların şebeke erişimi için yeni yöntemler ve algoritmalar üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Mevcut durumda erişim sınıfı engelleme, rastgele erişim kaynaklarının dinamik olarak atanması, sabit konumlardaki cihazlara sabit erişim talep gecikme değerlerinin tanımlanması ve erişim talebi için geri çekilme yöntemleri üzerinde araştırma ve performans test çalışmaları yürütülmektedir.

Kullanıcı terminalerinin erişim sınıfına göre engellenmesi yöntemi ile şebekeye erişimlerinde, her bir erişim sınıfı için, erişim engelleme olasılığı ve geri çekilme süreleri tanımlanmaktadır. Bu parametreler kullanılarak, baz istasyonu tarafından terminalerin şebeke erişim kontrolü sağlanmaktadır. Bu yöntem için yapılan araştırmalarda geri çekilme süresi dinamik olarak değiştirilmekle birlikte bazı araştırmalarda ise veri trafiğine göre erişim engelleme olasılık değeri de dinamik olarak belirlenmektedir [1]. Ayrıca bazı araştırmalarda, erişim sağlayacak cihaz sayısını maksimum yapabilmek için gerekli olan engelleme olasılık değerini içeren bir optimizasyon problemi tanımlanmıştır [2]. Başka bir yöntemde terminalerin erişim sınıfına göre engellenmesi iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir [3]. Bu yöntemde terminaler, baz istasyonu tarafından yayınlanan engelleme olasılık değerini kullanarak erişim talebinde bulunmakta, kabul alan terminaler özel olmayan erişim sinyallerinden birisini rastgele olarak seçmektedir. İkinci aşamada ise, erişim sağlayamayan terminaler, hücredeki terminal sayısından bağımsız olarak kendi engelleme olasılıklarını hesaplamaktadır. Bu yöntemlerde geri çekilme süresi için sabit süreler veya üstel olarak artan geri çekilme süreleri kullanılmakta ve trafik durumuna göre bu süre dinamik olarak

değiştirilmektedir [4]. Dinamik olarak erişim sınıfı engelleme yöntemlerinde, ayrıca önceliklendirme kullanılarak da şebeke erişimi sağlanabilmektedir. Şebeke trafiğinin yoğun olduğu zamanlarda erişim aktivasyonu uzun süre ertelenmektedir.

Şebeke erişimi sırasında terminallerden gönderilen rastgele erişim kodlarının çakışmalarını düzeltmeye çalışan yöntemler de kullanılmaktadır [5]. Bu yöntemlerde, rastgele erişim kodları aynı anda kullanıldığında, ilgili veriler çöpe atılmamakta ve girişim etkileri giderilmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemlere ilave olarak ortogonal olmayan erişim kodlarının kullanıldığı ve aynı zamanda erişim kodlarının çakışma durumlarının giderilmeye çalışıldığı yöntemler de bulunmaktadır [6,7]. Bu şekilde bir uygulama ile farklı güçlerde iletim yapan birden fazla kullanıcı terminalinin aynı anda şebeke erişimi sağlanmaya çalışılmaktadır [8]. Günümüzde bu yöntemlerin 5G şebekelerinde rastgele şebeke erişimi için kullanılması amacıyla performans analizleri yapılmaktadır [9].

3.2 mm-Dalga (mmWave)

Son yıllardaki araştırmalar sonucunda, mm-dalga frekanslarının, kablosuz iletişim için hali hazırda doymuş 700 MHz ile 2.6 GHz radyo spektrum bantları yerine kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. 30 GHz ile 300 GHz frekans aralığında çalışan mm-dalga teknolojileri kullanılarak, daha yüksek veri aktarım hızlarına olanak sağlayan yüksek bant genişliği tahsisi yapma imkânı elde edilmektedir. Ancak mm-dalga frekansları yalnızca kısa mesafelerde veri iletimi için uygundur. Dolayısıyla yüksek frekanslar ve düşük frekanslar arasında yapılacak kombinasyon 5G için önem kazanmaktadır. Bu kombinasyon, yüksek frekans bantlarını yüksek veri iletim hızı sağlamak için ve düşük frekans bantları da yüksek kapsama alanı ve kontrol bilgisinin iletimi için kullanılarak sağlanabilir.

Genel olarak, mm-dalga hücrelerinin 50 - 200 metre arasındaki mesafelerde kullanılacağı öngörülmektedir. Spektral yoğunlaşma ile 5G şebekelerinin kapasitesinin büyük oranda artırılabilmesi öngörülmektedir. 4G ağları, km² başına 8 ile 10 baz istasyonu yoğunluğuna ulaşabilirken, 5G ağları 40 ile 50 arasında baz istasyonu yoğunluğuna ulaşabilecektir. 5G mimarisinde, kontrol bilgisi iletimi ve kapsama alanı için makro hücreler kullanılırken, daha yüksek frekanslarda çalışan küçük hücreler, yüksek bant genişliğinde veri iletimi amacıyla kullanılacaktır. Kablosuz bağlantılar veya fiber bağlantılar ile arka plan şebekeleri oluşturulacaktır [10].

Şehir merkezleri gibi dalga propagasyonu açısından zorlu ortamlarda yüksek yoğunluklu antenlerin kullanılması, mm-dalga frekanslarında yüksek yayılma kayıplarına neden olmaktadır. Ayrıca mm-dalgalar bina ve engellerden geçememekte, bitkiler tarafından soğurulmaktadır. Milimetre boyutlarındaki dalgaların, yayılım zorluklarından dolayı, hüzme biçimlendirme ve büyük anten dizilerinin kullanımı verimli iletim için çok önemli hale gelmektedir. Milimetre dalga bandının, yüksek yol kaybını en aza indirmek için küçük bir hücre yarıçapıyla (< 100 m) kullanılması gerektiği yaygın olarak kabul edilmektedir [11,12].

3.3 Büyük Ölçekli MIMO (Massive MIMO) ve Hüzme Şekillendirme (Beamforming)

Büyük ölçekli MIMO (Massive MIMO) teknolojisi, 5G kapsamında araştırma yapılan teknolojilerden bir tanesidir. Bu teknoloji ile birkaç yüz anten ile donatılmış baz istasyonu, büyük ölçekli MIMO ile aynı zaman-frekans kaynağını kullanan onlarca terminale eş zamanlı olarak hizmet verebilecektir. Büyük ölçekli MIMO, baz istasyonunda DL (downlink) yönünde kullanılan hüzme şekillendirme (beamforming) teknikleri ile sağlanmaktadır. Mevcut 3GPP Sürüm 8-11 standartlarında tanımlı olan ve sadece yatay düzlemdeki hüzme şekillendirme tekniklerinden farklı olarak, 5G çalışmalarında dikey düzlemde hüzme şekillendirme teknikleri için çalışmalar devam etmektedir. Bu amaçla baz istasyonunun öncelikle, kullanıcı terminalinden kendisine gelen sinyalleri analiz ederek, kanal/anten parametrelerini belirlemesi gerekmektedir. Bu bilgiler, uygun kullanıcı terminalere, aynı frekans kaynaklarını kullanarak verilerin iletimi için kullanılmaktadır. Bu bilgiler frekansa bağlı olduğundan, veri iletimi ve alımı için farklı frekansların kullanıldığı FDD (Frequency Division Duplex) sistemlerinde bu tekniklerin kullanımı verimli değildir. Ancak veri iletimi ve alımı için aynı frekansların kullanıldığı TDD (Time Division Duplex) sistemlerinde bu tekniklerin kullanımı daha verimli olabilmektedir. Büyük ölçekli MIMO için kullanılan hüzme şekillendirme teknikleri ile aynı frekans kaynakları kullanılarak, birden fazla kullanıcı terminaline doğru çok sayıda anten kullanılarak, aynı anda veri iletimi yapılabilmektedir. Bu amaçla baz istasyonlarında yüzlerce antenden oluşan yeni nesil 3 boyutlu antenlerin kullanılması planlanmaktadır. Ayrıca bazı anten modülleri, anten birimlerine ek olarak anten başına ufak güçte alıcı/verici içerebilmektedir.

Büyük ölçekli MIMO teknolojisi spektral verimlilik, enerji verimliliği ve güvenilirlik açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajları nedeniyle, Büyük ölçekli MIMO üzerinde çok yoğun bir şekilde 5G Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir. Büyük ölçekli MIMO teknolojisinin gerçekleştirilebilmesi için, hesaplama karmaşıklığı, dağıtık işleme algoritmaları, anten birimlerinin eş zamanlaması gibi konularda halen bazı zorluklar mevcuttur. Bu zorlukların giderilmesi ile ilgili çalışmalar halen devam etmektedir.

Büyük boyutlu analog işaret işlemeyi, düşük boyutlu sayısal işaret işleme ile birleştiren hibrit çoklu anten alıcı-vericileri, büyük ölçekli MIMO sistemlerinin donanım maliyetini azaltmak için en umut verici yaklaşımdır [13]. Bununla birlikte, büyük ölçekli MIMO'daki çok sayıda anten elemanı da büyük zorluklar ortaya koymaktadır.

- Çok sayıda radyo frekansı (RF) zinciri (her bir anten elemanı için bir tane) maliyeti ve enerji tüketimini artırır.
- Her gönderim ve alım anteni arasındaki kanal durum bilgisini (CSI) belirlemek, önemli miktarda spektral kaynak kullanır.

Bu sorunlara bir çözüm olarak, hibrit vericilerin (hybrid transmitter) kullanımı önerilmektedir [14,15].

3.4 Yeni Radyo (New Radio - NR)

Hücre mobil ağlar ses ve görüntü iletimi gibi belirli servislerin kullanımına yönelik olarak geliştirilmiş ve web servisleri gibi diğer hizmetler ise ek olarak desteklenmiştir. Bununla birlikte, önümüzdeki yıllarda, insansız araçlar, akıllı ulaşım sistemleri, akıllı şebeke/bina/şehirler, sanal veya artırılmış gerçeklik ve mobil sosyal servislerin çok çeşitli uygulamalar ile kesintisiz olarak desteklenmesi gerekmektedir. Gelişen bu uygulamaları desteklemek amacıyla için, yeni bir hava arayüzü tasarım çalışmaları başlatılmıştır. Bu konuda 3GPP Sürüm 15'te Yeni Radyo (New Radio - NR) olarak adlandırılan birinci faz 5G sistemi için standart oluşturma faaliyetleri devam etmektedir. İlk 5G özellikleri aşağıdaki kapsamda Sürüm 15'te düzenlenmiştir.

- Bağımsız ve Bağımsız Olmayan Yeni Radyo Faaliyetleri:** Bağımsız çalışma, kontrol düzlemi ve veri düzlemi işlevlerinin tamamının Yeni Radyo ile desteklenmesi planlanmaktadır.
- 6 GHz'in Altında ve Üstünde Spektrum:** Operatörlerin sahip olduğu 6 GHz altındaki spektrumun ve ayrıca 6 GHz üzerindeki frekans bantlarının 100 GHz' e kadar desteklenmesi için çalışmalar devam etmektedir.
- Geliştirilmiş Mobil Geniş Bant (eMBB), Ultra Güvenilir ve Düşük Gecikmeli İletişim (URLCC) ve Makineler Arası İletişim (mMTC):** Çok düşük gecikmeli görev kritik verilerin güvenilir bir şekilde iletimi ve ayrıca yüksek veri hızlarının desteklenmesi için Yeni Radyo geliştirme çalışmaları devam etmektedir. 3GPP Sürüm 15'te, aşağıdaki üç ana performans hedefi vurgulanmıştır.
 - **Geliştirilmiş Mobil Geniş Bant (eMBB):** Yüksek kapasiteli (20 Gbps hızına kadar) ve yüksek hareketlilik (500 km/saat hızına kadar) için yeni radyo desteği hedeflenmektedir.
 - **Ultra Güvenilir ve Düşük Gecikmeli İletişim (URLCC) ve Makineler Arası İletişim (mMTC):** Acil ve görev kritik veri iletişimi için 1 ms altında kullanıcı düzlemi gecikmesi hedeflenmektedir.
 - **Makineler Arası İletişim (mMTC):** Çok yüksek sayıda cihaz tarafından seyrek olarak iletilen küçük veri paketlerinin desteklenmesi hedeflenmektedir [15].

Bunlara ek olarak, Sürüm 15'de çalışmaları devam eden Yeni Radyo yetenek ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Düşük, orta ve yüksek bantlar dahil olmak üzere herhangi bir frekans bandında çalışabilme olanağı.
- Eşzamanlı olarak LTE ve 5G Yeni Radyo desteği.
- Birden fazla Yeni Radyo taşıyıcısı için taşıyıcı toplama (Carrier Aggregation).
- İlk sürümlerde 5 Gbps, sonraki sürümlerde 20 Gbps maksimum DL hız.
- Terminalden baz istasyonuna doğru (UL: Uplink) veri iletimi için Tek Taşıyıcı Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (SC-FDMA) desteği planlanmaktadır. Ultra Güvenilir ve Düşük Gecikmeli İletişim (URLCC) desteği ise Sürüm 16'da tanımlanacaktır.
- Büyük ölçekli MIMO ve hüzmeye şekillendirme.
- 5G radyo bantları için FDD veya TDD modları desteği.

- Hem dar bantlı radyo kanalları (örneğin 1 MHz) hem de geniş bantlı radyo kanalları (örneğin 400 MHz) için 120 kHz veya 240 kHz'e kadar alt taşıyıcı aralığı desteği.
- Yüksek veri hızları için LTE turbo kodlarından daha yüksek performansa sahip olan Düşük Yoğunluklu Parite Kodları (LDPC) ile hata düzeltme.
- Standartlara dayalı bulut radyo erişim şebekesi (cloud RAN) desteği.
- Veri, zamanlama, ve bildirim taşıma işlevlerini birleştiren, tümleşmiş alt-çerçevelerin desteği.
- Düşük gecikme için kısa iletim zaman aralıkları, yüksek spektral verimlilik için ise daha uzun iletim zaman aralıkları desteği.
- Yeni bir modele dayanan QoS desteği.
- Aynı radyo kanallarında LTE ile dinamik birliktelik [10].

4. Sonuç

5. Nesil haberleşme teknolojileri kapsamında, bu makalede verilen gereksinimlere yönelik olarak gerçekleştirilen araştırma çalışmalarında, radyo kaynaklarının verimli olarak yönetilebilmesi için, yüksek performanslı şebeke erişimi ve alıcı algoritmaları gibi pek çok teknik zorluk ile karşılaşmakta ve bu zorluklara uygun çözümler üretilmeye çalışılmaktadır. Önceki nesil mobil haberleşme sistemleri için bu konular üzerinde yıllardır çok yoğun çalışmalar yürütülmüştür. Ancak 5G sistemleri için gerekli olan performansın artması nedeniyle, bu konular üzerindeki çalışmalara 5G kapsamında da halen devam edilmektedir. Örnek olarak, 5. Nesil haberleşme teknolojilerinde 1 km²'lik alanda 1 milyon cihazın şebeke bağlantısının sağlanması hedeflenmektedir. Bu hedef nedeniyle, bir 5G hücrede, aynı anda on binlerce sayıda kablosuz sensör veya cihazın çok kısa süre içerisinde şebeke erişiminin sağlanması ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu konuda yapılan son araştırmalarda, bir hücredeki cihaz sayısının artması durumunda, şebeke erişim sinyali tekrar iletiminin de terminal başına giderek daha fazla arttığı ve buna paralel olarak erişim gecikmesinin de arttığı gözlenmiştir [9]. Gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında, bir hücredeki cihaz sayısının 10.000 civarında olması durumunda, erişim gecikmesi değerinin 40 ms civarında olduğu gözlenmiştir. Bu gecikme değeri, doğal olarak kullanılan trafik yoğunluğu modeline göre değişimle birlikte, aynı trafik modeli için cihaz sayısı 50.000 olduğunda, erişim gecikmesi 70-110 ms aralığında gerçekleşmektedir [9]. Şebeke erişim performansının iyileştirilmesi için, bu performansı optimum bir şekilde sağlayan algoritma ve prosedürler üzerinde, çok yoğun bir şekilde çalışmalar halen devam etmektedir.

5. Referanslar

- [1] D. T. Wiriadmadja, K. W. Choi, "Hybrid random access and data transmission protocol for machine-to-machine communications in cellular networks," IEEE Trans. Wireless Communication, vol. 14, no. 1, pp. 33–46, Ocak 2015.
- [2] Z. Wang, V. W. Wong, "Optimal access class barring for stationary machine type communication devices with timing advance information," IEEE Transactions Wireless Communication, vol. 14, no. 10, pp. 5374–5387, Ekim 2015.

- [3] F. Morvari, A. Ghasemi, “Two-Stage resource allocation for random access M2M communications in LTE network,” *IEEE Communication Letters*, vol. 20, no. 5, pp. 982–985, Mayıs 2016.
- [4] J.-B. Seo, V. C. Leung, “Design and analysis of backoff algorithms for random access channels in UMTS-LTE and IEEE 802.16 systems,” *IEEE Transactions Vehicular Technology*, vol. 60, no. 8, pp. 3975–3989, Ekim 2011.
- [5] Y. Yu, G. B. Giannakis, “High-throughput random access using successive interference cancellation in a tree algorithm,” *IEEE Transaction on Information Theory*, vol. 53, no. 12, pp. 4628–4639, Aralık 2007.
- [6] Z. Ding, Z. Yang, P. Fan, H. V. Poor, “On the performance of non-orthogonal multiple access in 5G systems with randomly deployed users,” *IEEE Signal Process. Letters*, vol. 21, no. 12, pp. 1501–1505, Aralık 2014.
- [7] Y. Liu, Z. Ding, M. ElKashlan, H. V. Poor, “Cooperative non-orthogonal multiple access with simultaneous wireless information and power transfer,” *IEEE Journal and Selected Areas Communication* vol. 34, no. 4, pp. 938–953, Nisan 2016.
- [8] Z. Ding, M. Peng, H. V. Poor, “Cooperative non-orthogonal multiple access in 5G systems,” *IEEE Communication Letters*, vol. 19, no. 8, pp. 1462–1465, Haziran 2015.
- [9] Y. Liang, X. Li, J. Zhang, Z. Ding, “Non-Orthogonal Random Access (NORA) for 5G Networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, Issue: 7, Temmuz 2017.
- [10] Rysavy Research “LTE to 5G: Cellular and Broadband Innovation,” in 5G Americas, Ağustos 2017.
- [11] M. R. Palattella, M. Dohler, A. Grieco, G. Rizzo, J. Torsner, T. Engel, L. Ladid, “Internet of Things in the 5G Era: Enablers, Architecture, and Business Models,” in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 34, No. 3, Mart 2016.
- [12] N. Al-Falahy and O. Y. Alani. “Technologies for 5G Networks: Challenges and Opportunities,” in *IT Professional Volume: 19, Issue: 1, Ocak-Şubat 2017*.
- [13] A. F. Molisch, V. V. Ratnam, S. Han, Z. Li, S. L. H. Nguyen, L. Li, K. Haneda, “Hybrid Beamforming for Massive MIMO: A Survey,” *IEEE Communications Magazine*, Eylül 2017.
- [14] X. Zhang, A. Molisch, S.-Y. Kung, “Variable-phase-shift-based RF-baseband codesign for MIMO antenna selection,” *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 53, Issue: 11, Kasım 2005.
- [15] S.-Y. Lien, S.-L. Shieh, Y. Huang, B. Su, Y.-L. Hsu, H.-Y. Wei, “5G New Radio: Waveform, Frame Structure, Multiple Access, and Initial Access,” *IEEE Communications Magazine*, Haziran 2017.

5G İletişim Ağı için Yama Anten Tasarımı ve Besleme Yöntemlerinin İncelenmesi

Patch Antenna Design for 5G Networks and Investigation of Feed Methods

Orçun YILDIRAN¹, Hüsnü Deniz BAŞDEMİR²

¹Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Çankaya Üniversitesi
orcunyildiran@gmail.com, c1382202@cankaya.edu.tr

²Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Çankaya Üniversitesi
basdemir@cankaya.edu.tr

Özet

Mevcut mobil telefon ağ nesilleri, kablosuz cihazlar için yüksek kaliteli ve düşük gecikme süreli uygulamalar sağlamada kısıtlamalara sahiptir [1]. Bu yüzden, 5. nesil mobil iletişim ağına (5G) olan ilgi, yüksek iletim oranı, yüksek kapasite ve düşük ağ gecikmesi özellikleri ile birlikte gün geçtikçe artmaktadır [2].

Bu makale, 5G mobil ağı için dikdörtgen ve dairesel yama antenlerin tasarımı ve analizini içermektedir. Antenleri beslemek için hem mikroşerit hem de koaksiyal besleme metotları kullanılmıştır. Her iki metotta da en iyi anten performansını elde etmek için en iyi besleme noktası bulunmuştur. Anten simüle etmek ve ışıma diyagramı, geri dönüş kaybı ve voltaj dalga oranı (VSWR) gibi karakteristik özelliklerini bulmak için High Frequency Structural Simulator (HFSS) kullanılmıştır.

Ayrıca, farklı besleme metotları ile beslenen dikdörtgen ve dairesel yama antenler için anten parametrelerinin hesaplanması amacı ile MATLAB programı kullanılarak grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI) tasarlanmıştır.

Abstract

The existing generations of cellular networks have restrictions in providing high quality and low latency applications for wireless devices [1]. Therefore, the attention to the 5th generation (5G) mobile communication network is increasing day by day with its higher transmission rate, higher capacity, and lower network latency [2].

This paper contains the design and analyzes of rectangular and circular patch antennas for the next generation (5G) mobile networks. Both the microstrip feed line and coaxial feed methods are used to feed the patch antenna. The best feed point location for both methods is found to achieve the highest performance. The High Frequency Structural Simulator (HFSS) is used to simulate the antenna and find out the antenna characteristics such as VSWR, return loss, radiation pattern. Moreover, a MATLAB Graphical User Interface (GUI) is designed to calculate the antenna parameters for rectangular and circular patch antennas with different feeding methods.

1. Giriş

Dünya genelinde beş trilyondan fazla cihaz, ses, veri ve diğer uygulamalar için kablosuz bağlantı talebinde bulunmaktadır [3]. Mevcut mobil telefon ağ nesilleri, kablosuz cihazlar için yüksek kaliteli ve düşük gecikme süreli uygulamalar sağlamada kısıtlamalara sahiptir [1]. Bu yüzden, 5. nesil mobil iletişim ağına (5G) olan ilgi, yüksek iletim oranı, yüksek kapasite ve düşük ağ gecikmesi özellikleri ile birlikte gün geçtikçe artmaktadır [2] ve bu yönde çalışmalar hız kazanmaktadır.

İletişim sistemlerinin en önemli elemanlarından bir tanesi antendir. 5G sistemini etkin ve verimli bir şekilde görevlendirmek için yama antenler gibi kompakt antenler tasarlanmalıdır [3]. Mikroşerit yama antenler çeşitli avantajlarından dolayı, mikrodalga frekansı alanında ve füzeler için radar, telemetre, küresel konumlama sistemi (GPS) ve mobil iletişim cihazları gibi çeşitli uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [4, 5]. Bu avantajlar, yüksek performans, düşük maliyet, hafif ağırlık, küçük boyut ve kolay üretimdir [4]. Ayrıca, yama antenlerin şekilleri ve boyutları gibi fiziksel parametreleri kullanılarak antenin karakteristik özellikleri değiştirilebilir [6].

Tasarlanan antenler 28 GHz frekansında yayın yapmaktadır. Anten tasarımında, 2.2 dielektrik sabitine sahip 0.508 mm kalınlığındaki Roger RT/duroid 5880 kullanılmıştır.

2. Mikroşerit Besleme Metodu ile Beslenen Dikdörtgen Yama Anten Tasarımı ve Analizi

Tasarımda anten boyutlarını hesaplamak için [7] tarafından verilen aşağıdaki formüller kullanılmıştır. Antenin genişliğini bulmak için (W) Eşitlik (1) kullanılmıştır.

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{V_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

ϵ_r : Dielektrik Sabiti

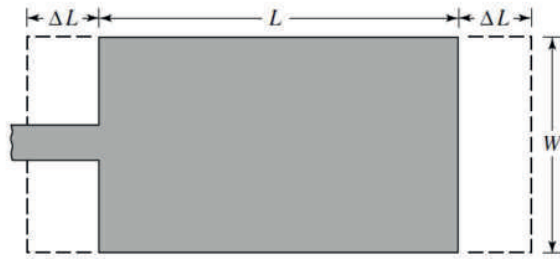
f_r : Rezonans Frekansı

μ_0 : Serbest Uzay Geçirgenliği

ϵ_0 : Serbest Uzay Permittivitesi

V_0 : Serbest Uzay Hızı

Antenin boyunu hesaplamak için, ilk olarak Eşitlik (2) kullanılarak efektif dielektrik sabiti hesaplanmalıdır. Bulunan değer, efektif dielektriğin bir fonksiyonu olan ve Eşitlik (3)'de verilen ΔL hesaplamak için kullanılmaktadır. ΔL , kırılma efektifinin bir sonucudur. Bu efekt yüzünden mikroşerit anten elektriksel olarak fiziksel boyutundan daha büyük gözükmektedir. Bu durum Şekil 2'de gösterilmiştir.



(a) Üstten Görünüm

Patch



(b) Yandan Görünüm

Şekil 1: Yama Antenin Fiziksel ve Elektriksel Boyu

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) + (\frac{W}{h} + 0.264)}{(\epsilon_{reff} - 0.254) + (\frac{W}{h} + 0.8)} \quad (3)$$

Kırılma efektifinin sonucu olarak antenin boyu ΔL kadar uzatılmaktadır. Bu yüzden, efektif boyun hesaplamak için Eşitlik (4)'de verilen formül kullanılmıştır.

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (4)$$

Mikroşerit antenlerde genellikle, ışılan yüzeyin arka düzleminde toprak yüzeyi yer almaktadır. Bu yüzeyin boyutlarını hesaplamak için [8], [9], [10] ve [11] tarafından verilen Eşitlik (5)'deki formüller kullanılmıştır.

$$W_g = 6h + W \quad (5a)$$

$$L_g = 6h + L. \quad (5b)$$

Mikroşerit besleme yönteminde, yüksek performans elde edebilmek için besleme ile antenin empedans olarak eşleştirilmesi gerekmektedir. Bu eşleştirme için Bunu sağlayabilmek için ilk olarak antenin giriş direnci R_{in} bulunmalıdır.

$$R_{in} = \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} \quad (6)$$

R_{in} hesaplayabilmek için Eşitlik (6)'da görüldüğü gibi G_1 ve G_{12} kondüktansları bulunmalıdır.

$$G_1 = \frac{I_1}{120\pi^2} \quad (7)$$

Eşitlik (7)'deki I_1 aşağıda yer alan formül ile hesaplanmıştır.

$$I_1 = \int_0^\pi \left[\frac{\sin(\frac{k_0 W}{2} \cos\theta)}{\cos\theta} \right]^2 \sin^3\theta d\theta \quad (8)$$

$$= -2 + \cos(X) + X S_i(X) + \frac{\sin(X)}{X} \quad (8a)$$

$$X = k_0 W \quad (8b)$$

$$G_{12} = \frac{1}{120\pi^2} \int_0^\pi \left[\frac{\sin(\frac{k_0 W}{2} \cos\theta)}{\cos\theta} \right]^2 J_0(k_0 L \sin\theta) \sin^3\theta d\theta \quad (9)$$

G_1 ve G_{12} hesaplanarak R_{in} bulunduktan sonra inset besleme uzaklığı aşağıda verilen Eşitlik (10) ile bulunmuştur.

$$Z_0 = R_{in} \cos^2 \left(\frac{\pi}{L} y_0 \right) \quad (10)$$

Bu parametre bulunduktan sonra mikroşerit besleme ile yama anten arasında bulunan boşluğu hesaplamak için [12] tarafından verilen Eşitlik (11) kullanılmıştır.

$$g = \frac{V_0}{\sqrt{2x\epsilon_{eff}}} \frac{4.65 \times 10^{-12}}{f} \quad (11)$$

Mikroşerit beslemenin uzunluğunu (TL) bulmak için [13] tarafından verilen Eşitlik (12) kullanılmıştır.

$$TL = \frac{\lambda_0}{4\sqrt{\epsilon_r}} \quad (12)$$

Mikroşerit beslemenin genişliğini hesaplamak için [13], [14], [15] ve [16] tarafından verilen Eşitlik (13) kullanılmıştır.

$$\frac{W_f}{h} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A} - 2h}, & \frac{W_0}{h} \leq 2 \\ \frac{2}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\}, & \frac{W_0}{h} \geq 2 \end{cases} \quad (12)$$

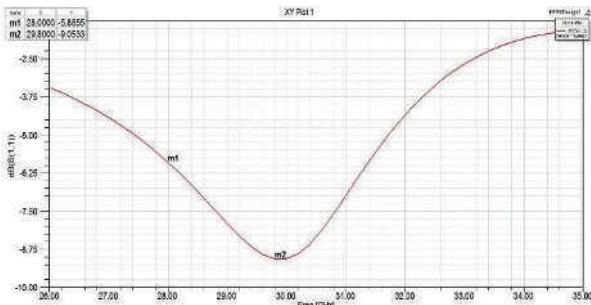
$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r + 1}{\epsilon_r - 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$

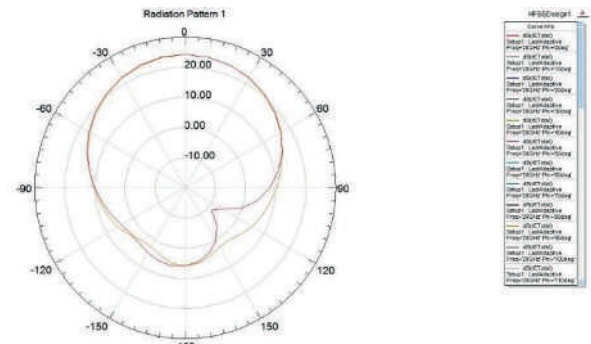
Eşitlik (1) – (12) kullanılarak hesaplanan anten parametreleri Tablo 1’de milimetre cinsinden verilmiştir. Bu parametreler HFSS kullanılarak simüle edilip anten geri dönüş kaybı, ışınım diyagramı ve VSWR grafikleri sırasıyla Şekil 1, 2 ve 3’de sırasıyla verilmiştir.

Anten Genişliği (W)	4.235
Anten Boyu (L)	3.282
Toprak Alanı Genişliği	7.283
Toprak Alanı Boyu	6.329
Inset Besleme Noktası Uzaklığı	1.135
Besleme Boşluğu Genişliği (g)	0.025
Besleme Genişliği	1.565
Besleme Uzunluğu	1.902

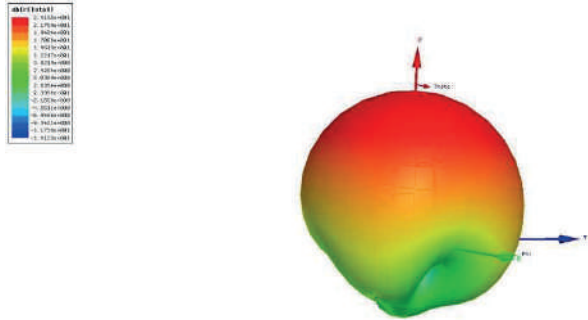
Tablo 1: Hesaplanan Anten Parametreleri



Şekil 1: Geri Dönüş Kaybı Grafiği

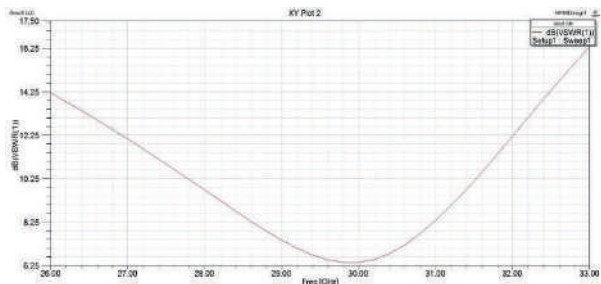


(a) Phi = 0° ve 90° iken Işınım Diyagramı



(b) 3D Işınım Diyagramı

Şekil 2: Işınım Diyagramı



Şekil 3: VSWR Grafiği

Şekil 1’de görüldüğü gibi minimum geri dönüş kaybı 29.8 GHz frekansındadır ve değeri -9.05 dB’dir. Bu değer iyi bir anten performansı için yeterli değildir. Bu makalede kabul edilebilir en yüksek değer -10 dB olarak alınmıştır. Hedef frekans olan 28 GHz’de ise bu değer daha yüksektir ve -5.89 dB’dir. Şekil 3’de görüldüğü gibi VSWR en düşük değeri 29.8 GHz’de bulunmaktadır.

Hesaplanan değerler ile anten simüle edildiğinde hedeflenen değerler elde edilememiştir. Bu hedeflerin elde edilmesi için yama boyutları, mikroşerit besleme boyutları gibi antenin boyutsal parametreleri deneme yanılma yöntemi ile değiştirilerek hedef frekans olan 28 GHz’de en iyi performans elde edilmeye çalışılmıştır.

İlk olarak mikroşerit beslemenin uzunluğu 1.902 mm’den 2.659 mm’ye çıkarılmış ve anten simüle edildiğinde geri dönüş kaybının minimum değerinin 29.6 GHz’de -7.93 dB olduğu görülmüştür. Hedef frekans olan 28 GHz’de ise bu değer -5.89 dB olmuştur. Beslemenin boyunun antenin performansı üzerinde büyük bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir.

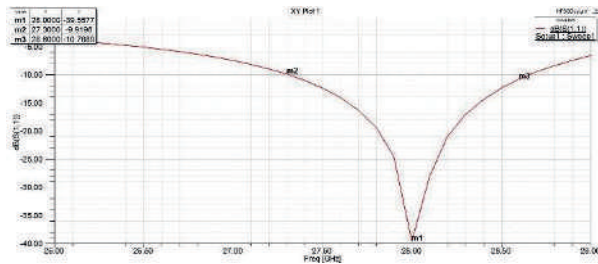
İkinci olarak besleme ile anten arasındaki boşluk mesafesi 0.025 mm’den 0.1 mm’ye çıkarılmış ve simülasyon sonucunda geri dönüş kaybının minimum değerinin 29.4 GHz’de -19.99 dB olduğu görülmüştür. 28 GHz’de bu değer -6.97 dB’dir. Antenin bant genişliği 28.53 – 29.4 GHz aralığında yaklaşık 1.55 GHz’dir. Bu mesafe 0.2 mm’ye çıkarıldığında minimum değerler yükseldiği gözlemlenmiştir. Buradan, boşluk mesafesinin fazla küçük veya büyük olması anten performansını olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir.

Son olarak, beslemenin genişliği 1.45 mm’ye düşürülmüştür. Simülasyonun sonucunda geri dönüş kaybının minimum değerinin 29.2 GHz’de -24.61 dB’de olduğu görülmüştür. Antenin bant genişliği 28.3 – 29.85 GHz aralığında yaklaşık 1.55 GHz’dir.

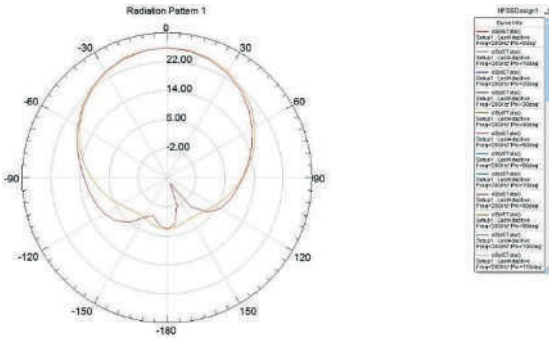
Deneme yanılma yöntemi ile hedef frekans 28 GHz'de minimum geri dönüş kaybın elde edildiği anten boyutları *Tablo 2*'de verilmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen geri dönüş kaybı, ışınma diyagramı ve VSWR grafikleri sırasıyla *Şekil 4*, *5* ve *6*'da sırasıyla verilmiştir.

Anten Genişliği (W)	4
Anten Boyu (L)	3.4
Toprak Alanı Genişliği	9.356
Toprak Alanı Boyu	9.47
Inset Besleme Noktası Uzaklığı	1.14
Besleme Boşluğu Genişliği (g)	0.07
Besleme Genişliği	1
Besleme Uzunluğu	1.902

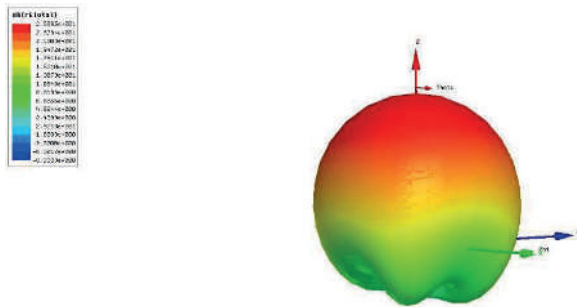
Tablo 2: Tasarlanan Anten Boyutları



Şekil 4: Geri Dönüş Kaybı Grafliği

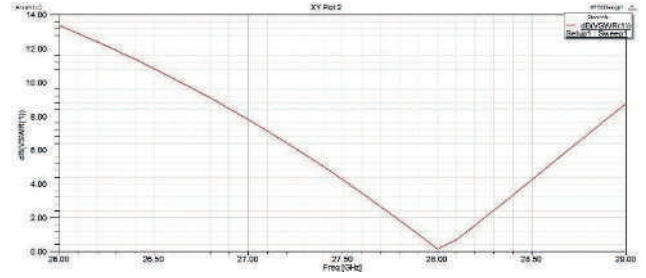


(a) Phi = 0° ve 90° iken Işınma Diyagramı



(b) 3D Işınma Diyagramı

Şekil 5: Işınma Diyagramı



Şekil 6: VSWR Grafliği

3. Mikroşerit Besleme Metodu ile Beslenen Dairesel Yama Anten Tasarımı ve Analizi

Dairesel yama antenin boyutlarını hesaplamak için [7] ve [18] tarafından verilen Eşitlik (13) ve (14) kullanılmıştır.

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi\epsilon_r F} \left[\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right) + 1.7726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (13)$$

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (14)$$

Toprak alanının boyutları ve besleme boyutları Eşitlik (5) – (12) ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar milimetre cinsinden *Tablo 3*'de verilmiştir.

Anten Yarıçapı (a)	1.89
Toprak Alanı Genişliği	4.94
Toprak Alanı Boyu	4.94
Inset Besleme Noktası Uzaklığı	1.135
Besleme Boşluğu Genişliği (g)	0.025
Besleme Genişliği	1.565
Besleme Uzunluğu	1.902

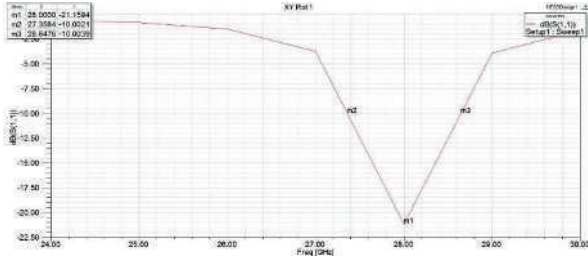
Tablo 3: Dairesel Yama Antenin Hesaplanan Boyutları

Anten simüle edildiğinde elde edilen minimum geri dönüş kaybı 32 GHz'de -5.49 dB'dir. Hedeflenen rezonans frekansı 28 GHz'de ise -2.85 dB'dir.

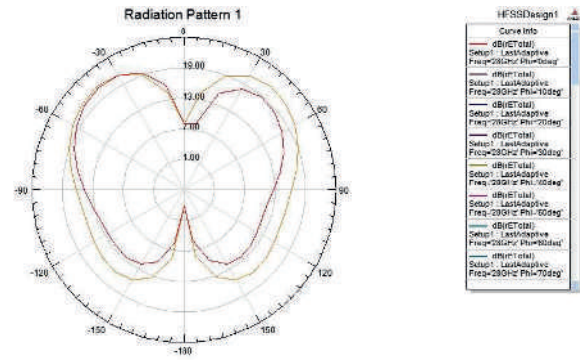
Optimum anten performansını elde edebilmek için deneme yanılma yöntemi ile antenin boyutları değiştirilmiştir. Optimum performansın elde edildiği değerler *Tablo 4*'te milimetre cinsinden verilmiştir.

Anten Yarıçapı (a)	3.5
Toprak Alanı Genişliği	8.356
Toprak Alanı Boyu	9.216
Inset Besleme Noktası Uzaklığı	1.2
Besleme Boşluğu Genişliği (g)	0.34
Besleme Genişliği	0.8
Besleme Uzunluğu	2

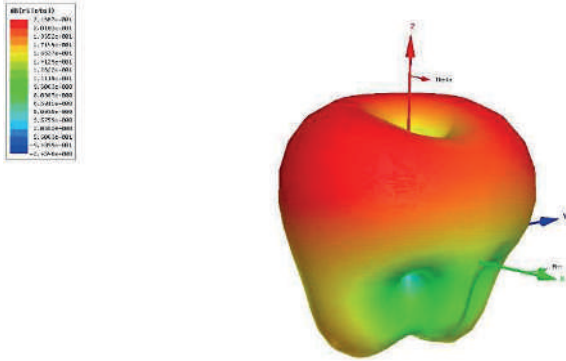
Tablo 4: Optimum Anten Performansı için Anten Boyutları
Anten simüle edildikten sonra elde edilen geri dönüş kaybı, ışınma diyagramı ve VSWR grafikleri *Şekil 7*, *8* ve *9*'da sırası ile verilmiştir.



Şekil 7: Geri Dönüş Kaybı Grafiği

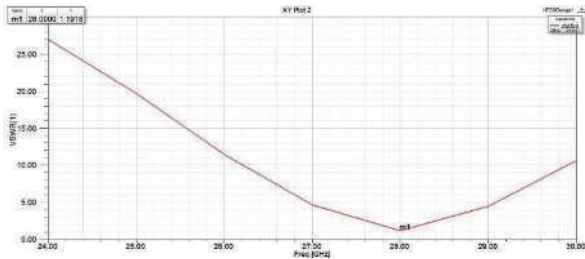


(a) Phi = 0° ve 90° iken Işıma Diyagramı



(b) 3D Işıma Diyagramı

Şekil 8: Işıma Diyagramı



Şekil 9: VSWR Grafiği

Şekil 7’de görüldüğü gibi geri dönüş kaybının minimum değeri 28 GHz’de -21.16 dB’dir. Bu frekansta, VSWR değeri yaklaşık 1.19 dB’dir.

4. Koaksiyal Besleme Metodu ile Beslenen Dikdörtgen Yama Anten Tasarımı ve Analizi

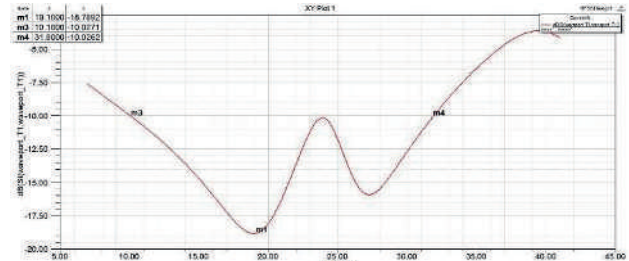
2. bölümde verilen formüller ile anten ve toprak alanının genişliği ve uzunluğu bulunduktan sonra, [19] ve [20] tarafından verilen Eşitlik (15) kullanılarak, koaksiyal besleme noktası bulunmuştur.

$$X_f = \frac{L}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (15)$$

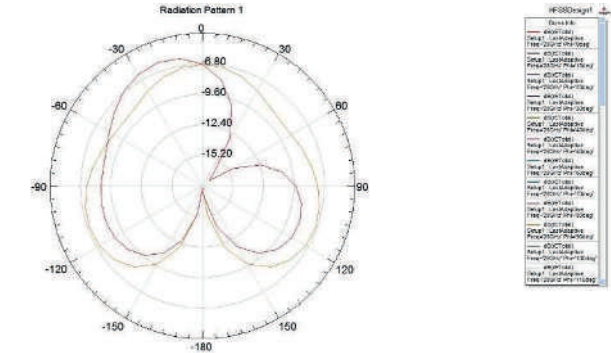
$$Y_f = \frac{W}{2}$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda besleme noktasının x düzlemindeki noktası $X_f = 2.21$ mm, y düzlemindeki noktası $Y_f = 2.12$ mm olarak bulunmuştur.

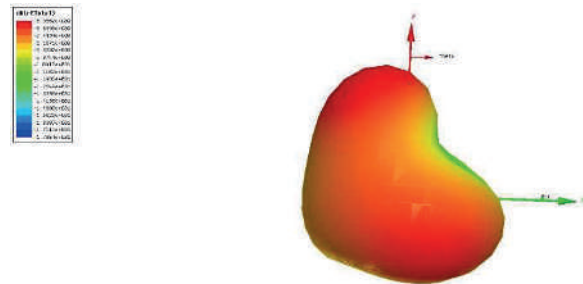
Anten simüle edildikten sonra elde edilen sonuçlar Şekil 10, 11 ve 12’de verilmiştir.



Şekil 10: Geri Dönüş Kaybı Grafiği

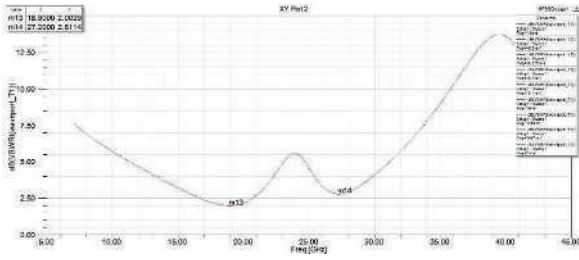


(a) Phi = 0° ve 90° iken Işıma Diyagramı



(b) 3D Işıma Diyagramı

Şekil 11: Işıma Diyagramı

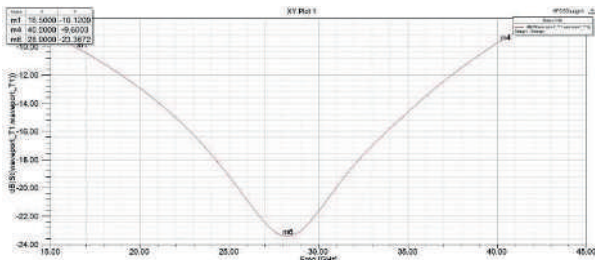


Şekil 12: VSWR Grafiği

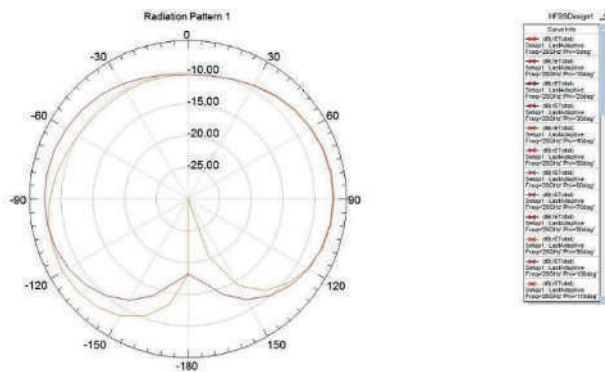
Elde edilen simülasyon sonuçlarında görüldüğü gibi, minimum geri dönüş kaybı 19.1 GHz'de ve -18.79 dB'dir. Ayrıca 28 GHz'de de anten ışıkmaktadır. Ancak, antenin 28 GHz'deki performansını arttırmak için anten boyutları değiştirilerek tekrar simüle edilmiştir. 28 GHz'de en iyi performansı sağlayan anten boyutları *Tablo 5*'de verilmiştir. Simülasyon sonuçları *Şekil 13*, *14* ve *15*'de verilmiştir.

Anten Genişliği (W)	2.3
Anten Boyu (L)	2
Besleme Noktası (x)	-0.1
Besleme Noktası (y)	0
Toprak Alanı Genişliği	5.5
Toprak Alanı Boyu	4.5

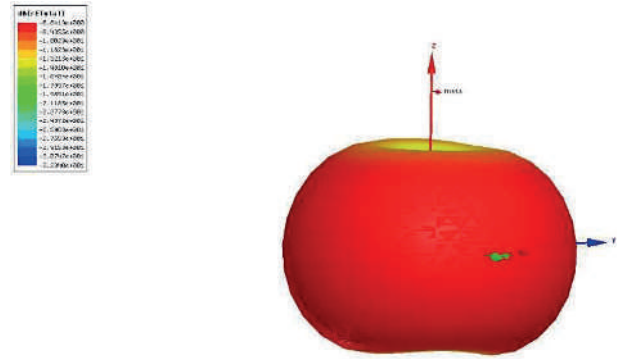
Tablo 5: Koaksiyal Besleme için Anten Boyutları



Şekil 13: Geri Dönüş Kaybı Grafiği

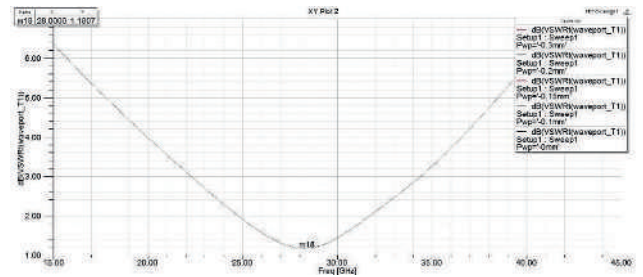


(a) Phi = 0° ve 90° iken Işıma Diyagramı



(b) 3D Işıma Diyagramı

Şekil 14: Işıma Diyagramı



Şekil 15: VSWR Grafiği

Şekil 13'de de görüldüğü gibi minimum değer 28 GHz'de ve -23.37 dB'dir. Antenin bant genişliği 28.3 – 29.85 GHz aralığında yaklaşık 1.55 GHz'dir. VSWR değeri 28 GHz'de minimum değeri ve 1.18 dB'dir.

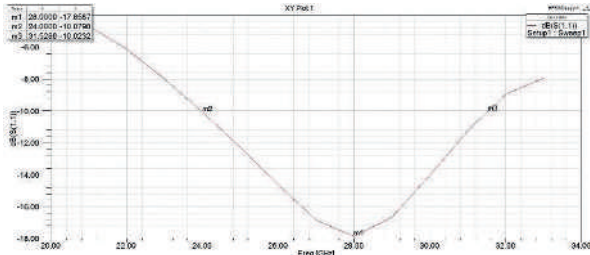
5. Koaksiyal Besleme Metodu ile Beslenen Dairesel Yama Anten Tasarımı ve Analizi

Anten boyutları 3. Bölümde verilen Eşitlik (13) ve (14) ile hesaplanmıştır. Besleme noktası ise Eşitlik (15) ile hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda, anten yarıçapı 3.78 mm, besleme noktası x koordinatı 0.616 mm ve y koordinatı 0.945 mm olarak bulunmuştur. Besleme noktası koordinatlarının bütün olasılıkları göz önünde bulundurularak yapılan simülasyonların sonuçları *Tablo 6*'da verilmiştir.

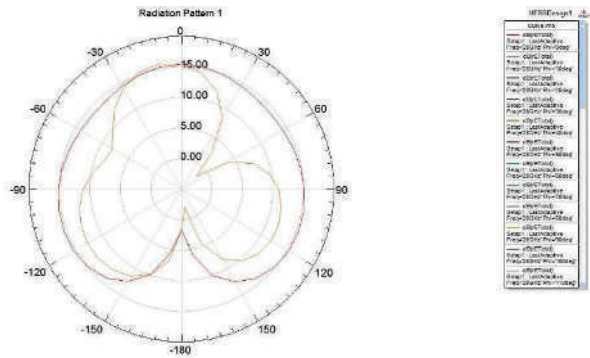
Besleme Noktası (x, y)	Rezonans Frekansı	Geri Dönüş Kaybı (dB)	VSWR (dB)	Band Genişliği
(0.616, 0.945)	19 GHz	-21.38	1.49	8.39 GHz
	37 GHz	-15.75	2.86	9.4 GHz
(-0.616, 0.945)	19 GHz	-21.39	1.48	8.35 GHz
	37 GHz	-15.81	2.84	9.22 GHz
(0.616, -0.945)	19 GHz	-21.36	1.49	8.35 GHz
	37 GHz	-15.78	2.85	9.22 GHz
(-0.616, -0.945)	19 GHz	-21.33	1.49	8.35 GHz
	37 GHz	-15.75	2.86	9.17 GHz

Tablo 6: Simülasyon Sonuçları

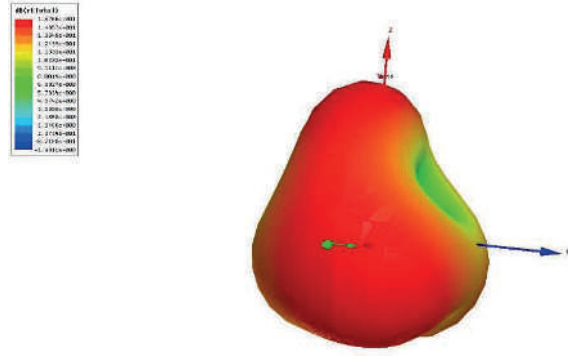
Tasarlanan anten hedef frekans 28 GHz’de -6.89 dB geri dönüş kaybı ile düşük bir performans göstermektedir. Bu frekansta antenin performansını artırmak için boyutları değiştirilmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 16, 17 ve 18’de sırası ile verilmiştir.



Şekil 16: Geri Dönüş Kaybı Grafiği

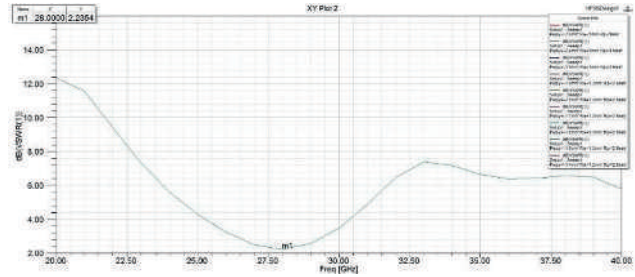


(a) Phi = 0° ve 90° iken Işıma Diyagramı



(b) 3D Işıma Diyagramı

Şekil 17: Işıma Diyagramı



Şekil 18: VSWR Grafiği

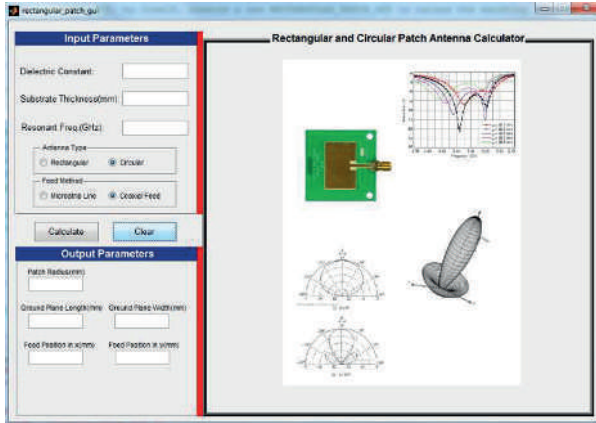
Şekil 16’da görüldüğü gibi minimum minimum geri dönüş kaybı değeri 28 GHz’de ve -17.86 dB’dir. Antenin bant genişliği 24 – 31.53 GHz aralığında yaklaşık 7.53 GHz’dir. Bu frekansta VSWR değeri 2.24 dB’dir.

Anten Yarıçapı (a)	1.25
Toprak Alanı Genişliği	7.856
Toprak Alanı Boyu	7.856
Besleme Noktası (x)	0.1
Besleme Noktası (y)	-1.5

Tablo 7: Dairesel Yama Anten Boyutları

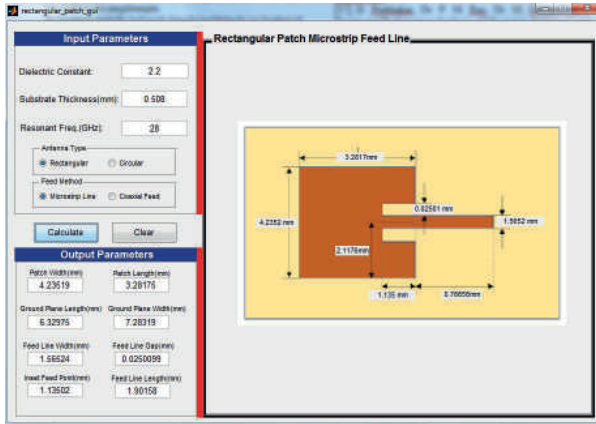
6. Matlab Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (GUI)

Bu makalede dikdörtgen ve dairesel yama anten parametrelerini hesaplamak için verilen eşitlikler, bir matlab kodunda derlenerek kolay kullanımı için Şekil 19’da gösterilen arayüz tasarlanmıştır.

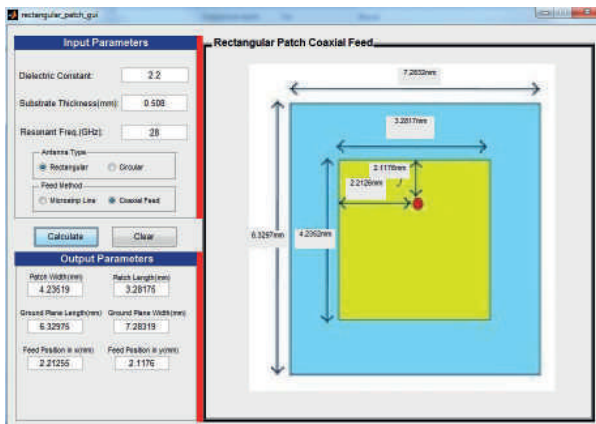


Şekil 19: Matlab Arayüzü

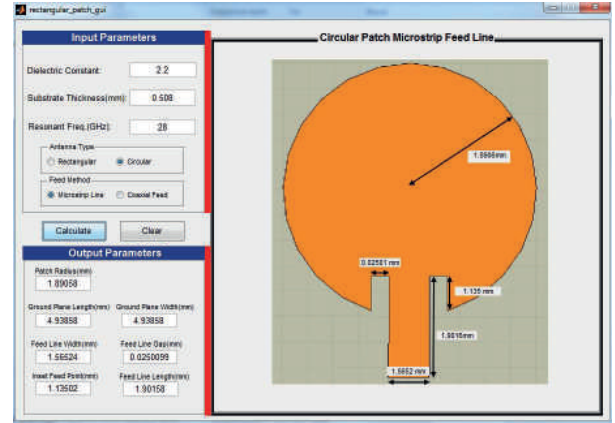
Arayüzde ilk olarak tasarlanacak anten için kullanılacak materyalin dielektrik sabitini ve kalınlığını ve hedeflenen rezonant frekansını girdikten sonra, anten ve besleme tipi seçilmelidir. Hesaplanan değerler "Output Parameters" olarak adlandırılan bölümde gösterilmektedir. Ayrıca sonuçlar tasarlanan antenin resmi üzerinde ilgili yerlerde gösterilmektedir. Mikroşerit beslemeli dikdörtgen ve dairesel yama anten için çalıştırılan arayüz Şekil 20 ve 21'de, koaksiyal beslemeli dikdörtgen ve dairesel yama anten için arayüz ise Şekil 22 ve 23'de sırası ile gösterilmiştir.



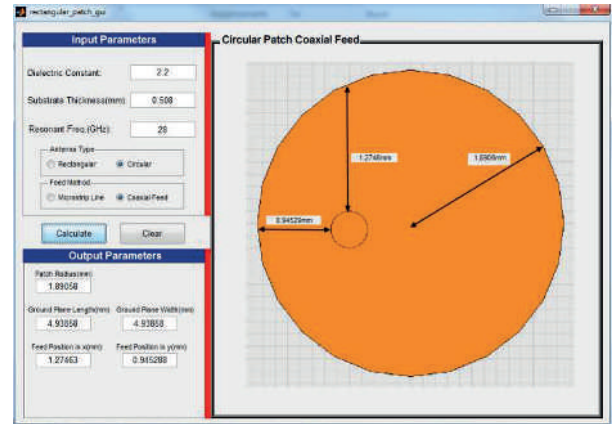
Şekil 20: Mikroşerit Beslemeli Dikdörtgen Yama Anten



Şekil 21: Koaksiyal Beslemeli Dikdörtgen Yama Anten



Şekil 22: Mikroşerit Beslemeli Dairesel Yama Anten



Şekil 23: Koaksiyal Beslemeli Dairesel Yama Anten

7. Sonuç

Bu makalede 5G iletişim ağı için 28 GHz'de ışımaya yapan dikdörtgen ve dairesel yama antenler tasarlanmıştır. Antenler mikroşerit ve koaksiyal besleme olmak üzere iki farklı metod ile beslenerek performans değişimleri incelenmiştir.

Her iki besleme metodunda da dikdörtgen yama anten daha iyi bir performans sergilemiştir.

İki besleme metodu birbiriyle karşılaştırıldığında ise koaksiyal besleme metodunun daha geniş bant genişliğine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

8. Teşekkür

Bu çalışma Orçun YILDIRAN'ın yüksek lisans tezinin bir parçasıdır.

9. Kaynaklar

- [1] S. Ershadi, A. Keshtkar, A.H. Abdelrahman, X. Yu, H. Xin. Wideband Subarray Design for 5G Antenna Arrays, URSI Asia-Pacific Radio Science Conference, 2016, Sayfa 1
- [2] M. E. Shorbagy, R. M. Shubair, M. I. AlHajri, N. K. Mallet. On the Design of Millimetre-Wave Antennas for 5G, URSI Asia-Pacific Radio Science Conference, 2016, Sayfa 1
- [3] M. E. Shorbagy, R. M. Shubair, M. I. AlHajri, N. K. Mallet. On the Design of Millimetre-Wave Antennas for 5G, IEEE, 2016, Sayfa 1.
- [4] S. E. Jasim, M. A. Jusoh, M. H. Mazwir, S. N. S. Mahmud. Finding the Best Feeding Point Location of Patch Antenna

Using HFSS, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2016, Sayfa 1.

[5] S. K. Sidhu, J. S. Sivia. Comparison of Different Types of Microstrip Patch Antennas, International Conference on Advancements in Engineering and Technology (ICAET), 2015, Sayfa 1.

[6] A. Majumder. Rectangular Microstrip Patch Antenna Using Coaxial Probe Feeding Technique to Operate in S-Band, International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), 2013, Sayfa 1.

[7] Constantine, A. Balanis, Antenna Theory Analysis and Design 2nd Edition, Wiley India (p.) Ltd. 2007.

[8] J. M. Singh, M. Mishra, P. Sharma. Design & Optimization of Microstrip Patch Antenna, International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS), 2013.

[9] M. A. Afridi. Microstrip Patch Antenna – Designed at 2.4 GHz Frequency, Science Signpost Publishing, 2015.

[10] S. E. Jasim, M. A. Jusoh, M. H. Mazwir, S. N. S. Mahmud. Finding the Best Feeding Point Location of Patch Antenna Using HFSS, Asian Research Publishing Network (ARPN), 2015.

[11] A. Majumder. Rectangular Microstrip Patch Antenna Using Coaxial Probe Feeding Technique to Operate in S-Band, International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), 2013.

[12] M. A. Matin, A. I. Sayeed. A Design Rule for Inset-fed Rectangular Microstrip Patch Antenna. WSEAS Transactions on Communications, 2010.

[13] L. C. Paul, N. Sultan. Design, Simulation and Performance Analysis of a Line Feed Rectangular Micro-Strip Patch Antenna. International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies, 2013.

[14] Bahl, Inder. Microwave Solid State Circuit Desing 2nd Edition, Wiley India Ltd., 2003

[15] Volakis, John. Antenna Engineering Handbook 4th Edition, McGraw-Hill Education, 2007.

[16] G. V. P. Pranathi, Dr. N. D. Rani, Dr. M. Satyanarayana, Prof. G. T. Rao. Patch Antenna Parameters Variation with Ground Plane Dimensions, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, 2015.

[17] D. Prabhakar, Dr. P. M. Rao, Dr. M. Satyanarayana. Design and Performance Analysis of Microstrip Antenna Using Different Ground Plane Techniques for WLAN Application, I. J. Wireless and Microwave Technologies, 2016.

[18] K. Gupta, K. Jain, P. Singh. Analysis and Design of Circular Microstrip Patch Antenna at 5.8 GHz, International Journal of Computer Science and Information Technologies (IJCSIT), 2014.

Endüstri 4.0 Kapsamında CAN Haberleşmesi Uygulamalarının İncelenmesi

Özgür Güçlü¹, Selçuk Kızır²

¹ Ford Otosan Ar-Ge Merkezi, Sancaktepe, İstanbul
e-mail: oguclu@ford.com.tr

² Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli
e-mail: selcuk.kizir@kocaeli.edu.tr

I. Özet

Bu çalışma kapsamında amacımız endüstride sıkça kullanılan Kontrol Alan Ağı (Controller Area Network, kısaca CAN) haberleşmesinin Endüstri 4.0 ile ilişkisinin araştırılması ve incelenmesi ve öne çıkan yönlerinin örneklerle açıklanmasıdır.

CAN haberleşmesi ilk olarak Robert Bosch tarafından geliştirilmiş ve endüstride çeşitli alanlarda kullanılmıştır ve günümüzde kullanılmaya devam etmektedir [1]. Endüstri 4.0 ile birlikte de CAN ve CANFD haberleşmesinin kullanım alanlarının genişlemesi beklenmektedir. Bu kapsamda CAN haberleşmesinin temellerine değinilmiş, bu yapıların endüstride getirdiği avantajlar ile dezavantajlar tartışılmış ve örneklerle açıklanmıştır.

Bu çalışma sonucunda CAN haberleşmesinin endüstrideki olası kullanım alanları belirlenecek ve Nesnelerin İnterneti (Internet of Things, kısaca IOT) alanındaki güvenlik sorununun Endüstri 4.0 hareketinde CAN kullanımı ile önüne geçme imkanı incelenmiş olacaktır.

II. Abstract

The purpose of this study is to investigate the relationship between Industry 4.0 and Controller Area Network (CAN) and to demonstrate advantages with examples.

CAN communication systems were first developed by Robery Bosch and are still being used in different areas of Industry. [1] Usage areas of CAN and CANFD communications are expected to increase with Industry 4.0. Within this scope, this study explains the basics of CAN communication and demonstrates the advantages and disadvantages in industrial applications.

After this work, possible usage areas of CAN communication in different types of industrial applications will be demonstrated and the possibility to overcome certain security issues that come with Internet of Things (IoT) by using CAN communication will be investigated.

III. Endüstri 4.0 Hareketi

Endüstri 4.0 yada başka bir deyişle dördüncü sanayi devrimi; 2020'li yıllarda tam anlamıyla hayatımıza girmesi beklenen, üretim başta olmak üzere endüstrinin tüm alanlarında Nesnelerin İnterneti ve siber fiziksel sistemlere dayalı yapıların kullanılmaya başlamasını kapsar [2]. Hayatımızın her alanında Nesnelerin İnterneti kavramının her geçen gün daha da fazla yer aldığını görüyoruz [3]. Hayatı kolaylaştıran ve etrafımızdaki tüm nesnelere akıllı hale getirmeyi hedefleyen bu hareketin Endüstri alanına da sıçraması kaçınılmazdır. Endüstri 4.0 içerisinde Nesnelerin İnterneti uygulamalarının ve özellikle büyük veri işleme ve anlamlandırma yapılarının hem üretim süreçlerini hızlandırması hem de toplanan verilerin daha hızlı ve doğru değerlendirilmesi yoluyla aksaklıkları daha hızlı saptayarak yapılacak iyileştirmelerde ve süreç yönetiminde büyük kolaylıklar sağlanması beklenmektedir.

Sanayi Devrimlerinin geçmişine baktığımızda ilk sanayi devriminin buharlı iş makinelerinin bulunması ile 1763 yılında başladığını görmekteyiz. Bu ilkin ardından endüstri hızla gelişimini sürdürmüş ve elektrikli üretim aletlerinin işin içine girmesi ile birlikte 1870 yılında ikinci sanayi devrimi gerçekleşmiştir. Bunun devamında üretimin insan eliyle yapıldığında ortaya çıkan hatalardan nasıl arındırılacağı tartışılmaya başlanmıştır. 1969 senesinde ilk Programlanabilir Mantıksal Kontrolör (Programmable Logic Controller, kısaca PLC) yapısının bulunması ve kullanılması ile birlikte üçüncü sanayi devrimi gerçekleşmiştir. Bu gelişme ile birlikte ilk defa otomasyon kavramı endüstride konuşulmaya başlanmış ve insan eli değmeden üretime geçilmiştir [4]. Yine insanlar tarafından programlanan makinelerin söz konusu işleri yapmasının ardından bir sonraki adım bu makinelerin birbirleri ile iletişimi olarak görülmüş ve Nesnelerin İnterneti ile yayılan bağlı cihazlar kavramının endüstride kullanımı gündeme gelmiştir [5]. Endüstri 4.0 bu yapıların devreye girmesi ile birlikte bu aşamanın da başarılı olmasını hedeflemektedir. Bu noktada fabrikaların tamamen makina gücü ve akıllı sistemler ile üretime geçmesi ve üretimi hızlandırmanın yanında hatalar ile gelen maliyetleri de minimuma indirmesi hedeflenmektedir.

IV. CAN Haberleşmesi ve Tarihi

Kontrol Alan Ağı (CAN) yüksek güvenilirliğe sahip endüstriyel bir seri haberleşme protokolüdür. Robert Bosch tarafından 1983 yılında geliştirilmeye başlanmıştır. 1986 yılında Detroit'te yapılan Society of Automotive Engineers (SAE) konferansında tanıtılmıştır [6]. Intel ve Philips tarafından geliştirilen ilk CAN mikrokontrolörlerinin 1987 yılında piyasaya çıkmasının ardından 1988 yılında sunulan BMW 8 serisi araçlar CAN ile çalışan haberleşme sisteminin otomotiv endüstrisindeki ilk örneği olarak karşımıza çıkmaktadır.

CAN için Bosch tarafından bir çok spesifikasyon dökümanı yayınlanmış olsa da en son yayınlanan ve şu anda 1991 senesinde yayınlanan CAN 2.0 spesifikasyonu kabul edilmekte ve kullanılmaktadır. Bu spesifikasyon iki kısımdan oluşmakta ve 11 bitlik CAN 2.0A ile 29 bitlik CAN 2.0B yapılarını anlatmaktadır[7]. Bununla birlikte CAN haberleşmesinin gelişmiş bir versiyonu olarak görülebilecek CANFD (CAN Flexible Data) haberleşmesi de gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bunun bilinen CAN haberleşmesinden farkı saniyede 1 megabitten daha yüksek hızlarda haberleşebiliyor olmasıdır.

Haberleşme hattının tamamı iki kablo ile kurulabildiği için CAN hatları özellikle kablo sayısını ve dolayısıyla maliyeti azaltma anlamında oldukça faydalıdır. Endüstride birçok makina ve bilgisayar aynı anda haberleşmeyi gerektirmektedir. CAN haberleşmesi bir havuz gibi düşünülebilir. Bağlı olan tüm yapılar havuzdaki bilgilere erişebilmekte ve filtreleyerek alıp kullanabilmektedir.

CAN haberleşmesi OSI mimarisine dayalı çalışmaktadır. Fiziksel katmanda alıcı ve verici modüller birbirinden bağımsız olduğu halde veri bağlantısı katmanında yer alan ID yapıları ve önceliklendirme sayesinde tüm modüller sadece kendilerini ilgilendiren mesajlara ulaşabilmekte, mesajlar gerekli olduğu şekilde önceliklendirilebilmekte ve bu sayede CAN haberleşmesi çok merkezli (multimaster) yapıda çalışabilmektedir [8].

V. Nesnelerin İnterneti ve Güvenlik Sorunları

Nesnelerin İnterneti kavramı ilk olarak 1998 senesinde gündeme gelmiştir. Taşımacılık sistemleri ile birlikte endüstriyel sistemlerde de gittikçe artan bir kullanımı olmasına kesin gözüyle bakılmaktadır [9].

Bu yapıların farklı teknolojilerde kullanılmaya başlaması ile birlikte siber güvenlik konusu da gündeme gelmiş ve IOT ile birlikte gelen en önemli sıkıntı olarak gösterilmektedir. IOT temel olarak 4 katmandan oluşur. Bu katmanlar; algılama, haberleşme, destek ve uygulama katmanlarıdır. Algılama katmanındaki verilerin güvenliği özellikle ön plana çıkmaktadır çünkü haberleşme katmanındaki sistemler internete bağlandıkları anda günümüzde bilinen siber güvenlik yöntemleri algılamadan gelen verileri aktarırken gerekli güvenliği sağlamakta yetersiz kalmaktadır [10].

Bunun için kriptografik yöntemler ve yetkilendirme sistemleri denenmiş ancak istenilen verim alınamamıştır. Bu

sebepten ötürü bu sistemlerde tüm yapıları internete bağlamak yerine sadece ana kontrol yapılarını internete bağlamayı ve haberleşme katmanındaki dataların bilinen güvenli haberleşme sistemleri ile aktarmayı hedefleyen fikirler ön plana çıkmıştır [11]. Özellikle otomotiv ve endüstri alanında bu sistemlerin başında CAN haberleşmesi gelmektedir.

VI. CAN Hatlarında Güvenlik ve Hata Önleme

CAN hatlarında hata oluştuğu durumda ilgili modül hattın normal çalışma koşullarında basmayacağı bir hata çerçevesi göndermekte ve bit stuffing kuralını ihlal etmektedir. Aynı tipten 5 ten fazla bitin arka arkaya gönderilmesiyle tüm modüller hatta bir hata olduğunu algılayabilirler [12]. Modüllerin içerisinde tuttuğu registerlar sayesinde hata sayısı da kayıt altında tutulmaktadır. Bu registerlar dolduğunda yada başka bir deyişle hatta belirli bir sayıdan fazla kez hata oluştuğunda ilgili modül hatta mesaj basmayı ve hattı dinlemeyi tamamen bırakır. Bu şekilde bir modülde hata olduğu durumda diğer modüllerin bundan etkilenmemesi sağlanmaktadır.

CAN BUS haberleşmesinin güvenliğinde Taşıyıcı Duyarlı Çoklu İletişim (Carrier Sense Multiple Access) ismi verilen bir yapının da büyük payı vardır. Bu yapı sayesinde tüm modüller hattı sürekli dinlerler. Hat boş olduğunda mesajlarını gönderirler [13]. Bazı nadir durumlarda bir ünite mesaj gönderdiğinde, özellikle yolun uzunluğundan dolayı başka bir modül bu ünitenin gönderdiği mesajı algılayamaz ve yolu boş zannederek mesaj gönderir. Bu tip durumlar olduğunda iki modül de bu durumu algılar ve mesajı bir süre bekletirler. Daha sonra yolu tekrar kontrol ederek boş ise mesajlarını gönderirler. Bu şekilde mesaj çakışmaları ve üst üste binme sorunları giderilmiş olmaktadır.

Hatalara karşı bir başka önlem ise CRC yapısı ile sağlanmaktadır [14]. Periyodik Dayanıklılık Denetimi (Cyclic Redundancy Control) adı verilen bu yapı her bir mesaj çerçevesinde yer alır ve 15 bitlik bir bölüm ile 1 bitlik limitleme bölümünden meydana gelir. Her bir mesajın özelinde bir CRC değeri hesaplanmaktadır. Gönderici bu değer ile birlikte mesajı gönderdiğinde alıcı modül kendi hesapladığı değer ile kendisine gelen değeri kıyaslar. Eğer iki değer aynı ise mesajın uygun olduğunu anlar ve alır, eğer farklı ise bunu bir hata durumu olarak algılar ve hata çerçevesi üretir. Bunu alan gönderici modül aynı mesajı tekrar göndermesi gerektiğini anlar ve gönderir.

VII. Endüstri 4.0 ve CAN Haberleşmesi

Bütün makinaların haberleşen akıllı cihazlar haline gelmesi ile birlikte yukarıda bahsedilen güvenlik açıkları da ciddi bir problem oluşturmaktadır. Özellikle başlangıç aşamasında tüm yapıların internete bağlı olması hem daha ciddi bir altyapı gerektirmekte hem de bir arıza olduğu durumda aynı ağ içerisinde bulunan tüm yapıları etkileme sorununu beraberinde getirmektedir.

Üretim sektöründe sistemin dayanıklılığı diğer tüm parametrelerden önce gelmektedir. Herhangi bir arıza olduğunda üretim hattının durması çok kısa zamanlarda bile ciddi maddi kayıpları beraberinde getirmektedir. Bu sebepten ötürü, özellikle üretim alanında kullanılan yapılarda arıza oranının çok düşük ve arıza olduğu

durumlarda giderilmesinin olabildiğince hızlı olması beklenmektedir.

CAN haberleşmesinin özellikle güvenlik anlamında getirdiği avantajlardan dolayı Endüstri 4.0 ile birlikte kullanımının ciddi oranda artması beklenmektedir [15]. Sistemin yönetildiği yapılar özellikle uzaktan güncelleme alabilmeleri ve raporlama yapabilmeleri için internete bağlı olmak zorunda olsa da sistemi oluşturan tüm alt elemanların özellikle üretim hatları gibi çok uzun mesafeli olmayan durumlarda CAN ile haberleşmesi hedeflenmektedir.

Günümüzde yaygın olan CAN haberleşme yapıları çoğunlukla 500 kbps hıza kadar çıkabilmektedir ve bu üretimle ilgili endüstriyel uygulamalarda yetersiz kalabilmektedir. Bu sebepten ötürü şu anda 1 mbps üzerinde hızlara çıkabilen CAN FD yapısı çalışılmakta ve kullanımı gün geçtikte artmaktadır [16]. Endüstri 4.0 uygulamalarında da en yaygın kullanılacak yapının CAN FD olması beklenmektedir.

Bu yapının ilk örnekleri yangın alarm sistemlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Binaların yangın alarm sistemleri anlık olarak tepki verebilmesi ve çevredeki binalara olan riskleri de bildirebilmesi için tek bir ağ üzerinden haberleşebilmektedir. Binaların hepsi birbiri ile ve yangın anında müdahale için bir veya birden fazla nokta ile haberleşirken binaların içerisindeki yangın sensörleri söndürmeye yardımcı sistemler bu haberleşmeye internet üzerinden dahil olmamaktadır. Bu yapıların bir tanesinin arızalanması veya hatalı veri göndermesi durumu ciddi etkiler doğurabileceğinden dolayı tüm sensör ve müdahale sistemleri binaların kendi içerisinde CAN ile haberleşmektedir. Özellikle sensörlerin konumlanması buna göre planlanmakta ve bir tanesi arıza bile yapsa diğerleri çalışmasını aynı şekilde sürdürdüğü için binadaki bir yangının sensörlerden bir yada birkaçı arızalansa bile hata olmaksızın algılanabilmesi sağlanmaktadır.

VIII. Sonuç

Endüstri 4.0'ın üretimde yaygınlaşması ve insan eliyle yapılan işlerin yerini tamamen makinalara bırakması ile birlikte güvenlik ve dayanıklılık sorunları da fazlasıyla ortaya çıkmaktadır. Bu sorunlara çözüm olarak lokal uygulamalarda CAN ve CAN FD haberleşmesinin daha yaygın kullanılması ve yukarıda bahsedilen güvenlik ve dayanıklılık özellikleri sayesinde fayda sağlaması beklenmektedir.

Bununla birlikte Endüstride yaygın olarak kullanılması beklenen başka bir yapı da Ethernet haberleşmesidir. CAN haberleşmesinden farklı olarak ağ yapısına benzer ağ yapıları kurulabildiği ve yüksek hızlar ile uzun mesafelerde çalışabildiği için Ethernet haberleşmesi de oldukça avantajlı gözükmektedir [17].

Bütün avantajları ile birlikte CAN haberleşmesinin gözle görülen tek dezavantajı uzun mesafelerde yüksek hızlara çıkmasının dayanıklılığı düşürmesidir. CAN FD ile bunun önüne geçilmesinin yanı sıra Nesnelerin İnterneti ile birlikte CAN haberleşmesinin sadece sistemin lokal uygulamalarında kullanılacak olması bu sorunu ciddi bir problem olmaktan çıkarmaktadır.

IX. Kaynaklar

1. T. Farkande, S. N. Pawar, "Controller Area Network Data Extraction For Automobile", *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 3 (1), 460-465 (2012).
2. M. McKnight, "IOT, Industry 4.0, Industrial IOT...Why Connected Devices are the Future of Design", *Des Tech Conference Proceedings The International Conference on Design and Technology*, 197-202 (2017).
3. A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications", *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, 17 (4), 2347-2376 (2015).
4. F. Almada-Lobo, "The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES)", *Journal of Innovation Management*, JIM 3, 4, 16-21(2015).
5. A. Faul, N. Jazdi, M. Weyrich, "Approach to Interconnect Existing Industrial Automation Systems with the Industrial Internet", *2016 IEEE International Conference*, 1-4 (2016).
6. U. Kiencke, S. Dais, M. Litschel, "Automotive Serial Controller Area Network", *International Congress and Exposition Detroit, Michigan, February 24-28 (1986)*.
7. BOSCH, "CAN Specification", *Robert Bosch GmbH, Postfach 30 02 40, D-70442 Stuttgart (1991)*.
8. J. A. Cook, J. S. Freudenberg, "Controller Area Network (CAN)", *EECS 461*, 1-8, Fall (2008).
9. O. Badve, B. B. Gupta, S. Gupta, *Handbook of Research on Modern Cryptographic Solutions for Computer and Cyber Security*, Ed.: B. Gupta, D. P. Agrawal, S. Y. Yamaguchi, Chapter 20, "Reviewing the Security Features in Contemporary Security Policies and Models for Multiple Platforms", *IGI Global book series, Hershey PA, USA (ISSN: 1948-9730; eISSN: 1948-9749)*.
10. H. Suo, J. Wan, C. Zou, J. Liu, "Security in the Internet of Things: A Review", *2012 International Conference on Computer Science and Electronics Engineering*, 648-651 (2012).
11. B. Genge, P. Haller, A. Gligor, A. Beres, "An Approach for Cyber Security Experimentation Supporting Sensei/IoT for Smart Grid", *2nd International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS'14), Houston, USA, 12-13 May (2014)*.
12. S. Corrigan, "Introduction to the Controller Area Network (CAN)", *Application Report, Texas Instruments 1-17, (2016)*.
13. K. Tindell, A. Burns, A.J. Wellings, "Calculating Controller area Network (CAN) Message Response Times", *Control Eng. Practice*, 3(8), 1163-1169 (1995).

14. B. Hallgren, “CANbus - Hardware Description”, canlab.cz/pages/download/canhard.pdf, (access date September 2017) .
15. A. Mueller, T. Lothspeich, “Plug-and-Secure Communication for CAN”, iCC 2015, CAN in Automation, (04-1)-(04-8), (2015).
16. F.Hartwich, “CAN with Flexible Data-Rate”, iCC 2012, CAN in Automation, (14-1)-(14-8), (2012).
17. M. Felser, “Real-Time Ethernet—Industry Prospective”, Proceedings of the IEEE, 93(6), 1118-1129, (2005).

Hava Araçlarının Enerji Nakil Hatlarına Çarpmasını Önlemeye Yönelik Bir Deneme

Müh. Kâmil Karaçuha¹

¹Bilişim Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, İstanbul
karacuha17@itu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, elektromagnetik özellikleri belirli uzayda bulunan yeri, yarıçapı ve fiziksel yapısı bilinmeyen, sonsuz uzun bir silindirik iletken cismin (enerji nakil hattı) yerinin belirlenmesi için bir yöntem incelenmiştir. Burada cismin silindirik yapısını formülasyona katarak belirli bir doğrultuda yerden yansıyan düzlemsel dalga ile sonsuz uzun silindirden saçılan alanın toplamının belirlenerek öncelikle enerji nakil hattının yerinin ve iletkenin çapının belirlenmesine yönelik bir yöntem ve sistem belirlenmeye çalışılmıştır. En temel matematiksel süreçlerden başlanıp, sonuca ulaşılmıştır. Bir takım ihmaller yapılmasına rağmen sonuçlar simülasyon programıyla desteklenmiş ve beklenen çıktılar elde edilmiştir. Bu çalışma ülkemizde ve Dünya'da yaşanan hava araçlarının iletim hatlarına takılarak kullanılamaz hale gelmesini önlemek için bir deneme niteliğindedir.

Anahtar Kelimeler: elektromanyetik saçılma, uzaktan algılama, elektromanyetik yansıma, radar kesit alanı, dairesel silindir, düz yüzeyler, düzlemsel dalga saçılması

Abstract

In this study, perfect conducting (energy transmission line), infinite length cylindrical matter whose location, complete shape, radius and physical structure are not known in a definite space where the electromagnetic features are known, is examined. Here, by including the cylindrical form of the object in the formulation, determination of total field of both the reflected plane wave with a specific direction from flat earth and scattered field from infinite length cylinder were done. In order to do so, it is studied to find solution and determine first, the transmission line location, then, the conducting infinite cylinder's radius. It is started from basic mathematical procedures then, reached to conclusion. Despite of assuming some exceptions, the outcomes are supported with simulation program and the expected results are obtained. This study has the characteristics of preventing air platforms from getting caught to transmission lines and from being out-of-order.

Keywords: electromagnetic scattering, remote sensing, electromagnetic reflection, radar cross section, circular cylinder, flat surface, plane-wave scattering

1. Giriş

1.1. Konu ve Önemi

Yanına yaklaşılmaması mümkün olmayan cisimlerin geometrik ve fiziksel özelliklerini uzaktan yapılan ölçmelerle belirlemek son 50 yıl boyunca git gide artan bir biçimde geniş ilgi uyandıran problemler olmuştur. [1-3] Burada sözü edilen geometrik özellikler cismin şekli ve konumu, fizik özellikler ise, belirli bir türden bünye parametreleridir. Bunları açığa çıkarmak amacıyla yapılacak olan ölçmeler, genellikle bu cisimlerin belirlenmesi istenen fiziksel özelliklerinden etkilenebilen bir dalganın yayılımına yaptığı etkilerin belirlenmesine yöneliktir. Biz bu çalışma kapsamında sadece elektromagnetik özelliklerle ilgileneceğiz. Bu nedenle ölçmelerle esas oluşturacak olan dalga da elektromagnetik dalga olacaktır.

Yukarıda sözü edilen ve belirlenmesi istenen cisim ya sonsuz geniş homojen bir uzayın içinde bulunur veya böyle bir uzayın içinde yer alan belirli bir bölgede gömülü olur. Açık literatürde bu hallere ilişkin çok sayıda yayın yapılmıştır ve artan hızla da yayılmaya devam etmektedir.

Yukarıda genel biçimde ortaya konmuş bulunan elektromagnetik saçılma problemlerini çözmeye elverişli genel bir yöntem bildiğimiz kadarıyla mevcut değildir. Buna karşın değişik özel hallerde oldukça iyi sonuçlar veren bir çok analitik ve sayısal yöntem geliştirilmiş bulunmaktadır. Literatüre baktığımızda genel olarak silindirden saçılan alanlar silindir çevresinde belirli bir yarıçapta tarama şeklinde hesaplanmıştır. Bu çalışmada ise, silindirden saçılan alan yerden belirli fakat değişebilen yüksekliklerde bir çizgi üzerinde oluşturulan alan hesaplaması üzerine durulmuştur. Bu yönüyle uygulamaya ve geliştirilmeye açık yeni bir konu olarak ele alınabilir.

Son yıllarda enerji nakil hatlarına (çarparak) takılarak (kaza yapan) kırılma uğrayan helikopterleri basın yayın organlarından öğrenmiş bulunuyoruz. Bunun maliyetinin maddi ve manevi açıdan tartışmanın yerinin burası olmadığı ancak çok büyük olduğu tartışma götürmez bir gerçektir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı sonlu yarıçapa sahip sonsuz uzunlukta, yerden belirli bir yükseklikte mükemmel iletken silindirik cisimden saçılan alanın hesaplanarak (uygulama da ölçülerek) yerinin ve yarıçapının belirlenmesidir.

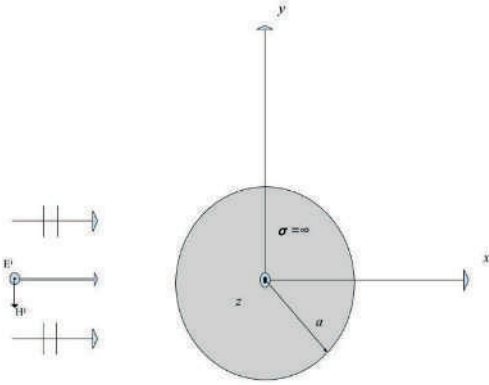
Çalışmamızda bir takım yaklaşıklar ve ihmallerde bulunduk. Silindirik üzerine gönderilen düzlemsel dalgadan yer yüzüne saçılan ve yer yüzünden yansıyan ikincil alanın çok küçük olması nedeniyle, toplam saçılan alandaki etkisini ihmal ettik. İkinci ihmal olarak da toprağın düz ve dielektrik katsayısının sabit, lineer ve izotrop olduğunu varsaydık. Çalışmamızda uluslararası yayınlarda yaygın olarak kullanılan notasyon tercih edilmiştir. Bu nedenle değişik harf ve sembollerin burada ayrıca belirtilmesine gerek yoktur.

2. Problemin Formülasyonu ve Çözümü

Uzay Şekil 3.1 de görüldüğü gibi elektromagnetik özellikleri birbirinden farklı üç bölgeye ayrılmış olsun. Bölgeler; $\rho \leq a$ uzayı mükemmel iletken silindir, $\rho > a$ ve $h_1 > x > -\infty$ uzayı ise iletken ve magnetik olmayan basit ortamdan oluşmaktadır. Son olarak $x > h_1$ için uzay toprak (ground) olarak varsayılmıştır. Uzayın iletkenliği silindir içinde sonsuz dışında ise sıfırdır. İkinci bölgenin dielektrik permitivitesi ϵ_0 'a eşittir, toprağın ise sabit ve bağlı permitivitesi (ϵ_r) 4 kabul edilmiştir. [4] Amaç dışarıdan yapılacak ölçümlerle ($\rho > a$) cismin yarıçapını ve konumunu bulmaktır.

2.1. Helmholtz Denklemi ve Çözümü

Şekil 2.1' de görülen sistem, $x < 0$ bölgesinde uyarılan lineer polaritelenmiş bir monokromatik düzlemsel dalga ile aydınlanmış olsun.



Şekil 2.1: Sonsuz uzun mükemmel iletken silindir ve üzerine gelen düzlemsel dalga

Oz eksenini bu dalganın elektriksel alana paralel seçtiğimizi düşünürsek, elektriksel alanın sağladığı Helmholtz denklemi (2.1)'deki gibi yazılır.

$$\nabla^2 \varphi + k^2 \varphi = 0 \quad (2.1)$$

Silindirik koordinatlarda Helmholtz denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir. Bu denklemin özel çözümü silindirik dalga fonksiyonu olarak adlandırılır. Bu fonksiyon, değişkenlerine ayırma yöntemi ile çözümü elde edilebilir.

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \varphi}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + k^2 \varphi = 0 \quad (2.2)$$

Denklem (2.2) de (2.3) 'ü yerine koyarsak ve eşitliğin her iki tarafını ($P \Phi Z$)' ye bölersek (2.4) elde edilir.

$$\varphi(\rho, \phi, z) = P(\rho)\Phi(\phi)Z(z) \quad (2.3)$$

$$\frac{1}{P} \frac{\partial^2 P}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho P} \frac{\partial P}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2 \Phi} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \phi^2} + \frac{1}{Z} \frac{\partial^2 Z}{\partial z^2} + k^2 = 0 \quad (2.4)$$

$$\frac{d^2 Z}{dz^2} + n^2 Z = 0 \quad (2.5)$$

(2.5)'in çözümü (2.6)'daki gibidir. A ve B keyfi sabittir.

$$Z(z) = A(n)e^{-inz} + B(n)e^{inz} \quad (2.6)$$

(2.4)' den görüleceği üzere, z değişkenine bağlı terim, yalnızca denklemin son teriminde geçmektedir. Dolayısıyla (2.5) denklemini elde edebiliriz. Çünkü diğer terimler z değişkeninden bağımsızdır. Burada, n^2 herhangi bir sabittir.

$$\frac{\rho^2}{P} \frac{\partial^2 P}{\partial \rho^2} + \frac{\rho}{P} \frac{\partial P}{\partial \rho} + \frac{1}{\Phi} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \phi^2} + (k^2 - n^2)\rho^2 = 0 \quad (2.7)$$

(2.5) denklemi, (2.4)'de yerine koyulduğunda denklem (2.7)'ye indirgenir. Ardından, aynı denklem, ρ^2 ile çarpılınca, 3. Terim sadece Φ' ye bağımlı, diğer terimler ise Φ' den bağımsız hale gelir.

$$\frac{1}{\Phi} \frac{d^2 \Phi}{d\phi^2} = -m^2 \quad (2.8)$$

Φ' 'ye bağımlı tek bir terim olması ve denklemin $0'$ a eşit olmasından ötürü, denklem (2.8)'de görüldüğü gibi Φ' 'ye bağlı kesim keyfi bir sabit olan m^2 ' ye eşitlenebilir

$$\frac{\rho^2}{P} \frac{\partial^2 P}{\partial \rho^2} + \frac{\rho}{P} \frac{\partial P}{\partial \rho} + (k^2 - n^2)\rho^2 = m^2 \quad (2.9)$$

(2.8), (2.7)'de yerine koyarak (2.9) elde edilir.

(2.8) aynı zamanda (2.10) olarak da yazılabilir. Bu denklemin çözümü, bilinen çözümlerden olan (2.12)'de gösterilmiştir. (2.12)'deki c_m ve d_m keyfi sabitlerdir.

$$\frac{d^2 \Phi}{d\phi^2} + m^2 \Phi = 0 \quad (2.10)$$

$$\rho^2 \frac{\partial^2 P}{\partial \rho^2} + \rho \frac{\partial P}{\partial \rho} + [(k_\rho \rho)^2 - m^2]P = 0 \quad (2.11)$$

(2.9)'da $k_\rho^2 = k^2 - n^2$ denkleme yazılır ve her iki taraf P ile çarpılır. Bu sayede, (2.11) elde edilir.

$$\Phi(\phi) = c_m \cos(m\phi) + d_m \sin(m\phi) \quad (2.12)$$

(2.10)'un çözümü de (2.12) gibi yazılır

(2.11)'in çözümü silindirik Bessel Denklemi olarak bilinir ki bu denklemin iki tane lineer ve bağımsız çözümü vardır. Bunlar $J_m(k_\rho \rho)$ ve $Y_m(k_\rho \rho)$ olarak bilinir. Sırasıyla 1. Tip ve 2. Tip Bessel Fonksiyonları olarak adlandırılırlar. (2.13-a ve 2.13-b), de her iki fonksiyonun lineer toplamı olduğu için daha genel bir çözüm olarak karşımıza çıkar. Buradaki a_m , b_m , c_m ve f_m keyfi sabitlerdir.

$$P(\rho) = a_m J_m(k_\rho \rho) + b_m Y_m(k_\rho \rho) \quad (2.13-a)$$

veya

$$P(\rho) = e_m H_m^{(1)}(k_\rho \rho) + f_m H_m^{(2)}(k_\rho \rho) \quad (2.13-b)$$

$$J_m(k_\rho \rho) \rightarrow \text{sonlu} \quad ; \quad k_\rho \rho \rightarrow 0 \quad (2.14)$$

$$Y_m(k_\rho \rho) \rightarrow -\infty \quad ; \quad k_\rho \rho \rightarrow 0 \quad (2.15)$$

$J_m(k_\rho \rho)$ ve $Y_m(k_\rho \rho)$ amacımıza yönelik olarak belli özellikleri aşağıdaki gibidir. (2.15)' de görüldüğü gibi, silindirin yarıçapı 0'a yaklaştıkça fonksiyonun aldığı değer sonsuza gitmektedir. Bu yüzden çözüme dahil edemeyiz. Burada b_m sifıra eşitlenir.

$$\varphi_{mn}(\rho, \phi, z) = [a_m J_m(k_\rho \rho)] [c_m \cos(m\phi) + d_m \sin(m\phi)] [A(n)e^{-inz} + B(n)e^{inz}] \quad (2.16)$$

$$\varphi(\rho, \phi, z) = \int \sum_m [a_m J_m(k_\rho \rho)] [c_m \cos(m\phi) + d_m \sin(m\phi)] [A(n)e^{-inz} + B(n)e^{inz}] dn \quad (2.17)$$

Sonuç olarak, (2.2) denkleminin çözümü (2.16) olarak karşımıza çıkmaktadır. Çözüm n ve m ye bağımlı olduğu için, bu değişkenlerin lineer kombinasyonları da diferansiyel denklemin çözümüdür. Bu yüzden (2.17) genel çözümdür. Burada m ayrık, n sürekli olarak kabul edilmiştir. Ayrık olan için toplam alınmalı, sürekli olan için integral alınmalıdır. Bu sayede çözüm genellenmiş olur.

$$H_m^{(1)}(k_\rho \rho) = J_m(k_\rho \rho) + iY_m(k_\rho \rho) \quad (2.18)$$

$$H_m^{(2)}(k_\rho \rho) = J_m(k_\rho \rho) - iY_m(k_\rho \rho) \quad (2.19)$$

Denklem (2.18) ve (2.19) sonsuz silindirden saçılan alanları ifade eder. Burada ilk denklem silindirin içerisine, ikinci denklem ise silindirden dışarı doğru saçılan alanı ifade eder. Bir sonraki bölümde ifade edileceği gibi, mükemmel iletken telin içinde alanlar sıfırdır. Bu yüzden probleme (2.19) kullanılarak devam edecektir. [5]

2.2. Mükemmel iletken sonsuz uzun silindirden saçılma

Çalışmamızda sonsuz uzun a yarıçaplı iletken telden saçılmayı incelediğimizde, diferansiyel denklemin çözümünü z den bağımsızdır. Bu durumda, TM^z polarize saçılan elektriksel alanımızı (\vec{E}^s) (2.23)'deki, gelen alanımızı da (\vec{E}^t) (2.20), (2.21-a) ve (2.21-b)'deki gibi ifade edebiliriz.[6]

$$\vec{E}^i = \vec{a}_z E_z^i = \vec{a}_z E_0 e^{-ik_x x} = \vec{a}_z E_0 e^{-ik_\rho \cos\phi} \quad (2.20)$$

$$E^i = \vec{a}_z E_z^i = \vec{a}_z E_0 \sum_{m=-\infty}^{\infty} i^{-m} J_m(k\rho) e^{im\phi} \quad (2.21-a)$$

$$E^i = \vec{a}_z E_0 \sum_{m=0}^{\infty} i^{-m} \varepsilon_m J_m(k\rho) \cos(m\phi) \quad (2.21-b)$$

$$\text{burada } \varepsilon_m = \begin{cases} 1 & m = 0 \\ 2 & m \neq 0 \end{cases}$$

$$\vec{E}^s = \vec{a}_z E_z^s = \vec{a}_z E_0 \sum_{m=-\infty}^{\infty} c_m H_m^{(2)}(k\rho) \quad (2.22)$$

$$\vec{E}^t = \vec{a}_z E_z^t(\rho = a, 0 \leq \phi \leq 2\pi, z) = 0 \quad (2.23)$$

$$\vec{a}_z E_z^t(\rho = a, 0 \leq \phi \leq 2\pi, z) = E_0 \sum_{m=-\infty}^{\infty} [i^{-m} J_m(ka) e^{im\phi} + c_m H_m^{(2)}(ka)] = 0 \quad (2.24)$$

$$c_m = -i^{-m} \frac{J_m(ka)}{H_m^{(2)}(ka)} e^{im\phi} \quad (2.25)$$

$$E_z^s = -E_0 \sum_{m=-\infty}^{\infty} i^{-m} \frac{J_m(ka)}{H_m^{(2)}(ka)} e^{im\phi} H_m^{(2)}(k\rho) \quad (2.26)$$

$$E_z^s = -E_0 \sum_{m=0}^{\infty} (-i)^m \varepsilon_m \frac{J_m(ka)}{H_m^{(2)}(ka)} H_m^{(2)}(k\rho) \cos(m\phi) \quad (2.27)$$

Çalışmada, (2.23) denkleminde bulunan c_m sabitini bulabilmemiz için sınır değer koşullarını kullanmamız gerekmektedir. İletim hattını mükemmel iletken olarak kabul ettiğimiz için silindir üzerinde elektriksel alanın teğetsel bileşenleri sıfırdır. Denklem (2.24) ve (2.25)'e sınır koşullarını konularak gerekli sabit bulunur. Bulunan sabit (2.23)'de yerine koyulur ve (2.27) elde edilir. [6]

$$E_z^s = -E_0 \sum_{m=0}^{\infty} \{ (-i)^m \varepsilon_m \frac{J_m(ka)}{H_m^{(2)}(ka)} H_m^{(2)}(k\rho) \cos(m(\pi - \arccos(h_2/\rho))) \} \quad (2.28)$$

Şekil 3.1 de görülen, problem geometrisindeki çözüm için hava aracı, yatay düzlemde y doğrultusunda gittiği kabul edildiğinde, bu doğrultu üzerindeki elektriksel alan (2.28)'deki gibi elde edilir.

$$\vec{E}^t = \vec{E}^i + \vec{E}^s \quad (2.29)$$

Toplam elektriksel alan (2.29)'daki gibi vektörel olarak gelen alan ile saçılan alanın toplamına eşittir

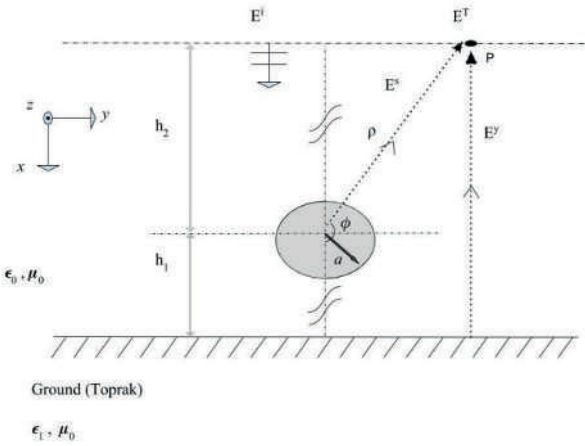
$$\sigma_{z-D} = \lim_{\rho \rightarrow \infty} \left[2\pi\rho \frac{|E_z^s|^2}{|E_z^i|^2} \right] = \frac{2c}{\pi f} \left[\sum_{m=-\infty}^{m=+\infty} \frac{J_m(ka)}{H_m^{(2)}(ka)} e^{im\phi} \right]^2$$

burada c ışık hızıdır. [6] (2.30)

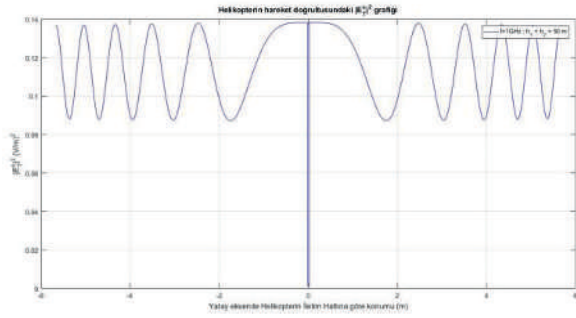
3. Uygulama

Önceki bölümde geliştirilmiş bulunan teorinin pratik uygulanabilirliği ve doğruluk derecesi hakkında fikir edinebilmek için (2.29) denklemini Şekil 3.1'de görülen örnek probleme uygulanmıştır. Bu problemde dairesel silindirik silindirin yarıçapı $a = 1.5 \text{ cm}$ iletken bir malzemeden oluştuğu, iletken telin yüksekliği $h_1 = 40 \text{ m}$, [7] iletkenin bulunduğu ortamın dielektrik sabiti $\epsilon_r = 1$, toprağın $\epsilon_r = 4$ olduğu kabul edilmiştir. İkinci bölümde geliştirdiğimiz formülasyon (2.29) denklemi uygulanmak amacıyla saçılan alanı iki farklı yükseklikte ölçüldüğünü ve her bir yükseklikte gönderilen düzlemsel dalganın frekansının sırasıyla 1, 20, 40 ve 100 GHz alınmıştır. Hesaplar MatLab® simülasyon programında yapılmış ve grafikleri, Şekil 3.2 - Şekil 3.9 verilmiştir. Similasyon programında denklem (2.22)' belirtilen toplam alan dikkate alınmıştır. (2.22)'yi oluşturan elemanlar kısaca denklem (2.20) ve (2.29)'un toplamı şeklindedir. Bu grafiklerin incelenmesinden iletken silindirin konumun belirlenmesinde doğruluk derecesinin son derece yüksek açıkça gözlenmektedir. İletkenin yarıçapı ise % 90 doğrulukla bulunduğu ayrıca gözlenmiştir. (2.30) denklemi ile uzayda bulunan sonsuz uzun iletken silindirik cismini radar kesit alanı hesaplanmış ve frekansın değişimine göre grafiği Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'ye verilmiştir. Frekansın artması durumunda söz konusu radar kesit alanlarının arttığı açık bir şekilde görülmüştür. Buradan

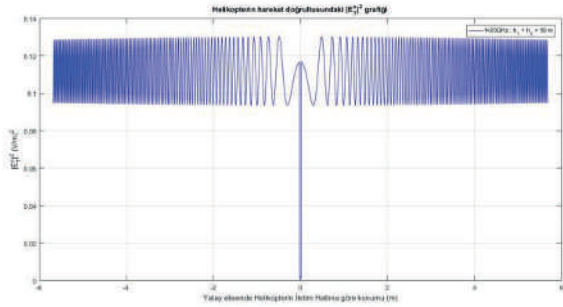
özetle, teorik olarak her frekansta cismin bulunması öngörülürken radar kesit alanına baktığımızda, genel eğilim olarak yükselen frekans değerleri için değerinin arttığı gözlenmiştir. Bu durum, bu amaçla tasarlanacak bir sistem için yüksek frekansta çalışmanın daha etkili olacağını göstermektedir. Hava aracından gelen düzlemsel dalga cismin yakınında olmadığı zamanlar düzlem yüzeye çarparak geri döner fakat sonsuz uzunlukta modellediğimiz mükemmel iletken silindirik iletim hattına yaklaştığımızda, cisimden saçılan alandan ötürü frekansta ve dalga formunda değişim gözlenmiştir.



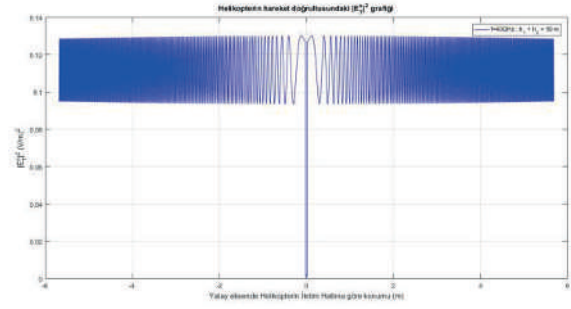
Şekil 3.1: Problemin Geometrisi



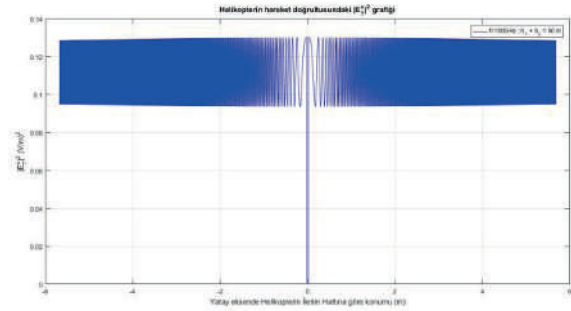
Şekil 3.2 : Hava aracının 1 GHz’de ve telden 10 metre yükseklikteki hareket doğrultusundaki $|E_T^s|^2$ grafiği



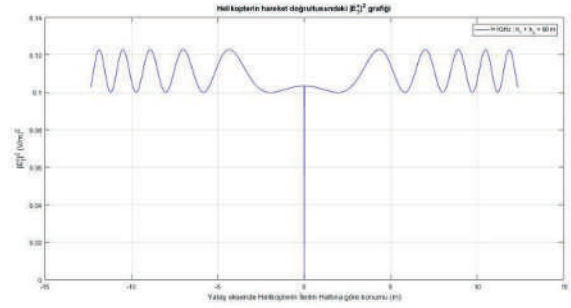
Şekil 3.3 : Hava aracının 20 GHz’de ve telden 10 metre yükseklikteki hareket doğrultusundaki $|E_T^s|^2$ grafiği



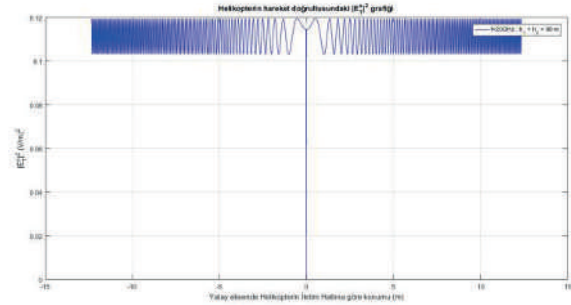
Şekil 3.4 : Hava aracının 40 GHz’de ve telden 10 metre yükseklikteki hareket doğrultusundaki $|E_T^s|^2$ grafiği



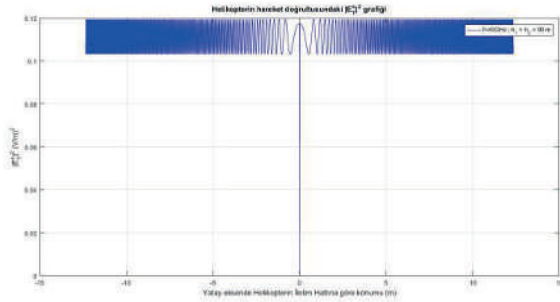
Şekil 3.5: Hava aracının 100 GHz’de ve telden 10 metre yükseklikteki hareket doğrultusundaki $|E_T^s|^2$ grafiği



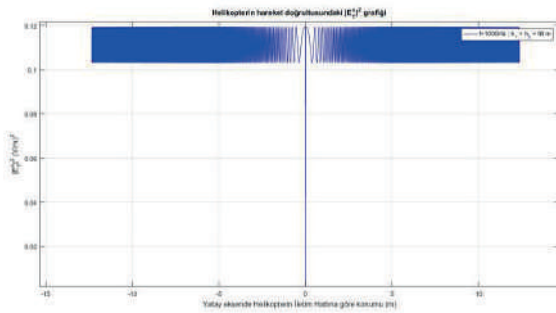
Şekil 3.6: Hava aracının 1 GHz’de ve telden 50 metre yükseklikteki hareket doğrultusundaki $|E_T^s|^2$ grafiği



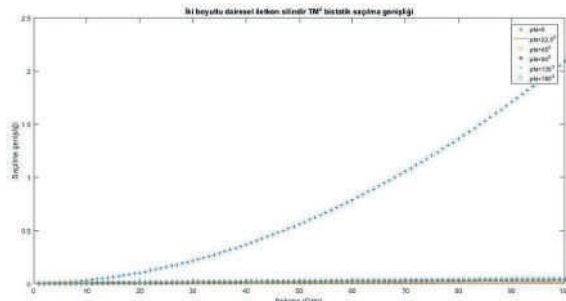
Şekil 3.7: Hava aracının 20 GHz’de ve telden 50 metre yükseklikteki hareket doğrultusundaki $|E_T^s|^2$ grafiği



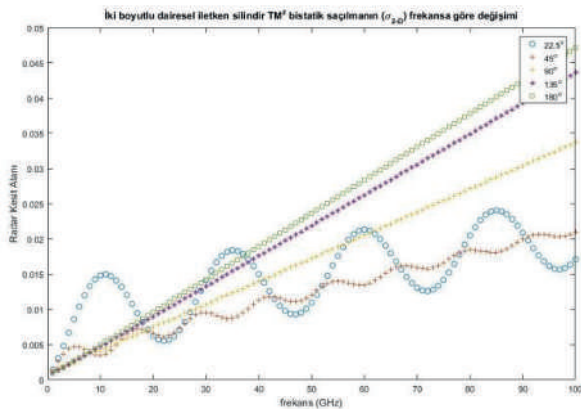
Şekil 3.8: Hava aracının 40 GHz'de ve telden 50 metre yükseklikteki hareket doğrultusundaki $|E_7^2|^2$ grafiği



Şekil 3.9: Hava aracının 100 GHz'de ve telden 50 metre yükseklikteki hareket doğrultusundaki $|E_7^2|^2$ grafiği



Şekil 3.10: Radar kesit alanının $\phi = 0, \frac{\pi}{8}, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{4}, \pi$ için frekansa göre değişimi



Şekil 3.11: Radar kesit alanının $\phi = \frac{\pi}{8}, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{4}, \pi$ için frekansa göre değişimi

4. Sonuç ve Öneriler

Üçüncü bölümde ayrıntılı bir biçimde incelenmiş bulunan örnek uygulamadan açıkça görüldüğü gibi çalışmada geliştirilmiş bulunan yöntem uzayda yeri belli olmayan sonsuz uzun silindirik iletken bir yapının yerinin çok iyi sayılabilecek bir yaklaşıklıkla belirlemeye elverişlidir. Bu amaçla geliştirilmiş olan algoritma bir defa bilgisayara yüklendikten sonra büyük bir kolaylıkla uygulanabilir.

Çalışmanın konusunu oluşturan ortamın yapısı aranan iletken telin yerle dalga etkileşimi küçük varsayılarak ihmal edilmiş, gönderilen dalganın yönü de yüzeye dik varsayılmıştır. Gerek dalganın yere ve iletken tele göre istenilen açıda gönderilmesi durumlarında çalışmanın geliştirilmesinin faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Teşekkür

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü bitirme projesi kapsamında yapmış olduğumuz bu çalışmada desteğini ve bilgisini esirgemeyen çok değerli danışman hocam, Prof. Dr. Sibel Başkal'a teşekkürü borç bilirim.

Kaynaklar

- [1]D. L. Colton and R. Kress, *Inverse acoustic and electromagnetic scattering theory*. New York: Springer,2013
- [2]F. Frezza, G. Schettini, R. Borghi, F. Gori and M. Santarsiero, "Plane-wave scattering by N conducting circular cylinders arbitrarily placed near a partially reflecting flat surface," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. 1996 Digest*, Baltimore, MD, USA, 1996, pp. 772-775 vol.2.
- [3]I. C. C. Akkaya, *Radar temelleri*. İstanbul: Sistem Yayıncılık, 2004.
- [4] B. R. Mahafza, *Radar systems analysis and design using MATLAB*. Boca Raton, Fla.: Chapman & Hall/CRC, 2013.
- [5] J.-M. Jin, *Theory and computation of electromagnetic fields*. Hoboken: Wiley, 2015.
- [6]C. A. Balanis, *Advanced engineering electromagnetics*, 2nd ed. Hoboken: J. Wiley & Sons, 2012.
- [7]Elektrik-Elektronik Teknolojisi Havai Enerji Hatları. Ankara: T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2011.

Kaotik Dikgen Vektörler Kullanarak Uyumlu Olmayan Çok Kullanıcılı Kaotik Haberleşme Sistemi

Dokuz Eylül Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Hatice Kübra Dağdeviren, Mehmet Emre ÇEK

h.kubradagdeviren@gmail.com, emre.cek@deu.edu.tr

Özet

Bu çalışmanın amacı, kaotik anahtarlama tabanlı haberleşme sistemlerinde çoklu kullanıcı yapısı önerilmesidir. Uyumlu (İng. coherent) kaotik haberleşmede, alıcı ve verici arasındaki eşzamanlılık, kanal gürültüsü ve diğer kullanıcılardan gelen girişimsel sinyallere karşı güçlü değildir. Kaotik işaretlerin güvenli haberleşmede kullanılmasının sebeplerinden biri her ne kadar dikgenlik olsa da seçilen bit süresine bağlı olarak farklı kullanıcılara ilişkin üretilen kaotik sinyallerin kendi aralarında dikgenliğin değiştiği görülmektedir. Bu sebeple istenilen bit süresine bağlı olarak bu işaretler Gram-Schmidt dikgenlik kuralına göre dikgenleştirilmekte ve her bir kullanıcı için tahsis edilen kaotik işaretlere bağlı olarak uyumlu olmayan (İng. noncoherent) korelasyon geciktirme kaydırmalı anahtarlama sisteminin önerilmesi bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

Abstract

The study is to construct a multiuser structure for chaotic keying based communication systems. In coherent communication systems, coherence between transmitter and receiver is not robust against interference. Though the main reason of using chaotic signals in secure communications is orthogonality, it is observed that orthogonality of chaotic signals of different users changes between each other depending on the bit duration. Due to that, this signals are orthogonalized with Gram-Schmidt Orthogonality Theorem in accordance with the required with length and, the purpose of this study is, to suggest a system of noncoherent correlation shift keying, depending signals assigned to each user.

I. Giriş

Güvenli haberleşmede kaotik işaretler, 1990'ların başında kaotik sistemlerin senkronizasyonunun Pecora ve Carroll tarafından sunulması ise yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır [1,2]. Kaotik dinamik sistemlerden elde edilen sinyallerle ne kadar geniş bantlı gürültü benzeri bir spektruma sahip olsa da enerjisinin büyük bölümü göreceli olarak düşük frekans bileşenlerinde bulunmaktadır [3]. Diğer yandan, senkronizasyon hatasının azalma oranı ve gürültüye olan hassaslık kaotik işaretlerin analog haberleşmede kullanılmasını sınırlamaktadır. Ancak 1996 yılında, kaotik işaretler anahtarlama yöntemiyle sayısal haberleşmede kullanılmıştır [4]. Sayısal haberleşmede kaosun potansiyel olarak kullanılmasının avantajları detaylı olarak [5]'te verilmiştir. Bu avantajlar kısaca geniş bantlılık, başlangıç

koşullarına bağlılık ve dikgenlik (İng. orthogonality) olup, güvenliğin esas olduğu sayısal haberleşme için önemli yer tutmaktadır.

Haberleşme sistemlerinde geniş bantlı sinyaller birçok problemi gidermek için kullanılır. Kaotik dinamik sistemden elde edilen sinyaller periodik olmayan ve geniş bantlı bir davranış gösterir. Bundan dolayı yaygın-band (İng. Spread-spectrum) haberleşme sisteminde sıkça kullanılır.

Vericiden her bir kullanıcı için gönderilen işaretlerin dikgenliği kaotik haberleşmede veri iletim hızının önemli olduğu durumlarda dikkat edilmesi gereken bir parametredir. Literatürde kaotik işaretlerin dikgen özellik gösterdiği belirtildiği için farklı kaotik işaretlerin iç çarpımlarının sıfır olduğu düşünülmekte bunun sonucunda da kaotik haberleşmenin çoklu kullanıcı haberleşme için de uygun olduğu öngörülmektedir. Temel olarak, zaman aralığı içerisinde reel ve işaretlerinin dikgenliği (1)'deki gibi gösterilebilir.

$$z = \int_0^T x_1(t) * x_2(t) dt \quad (1)$$

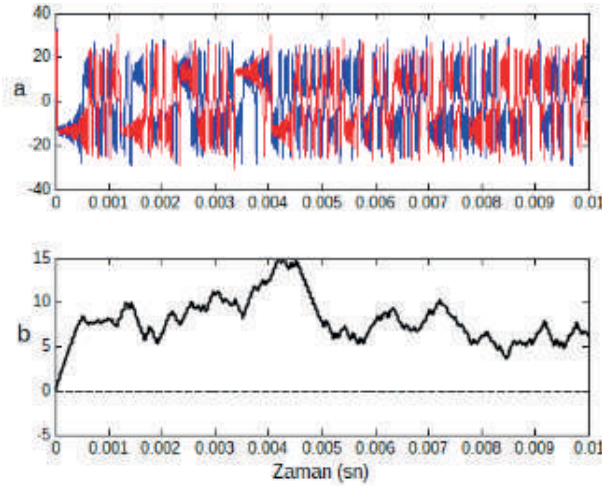
Yukarıdaki koşulun sağlanmadığı işaretlerin dikgenleştirilmesi için Gram-Schmidt Dikgenleştirme yöntemi kullanılabilir. Bu çalışmada Gram Schmidt dikgenleştirme yöntemi kullanarak farklı kullanıcılara ilişkin kaotik davranış gösteren işaretlerin birbirine dikleştirilmesi ve bu esasa dayanan haberleşme sistemi açıklanmaktadır.

II. Yöntem

Doğrusal olmayan salınımlar üreten Lorenz sistemi karmaşık ve önceden tahmin edilemeyen davranış gösteren, kaotik dinamik sistemlerden birisidir. Bu çalışmada, uyumlu olmayan (noncoherent) haberleşme sisteminde bilgi taşıyan işaretler Lorenz kaotik sisteminden alınacak olup üç boyutlu Lorenz sistem dinamikleri (2)'deki gibi ifade edilir [6].

$$\begin{aligned} \dot{x} &= (y-x) \\ \dot{y} &= (\sigma x) - y - xz \\ \dot{z} &= xy - bz \end{aligned} \quad (2)$$

Yukarıdaki denklemde ve Lorenz sisteminin durum değişkenlerini ifade etmekte olup sabit katsayılar $\sigma = 10$, $r = 28$, $b = 8/3$ değerine sahiptir. Lorenz sistemi için başlangıç koşulları, 0 ortalama ve 1 standart sapma değerinde Gauss dağılıma sahip rassal başlangıç koşullarına bağlı olarak üretilen iki farklı kaotik işaret ve bunların değişken T_b değerine bağlı iç çarpımlarının sonucu sırasıyla Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1: a) Farklı başlangıç koşullarına sahip kaotik dinamik sisteme ilişkin iki gerçekleştirme b) Bu iki işaretin iç çarpımının sonucunun zamana göre değişimi

Şekil 1’de görüldüğü üzere, iç çarpım sonucu sıfır değerini vermemekte olup kaotik anahtarlama esasına dayanan haberleşme sisteminde kanal gürültüsünden ayrı olarak işaretlerin birbirleri üzerinde izdüşümü olduğunu göstermektedir. Bu da kaotik haberleşme gürültü dışında bir karışım problemi olabileceğini düşündürmektedir. Bu sebeple, belirlenen bit süresine bağlı olarak Gram-Schmidt yöntemi ile farklı başlangıç koşullarına ait kaotik işaretler birbirine dikgenleştirilmektedir. Çoklu kullanıcı sistemde p ' ninci kullanıcıya ilişkin üretilen $x(k)^{(p)}$ işareti ve dikgenleştirme sonucu oluşturulan $\hat{x}(k)^{(p)}$ işareti Gram-Schmidt dikgenleştirme işlemi ile (3)’deki denklemde verilmiştir [7,8].

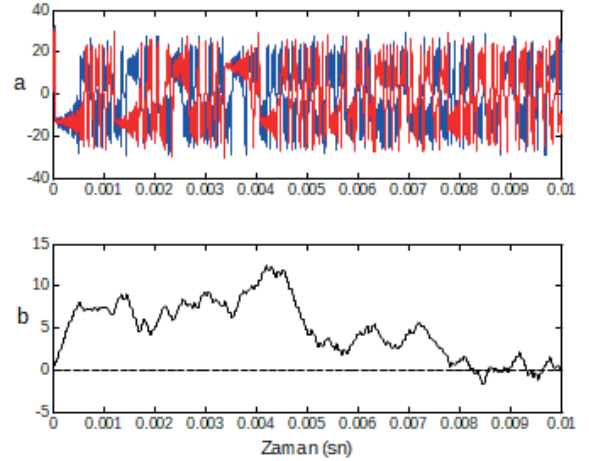
$$\hat{x}(k)^{(p)} = \frac{x(k)^{(p)} - \sum_{q=1}^{p-1} [\sum_{k=1}^{\beta} x(k)^{(p)} \hat{x}(k)^{(q)}] \hat{x}(k)^{(q)}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{\beta} [x(k)^{(p)} - \sum_{q=1}^{p-1} [\sum_{k=1}^{\beta} x(k)^{(p)} \hat{x}(k)^{(q)}] \hat{x}(k)^{(q)}]^2}} \quad (3)$$

Bunun sonucunda elde edilen iç çarpımın zamana göre değişimi Şekil 2’de gösterilmektedir. Bu işlemin yapılmasının getirisi, farklı kullanıcılara ilişkin farklı kaotik dinamik sistemlerden işaret üretilmesi yerine aynı kaotik sistemden elde edilen işaretlerden istenilen veri iletim hızına bağlı olarak her bir kullanıcı için dikgen işaret üretilmesidir.

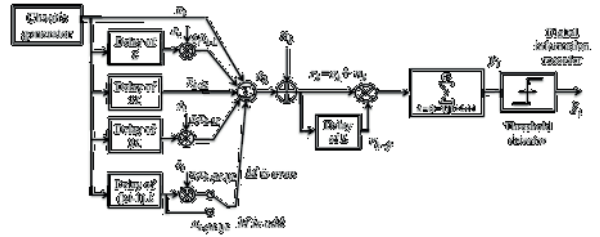
Şekil 2’de görüldüğü üzere iki işaretin iç çarpım sonucu belirtilen sürede sıfır değerine ulaştığından herhangi bir karışım durumu söz konusu değildir. Kullanıcı sayısı kadar üretilen kaotik sinyaller Gram-Schmidt Orthogonalizasyon işleminde, $\hat{x}(k)^{(p)}$ $p=2, 3, 4, \dots, N_u$ kullanıcıları için dikgen kaotik vektörler oluşturmaktadır. R^{β} Öklid uzayında yayılma faktördür [7,8].

Uyumlu olmayan kaotik anahtarlama tabanlı haberleşme sistemlerinden birisi olan Korelasyon geciktirme kaydırmalı anahtarlama (Correlation Delay Shift Keying- CDSK) önerilen dikgenleştirme için uygun bir kaotik haberleşme sistemidir. Şekil 3’te CDSK şemasının çoklu kullanıcıyı içeren verici ve

bir kullanıcıya ilişkin alıcıyı içeren blok şeması gösterilmiştir [9].

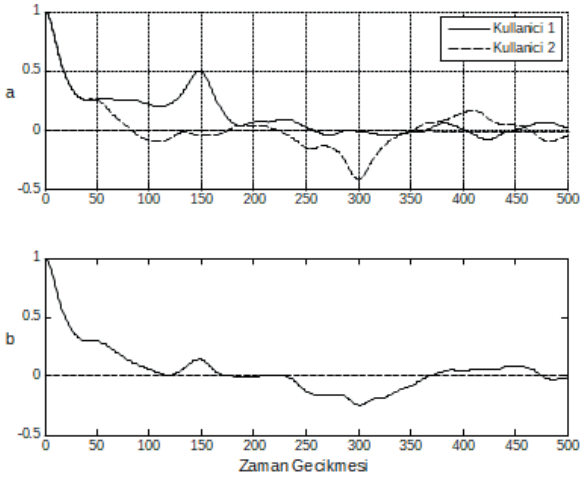


Şekil 2: a) Farklı başlangıç koşullarına sahip dikleştirilmiş kaotik dinamik sisteme ilişkin iki gerçekleştirme b) Bu iki işaretin iç çarpımının sonucunun zamana göre değişimi



Şekil 3: CDSK haberleşme sisteminin block diagramı [9]

Korelasyon geciktirme kaydırmalı anahtarlama sisteminde referans sinyali iletilen sinyalin içine gömülmüştür. Bir kullanıcı için iletilen sinyal referans ve veri sinyallerinden oluşmuştur. Veri sinyalinin belirli bir zaman gecikmesiyle elde edilip zıt kutuplu mesaj işareti ile çarpılmakta ve referans sinyaliyle toplanarak iletilen sinyal elde edilmektedir. Gönderilen sinyal içinde mesaj bilgisi, ilgili kullanıcıya ayrılan zaman gecikmesi sonucu alıcıda elde edilen özilintinin pozitif veya negatif olması ile tespit edilir. Örnek olarak, birinci kullanıcının “+1” ikinci kullanıcının ise “-1” mesajını gönderdiği iki kullanıcı bir sistemde $L=150$ örnek değerine sahip zaman gecikmesi sonucu elde edilen öz ilinti değerleri ve alıcıya gelen işaretin özilinti fonksiyonu Şekil 4’te sırasıyla verilmektedir.



Şekil 4: İki kullanıcılı Korelasyon geciktirme kaydırmalı anahtarlama sistemi. **a)** Her bir kullanıcıya ilişkin gönderici işaretin öz ilinti değerleri **b)** Alıcıdaki öz ilinti fonksiyonunun değeri

Şekil 4a'da görüldüğü üzere mesaj bitlerine bağlı olarak $L=150$ ve $2L=300$ örnek değerine sahip zaman gecikmesinde pozitif ve negatif ilinti değerleri görülmektedir. Şekil 4b'de ise alıcıya bu işaretlerin toplamı geldiği için öz ilinti fonksiyonunda yine bu iki mesaj bitine dair değer görülmekte ancak öz ilintinin kestirilebilirliğinin zayıfladığı gözlenmektedir.

III. Sonuç

Bu çalışmada, literatürde bildirilen dikgen kaotik vektörler kullanılarak, çoklu kullanıcı uyumlu olmayan kaotik kaydırmalı anahtarlama sisteminde için kullanıcılar arası karışımı azaltmak için dikgenleştirme işleminin gerekliliği vurgulanmakta olup bunun için literatürde de verilen kaotik dikgen vektörlerin kullanılması önerilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta alıcıda öz ilinti fonksiyonunun sadece göndericide kullanılan ilgili zaman gecikmelerinde mesaj bitlerine ilişkin bilgiyi verecek şekilde sıfırdan farklı olmasını sağlayıp bunun dışında sıfır değerine sahip olmasını sağlamaktır. Aksi takdirde uyumlu olmayan kaotik kaydırmalı anahtarlama sisteminin çok kullanıcı durumunda, işaret karışım oranı (İng. signal to interference ratio) parametresi cinsinden gürbüz bir davranış göstermesi zorlaşmaktadır. Bit hata oranı performanslarının elde edilmesi gelecek çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

IV. Kaynakça

- [1] Pecora L. M., Carroll T. L. (1990). Synchronization in chaotic systems, Physical Review Letters, 64, 821-824.
- [2] Pecora M. L., Carroll T. L. (1991). Driving systems with chaotic signals. Physical Review A, 44, 2374-2383.
- [3] Rasband S.N., (1990). Chaotic dynamics of nonlinear systems, New York, Wiley.
- [4] Abel, A. & Schwarz, W. (2002). The chaos communications-principles, schemes, and system Analysis. Proc. of IEEE, 90 (5), 691-710.
- [5] Stavroulakis, P.(2006). Chaos Applications in

Telecommunication. First Edition, Boca Raton, CRC Press.

[6] Steven H. Strogatz (2001) - Nonlinear Dynamics and Chaos, Westview Press

[7] Chaotic Multiple Access System Based on Orthogonal Chaotic Vector of Lorenz System, Al-Nahrain University

[8] Wren T.J., Yang T.C. (2010), Orthogonal Chaotic Vector Shift Keying in Digital Communications, IET Communications, 4, (6), pp. 739-753.

[9] W. M. Tam, F. C. M. Lau, and C. K. Tse, "Generalized correlation-delay- shift-keying scheme for noncoherent chaos-based communication systems," IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers, vol. 53, no. 3, pp. 712-721,

Milimetre Dalga Entegre Devreler için Düzlemsel Anten Tasarımı

Ersin Usta¹, Nurhan Türker Tokan²

¹Ctech Bilişim Teknolojileri San. Ve Tic. A.Ş
Teknopark İstanbul, İstanbul-Türkiye
ersin.usta@ctech.com.tr

²Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü,
Yıldız Teknik Üniversitesi, Esenler, İstanbul, 34220 , Turkey
nturker@yildiz.edu.tr

Özet

Milimetre dalga uygulamalarının popülerliği son zamanlarda artmaktadır. Bu artışın ana nedenlerinden biri geniş frekans bandı sağlamasıdır. Bu sayede yüksek hızlarda veri aktarımı yapılabilmektedir. Milimetre dalga frekanslarından 57-64 GHz aralığındaki 7 GHz'lik lisanssız bant FCC (Federal Communication Commission) tarafından V-band olarak kullanıma açılmıştır [1]. Yüksek veri aktarımı kapasitesi sayesinde otomotiv radarlarda, yüksek kalite video iletimi uygulamalarında, noktadan noktaya kablosuz haberleşme uygulamalarında tercih edilmektedir.

RF devrelerde diferansiyel giriş ve çıkışları bulunan komponentler ile yapılan tasarımlar ve bu giriş-çıkışların diferansiyel yollar ile taşınması performans açısından önemlidir. Bu bildiriye V-bant milimetre dalga alıcı-verici devrelerinde kullanılacak, devrenin düzlemsel geometrisi ile uyumlu, düzlemsel diferansiyel üstel yontulmuş yarıklı anten tasarlanmış, performansı tam dalga analiz araçları ile gösterilmiştir.

Abstract

The popularity of millimeter wave applications has been increasing lately. One of the main reasons for this increase is the wide frequency band which ables data to be transferred at high speed. 7 GHz unlicensed band between 57-64 GHz in millimeter wave frequencies has been used as a V-band by the Federal Communications Commission (FCC) [1]. Due to its high data transfer capacity, it is preferred for automotive radars, high quality video transmission applications, and point-to-point wireless communication applications.

Designs with components having differential inputs and outputs in RF circuits and their transport by differential paths are important for performance. In this paper, a planar differential exponentially tapered slot antenna, that can be used in V-band millimeter wave transceiver circuits, is shown and its performance is demonstrated with full wave analysis tools.

1. Giriş

Gelişen akıllı teknolojiler sayesinde bilgi paylaşım ve kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu beraberinde veri trafiği yaratmaktadır. Geleneksel bantların kullanımındaki yoğunluk sebebiyle yeni frekans bantlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için milimetre dalga frekanslarından 57-64 GHz aralığındaki 7 GHz' lik lisanssız bant FCC (Federal Communication Commission) tarafından V-band olarak kullanıma açılmıştır [1]. Bu bantların kullanıma açılması ile milimetre dalga uygulamalarının popülerliği gün geçtikçe artmaktadır. Bu popülerliğin artmasındaki en önemli özellikler kullanım olarak bu frekans bantlarının dolu olmaması ve geleneksel bantlara göre kullanılan bant genişliklerinin yüksek olmasıdır. Bu frekanslarda çalışan uygulamalar yüksek bant genişliğinden dolayı yüksek veri aktarım hızlarına sahiptir.

Milimetre dalga boyundaki spektrum kullanımı ilk olarak askeri, radar ve araç uygulamaları ile başlamıştır. Bunun dışında noktadan noktaya kablosuz haberleşme uygulamalarında, otomotiv radarlarda ve yüksek kalite video iletimi uygulamaları gibi yüksek veri hızına ihtiyaç duyan uygulamalarda tercih edilmektedir.

30 GHz ile 300 GHz aralığı milimetre dalga frekans aralığı olarak belirlenmiştir. Bu milimetre dalga frekans aralıkları kendi içinde bölünerek çeşitli frekans bant aralıklarını oluşturur. Bantlarda kullanılan frekans bant genişliği bazı durumlarda ülkelere göre farklılık gösterebilmektedir. Örneğin FCC tarafından 57-64 GHz aralığı V-bant uygulamalarda kullanıma açıldığından Amerika ve Kanada'da bu frekans aralığı kullanılmaktadır. Fakat Japonya'da V-bant frekans kullanım aralığı 57-66 GHz olarak açıklanmıştır. Avrupa Birliği ülkelerinde de 57-66 GHz aralığı kullanılmaktadır.

Milimetre dalga uygulamaların çeşitli avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Dalga boyunun küçük olmasından dolayı tasarlanan anten, analog ön katmanlar ve ilgili pasif elemanların boyutu da küçük olacaktır. Bu uygulamalarda kullanılan ürünlerin boyutunun daha küçük olması ve daha az yer kaplamasına olanak sağlamaktadır. Yüksek frekanslarda kablosuz haberleşme uygulamaları için en büyük dezavantajlardan biri ise atmosferik kayıplardır [2]. Geleneksel bantlarda atmosferik kayıplar azdır fakat atmosferik kayıpların az olmasına rağmen kullanılacak bant genişliğinin az olması veri hızını kısıtlamaktadır. Geleneksel bantların aksine atmosferik kayıplar milimetre dalga frekanslarında yüksektir. Bu atmosferik kayıplardan dolayı milimetre dalga uygulamaları genellikle kısa mesafelidir [3]. Milimetre dalga frekanslarında kablosuz haberleşme için kullanılan telekomünikasyon ürünleri genellikle LOS (Line of Sight) haberleşme yapmaktadır.

Bu bildiride V-bant uygulamalarda kullanılacak diferansiyel beslemesi olan, geniş bantlı düzlemsel üstel yontulmuş yarıkli anten tasarımı anlatılmıştır.

2. Diferansiyel Üstel Yontulmuş Yarıkli Anten

Diferansiyel üstel yontulmuş yarıkli anten, bir Vivaldi anten türevidir. Literatürde geçen bir diğer ismi ise Dual Exponentially Tapered Slot Antenna (DE TSA)'dır [4]. Vivaldi antenler periyodik sürekli ölçekli antenler sınıfındadır. Bu antenler geniş bantlı antenler olarak tanımlanmaktadır. Geniş bantlı olmalarının nedeni antenin farklı bölümlerinin farklı frekanslarda ışın yapmasıdır. Antenin farklı bölümlerinin farklı ışın yapmasının nedeni olarak Vivaldi anten topolojilerinde üstel eğrilerin antenin her bölgesi için değişik empedans değerlerine denk gelmesidir.

DE TSA diferansiyel beslemeye sahiptir. Diferansiyel hatlar ile taşınan analog sinyaller diferansiyel besleme yapısına sahip DE TSA ile entegre edilebilir. Analog sinyali diferansiyel olarak taşımamanın çeşitli faydaları bulunmaktadır. Diferansiyel hatta sinyaller zıt kutuplu olarak iletilmektedir. Hatlardaki ortak mod sinyallerinin bastırılmasından dolayı diferansiyel hatların daha iyi gürültü bastırma performansı vardır. Buda sinyalin daha uzun mesafe taşınmasını kolaylaştıran bir özelliktir.

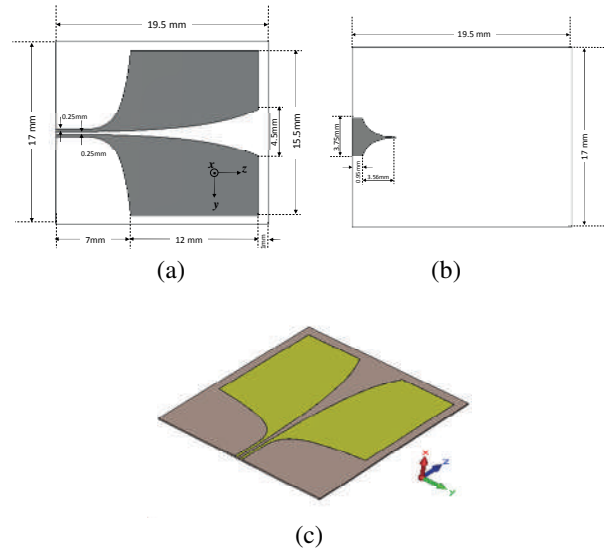
DE TSA tasarımlarının baskı devre üzerinde yapılması tasarım ve üretim açısından kolaylıklar sağlamaktadır. Bu durum DE TSA'nın en büyük avantajlarından birisidir. Ayrıca analog ön katmanlara direkt entegre edilebilir olmasından dolayı tasarlanan tüm sistem küçük boyutlarda olmaktadır. Antenin de baskı devre üzerinde üretilmesi sayesinde tek seferde devreler ve anten üretimi yapılabilmektedir.

Yüksek frekanslarda düzlem anten tasarlanmasının en büyük zorluklarından biri olarak tasarımlarda kullanılan malzeme kalınlığının küçük olma zorunluluğu gösterilebilmektedir. Malzeme kalınlığının küçük olması tasarımın mukavemetini sağlamada zorluk çıkarmaktadır.

3. Anten Geometrisi

Anten temel olarak üç bölgeden oluşmaktadır. Bunlar diferansiyel mikro şerit besleme hattı, ışınımın olduğu üstel eğrili yapı ve diferansiyel mikroşerit hat ile ışınımın yapıldığı bölge arasında geçişin yumuşak olması için mikroşerit diferansiyel hattın altına çizilen üstel eğrilere sahip toprak yapısıdır.

Anten tasarlanırken çeşitli malzeme araştırmaları yapılmış ve dielektrik katsayısı, kayıp tanjantı, üretim kolaylığı gibi parametreler incelenerek RO4350 malzemesinin kullanılmasına karar verilmiştir. Malzeme kalınlığı olarak 0.168 mm seçilmiştir. Anten boyutları 19 x 15.5 mm'dir. Anten giriş bölümündeki diferansiyel mikro şerit besleme hattının empedansı, kaybın en az seviyede olması için 100 ohm olacak şekilde çizilmiştir. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de tasarlanan DE TSA'nın üstten, alttan ve perspektif görünümü verilmiştir.



Şekil 1: Diferansiyel üstel yontulmuş yarıkli anten (a) Ön görünüm; (b) Arka görünüm; (c) Perspektif Görünüm.

Antenin iç yarık üstel eğrisinin ve dış kenar üstel eğrilerinin eksponansiyel denklemi sırası ile (1) ve (2) numaralı eşitliklerde verilmiştir:

$$y = \pm(\exp(x^{1.67} \times 0.00513) - 0.94) \quad x \in [0, 19] \quad (1)$$

$$y = \pm(\exp(x^{2.35} \times 0.0221) - 0.64) \quad x \in [0, 7] \quad (2)$$

5. Sonuçlar

Diferansiyel üstel yontulmuş yarıklı antenlerin geniş bantlı kablosuz uygulamalar için millimetre dalga frekanslarında etkin bir şekilde kullanılabilmesi görülmüştür. Diferansiyel hatların önemi vurgulanmış; düzlemsel antenlerin üretim kolaylıklarından dolayı avantajlı yapılar olduğu gösterilmiştir. Ayrıca belirtilen düzlemsel antenin analog ön katmanlar ile kolaylıkla entegre edilmesi sebebiyle entegre devre üretimini hızlandıracağı aşikardır.

Kaynaklar

- [1] IEEE, 802.11ad-2012, Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements, Part 11, 2014.
- [2] G. Alwis, M. Delahoy, "60 GHz Band Millimeter Wave Technology", Spectrum Planning and Engineering Team, Radio frequency Planning Group, Document: 3/04, Australian Communications Authority, Date: December 2004.
- [3] T. S. Rappaport, R. W. Heath Jr., R. C. Daniels, J. N. Murdock, "Millimeter Wave Wireless Communications" , Prentice Hall, 2014.
- [4] J.J. Lee, S. Livingston, "Wide Band Bunny-Ear Radiating Element", IEEE Antennas and Propagation Symposium Digest, Jun 1993, pp. 1604–1607.

Sinyal Karıştırıcıların LTE/LTE-A Aşağı-Hat Fiziksel Kanalına Etkileri

Gizay KISA ¹

Özgür ERTUĞ ²

^{1,2} Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara
¹ e-posta: gizay.kisa@gazi.edu.tr ² e-posta: ertug@gazi.edu.tr

Özetçe

Mobil teknolojilerdeki hızlı gelişmeler, kullanıcıların her geçen gün daha fazla veri kullanmasına olanak sağladı. Böylelikle daha geniş kapsama alanına, bant genişliğine, yüksek veri hızı ve kalitesi gibi gereksinimlere sahip mobil ağ standartları gelişti. Mobil ağ haberleşmesinin son sürümü olan LTE-A (Long Term Evolution-Advanced) bu standartları karşılamak üzere ortaya çıkarılmıştır. Ülkemizde 4.5G olarak da adlandırılan bu hizmet akıllı telefonlarımız aracılığıyla haberleşmenin yanı sıra doğal afetlerde, acil durum mesajı yayınlarında ve askeri amaçlı haberleşme sistemlerinde dahi kullanılabilir. Fakat pek çok kablosuz iletişimde olduğu gibi LTE sinyallerinin de karıştırılması ve engellenmesi mümkündür. Bu çalışmada sivil uygulamalar için tasarlanan bu standardın, aşağı-hat (DL) fiziksel kanalına Baraj (Barrage), Kısmi Bant (Partial Band), Tek Tonlu (Single Tone) ve Çok Tonlu (Multitone) sinyal bozucu etkileri incelenerek, LTE/LTE-A sisteminin sinyal karıştırıcılara karşı Bit Hata Oranı(BER)-Sinyal Gürültü Oranı(SNR) enerji verimliliği hesaplanacaktır.

Abstract

Swift advances in mobile technology have lately made it possible for users to utilize more and more data. As a result, mobile network standards with requirements such as wider coverage and band width, high data rate and quality have developed. LTE-A (Long Term Evolution-Advanced) as the final version of mobile network communication has been introduced with a view to coming up to the said standards. This service named as "4.5G" in our country can be utilized in state-of-emergency message broadcasts and military communication systems as well as communications via smart phones. However, LTE signals can be intercepted or jammed, which is the case for all wireless communication systems as well. In this study, energy efficiency of LTE/LTE-A concerning Bit Error Rate (BER) and Signal-to-Noise Ratio (SNR) against signal jammers will be figured out by examining beforehand the signal jamming effects of this standard designed for civil practices on downlink channel, namely barrage, partial band, single tone and multitone jammer.

I. Giriş

3GPP tarafından uzun yıllar süren standartlaşma çalışmalarından sonra ilk LTE kavramı hayatımıza Sürüm 8 adıyla 2008 yılında girmiştir. Bu sürüm daha önceki sistemlere kıyasla önemli ölçüde gelişmiş veri performansı sağlayan tamamen yeni bir radyo ara yüzü ve çekirdek ağı içermektedir. Bir yıl sonra, Sürüm 9 adıyla yeni bir standart yayınlanmıştır.

Sürüm 9, Sürüm 8'de sunulan özelliklerin yanı sıra yeni bir ağ mimarisi ve servis özellikleri sağlamaktadır. 2011 yılın da ise LTE-A yani 4.5G'nin başlangıcı olduğu düşünülen Sürüm 10 ile veri aktarımı geliştirilmiş ve hücre kapsama alanı önemli ölçüde genişletilmiştir.

LTE-A tartışmasız bir şekilde en iyi hücresel standart olma yolundadır. Küresel Mobil Tedarikçiler Birliği (Global Mobile Suppliers Association) birliği tarafından Ağustos 2016 yılındaki verilere göre LTE/LTE-A şimdiden 170 ülkeden 521 operatör ile ticari olarak kullanıma sunulmuştur [1]. Aynı zamanda ABD'de kamu güvenliği alanında, doğal afetler ve kriz durumlarında yayın (broadcast) mesajı iletmek için FirstNet adıyla bir LTE standardı kullanılmaktadır [2]. LTE'nin diğer bir kullanım alanı da askeri amaçlıdır. ABD ordusu savaş alanında iletişimi sağlamak, video, ses ve veri de dâhil olmak gerekli görev parametrelerini aktarmak ve uçak gemileriyle uçaklar arasındaki haberleşmeyi sağlamak için LTE kullanılmaktadır [3]. Bu sebeple kritik alanlarda da kullanımı artan ve büyük bir potansiyele sahip olan LTE-A standardının güvenilirliği oldukça önemli bir konudur.

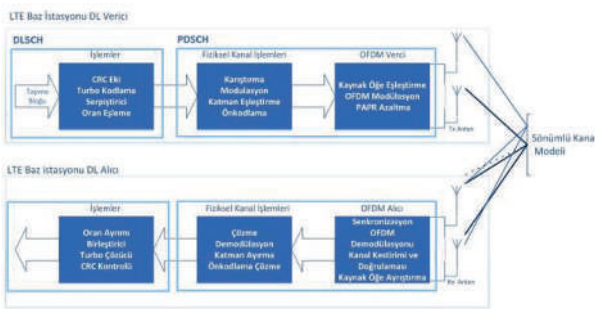
Literatürde radar ve telsiz sinyali için karıştırıcı saldırılar geniş bir biçimde incelenmiş olmasına rağmen haberleşmedeki sinyal karıştırma saldırılarıyla ilgili daha az çalışma yapılmıştır. LTE'ye yönelik tehditler, algılama yöntemleriyle ilgili en genel çalışma [4]'da sunulmuştur. Bir başka çalışma olan [5, 6] baraj sinyal karıştırıcıdan yola çıkarak saldırılara müsait LTE/LTE-A fiziksel kanalları ve sinyallerini belirlemiştir. [7]'de alt sistemden ana sisteme yukarı-hat (uplink), aşağı-hat haberleşmeye ve baz istasyonlarına karşı olan akıllı sinyal karıştırıcı saldırılarına karşı tehditleri inceleyerek teorik çözüm önerileri sunulmuştur. [8]'de akıllı dar bant sinyal karıştırıcısı kullanılarak şebeke çapında yapılan Hizmet Reddi (DDoS) saldırısıyla ilgili çalışma yapılmıştır.

LTE standardına yönelik saldırıları Hizmet Reddi Saldırıları (DDoS) ve bilgi ayıklama olarak ikiye ayrılmaktadır [9]. Sinyal bozma saldırıları genelde hizmet reddi saldırılarına sebep olurken siber saldırılarda bilgi ayıklamaya yönelik saldırılardır. Bu çalışmada diğer hizmet reddi saldırılarına sebep olan sinyal bozucu çalışmalarından farklı olarak sadece fiziksel kanaldaki aşağı-hat haberleşme çalışılmış olup, [6, 10 ve 11]'de belirtilen baraj, kısmi bant, tek-tonlu ve çok-tonlu sinyal karıştırıcılar kullanılarak (Sinyal-Gürültü Oranı) SNR 'a karşı (Bit Hata Oranı) BER performansları gerçekleştirilmiştir. Makalenin II. bölümünde LTE standardının aşağı-hat fiziksel katmanı hakkında, III. bölümünde ise LTE/LTE-A'e yönelik saldırılarda kullanılan sinyal karıştırıcıları hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Son olarak IV. bölümünde ise simülasyon

neticesinde ortaya çıkan sonuçlar grafikleri ile birlikte gösterilmektedir.

II. LTE Aşağı-Hat Fiziksel Katmanı

LTE fiziksel katmanı, gelişmiş bir baz istasyonu (eNodeB) ile mobil kullanıcı ekipmanı (UE) arasında hem veri hem de kontrol bilgisini iletmek için oldukça etkili bir katmandır. Bu katman üst katmanlardan aktarılan veri bitleri üzerinde yapılan tüm işlemleri içermektedir. Hücresel uygulamalar için yeni geliştirilmiş şebeke bütünleştirilmesi (carrier aggregation), dikgen frekans-bölmeli çoğullama (orthogonal frequency division multiplexing), turbo kanal kodlama (turbo coding), kanal denkleştirici (channel equalizer), kanal kestirimi (channel estimation), çoklu giriş ve çıkış (MIMO) yöntemleri bu katmanda kullanılmaktadır.



Şekil 1 LTE aşağı-hat fiziksel katmandaki alıcı ve verici yapısı

Şekil 1’de aşağı-hat fiziksel katmandaki alıcı ve verici yapısı gösterilmiştir. Fiziksel katman işlemleri DL Paylaşılan kanalı (DL-SCH) ve Fiziksel DL Paylaşılan Kanalı (PDSCH) olmak üzere iki basamaktır. Fiziksel katmanda verici işlemi taşıma blokları şeklinde gruplanmış kaynak veri bitleri ile başlar. Taşıma bloklarındaki hata tespitleri için Periyodik Artıklık Denetimi (CRC) kullanılır. Bunu da transport bloğu sonuna CRC Eşlik Bitleri (parity bits) ekleyerek sağlar. Ardından en güçlü kanal kodlama yöntemlerinden biri olarak kabul edilen turbo kanal kodlama yöntemi kullanılır. Turbo kodlama da veri bloklarına Artık Bit (redundant bit) ilave ederek kanal kapasitesini geliştiren İleri Hata Düzeltme (FEC) yöntemidir. Bu yöntem içerisinde evrişimli kod (convolutional code) un yanında karıştırıcılar (interleaver) kullanılmaktadır. Böylelikle spektral çeşitlilik sağlanabilmektedir. Oran eşleştirme bloğu ile istenen kod oranıyla iletilecek veri akışı oluşturulmaktadır. Oluşturulan her bir kodlu kelime (codeword) dikey bir dizi ile çarpılarak karışık bir semboller dizisi oluşturulur. Ardından karıştırılmış şifreli kod sözcükleri QPSK, 16 QAM ve 64 QAM modülasyonlarından birine uğrayarak karmaşık sembollere dönüştürülmektedir. Katman haritalandırma (layer mapping) ve önkodlama (precoding) blokları MIMO haberleşme için gerekli olan iki aşamadır. Çeşitliliği arttırmak için kullanılan birleştirici metodları bu katmanda uygulanmaktadır. Bu sayede uzamsal çoklama (spatial multiplexing), verici çeşitliliği (transmit diversity) ve tek anten ile iletişim (single antenna port transmission) gibi seçenekler kullanılır. Verici zincirindeki son adımda ise dik frekans bölmeli çoğullama (OFDM) uygulanmaktadır. Bu yöntem ile her bir sembol birbirine dik alt taşıyıcılara bindirilmektedir. Böylelikle spektral verimlilik sağlanmaktadır. Sistemin alıcı tarafında ise

bu blok yapılarına ilaveten kanal denkleştirici ve kanal kestirimi aşamaları yer almaktadır. Kanal kestirimi ile kanalın frekans tepkisi (frequency response) tahmin edilmektedir. Böylelikle kanal denkleştirici, tahmin edilen kanalın frekans tepkisini kullanarak frekans ekseninde eşleştirme işlemi yapmaktadır.

III. Sinyal Bozucuların LTE Fiziksel Katmanına Etkisi

LTE/LTE-A bağlantısı “fiziksel kanallar” ve “fiziksel sinyaller”den oluşur. Bu fiziksel kanallar ve sinyaller, zaman ve frekansta birleştirilerek ve zaman-frekans çerçevesi üzerinde eşlenir. LTE çerçevesindeki fiziksel kanalların haritalandırılması ise her ana istasyon tarafından gönderilen yayın (broadcast) mesajlarıyla tanımlanır. Bu haritalama yöntemi esnasında sinyal bozucular, belirli kaynak elemanlarını da (resource elements) bulunan verileri bozabilir veya belirli kanal ve sinyalleri engelleyebilirler. Bu çalışmada kullanılan bozucu yöntemleri baraj sinyal karıştırıcı, kısmi bant sinyal karıştırıcı, tek tonlu sinyal karıştırıcı ve çok tonlu sinyal karıştırıcı olarak sıralanmaktadır.

A. Baraj Sinyal Karıştırıcı (BJ)

Baraj sinyal karıştırıcı hedef sinyal hakkında ek bilgi gerektirmediği için en basit saldırı yöntemi olarak kabul edilmektedir. Bu metotta tüm banda Toplanı Beyaz Gauss Gürültü (AWGN) bindirilerek gürültü seviyesi artırılır. Böylece hedefin aldığı Sinyal-Gürültü Oranı (SNR) düşer. Baraj sinyal karıştırıcı çok etkili bir yöntem olmasına karşın çok fazla güç gerektirmektedir [12].

B. Kısmi Bant Sinyal Karıştırıcı (PBJ)

Kısmi bant karıştırıcıda, baraj sinyal karıştırıcıdan farklı olarak LTE sisteminin bant genişliğinin sadece belirli bir bölümü hedeflenir. Hedeflenen bant genişliğine yine sabit bir AWGN bindirilerek gürültü seviyesi artırılır. Özellikle LTE’de senkronizasyon sinyallerini karıştırmak için kısmi bant sinyal karıştırıcı kullanılabilir. [13]

C. Tek Tonlu Sinyal Karıştırıcı (STJ)

Tek tonlu sinyal karıştırıcı, kısmi bant karıştırıcısının bir çeşidi olarak sınıflandırılabilir. Her tek ton, LTE standardındaki tek bir alt taşıyıcıyı karıştırmak için kullanılır. Bu ton genellikle darbe, dikdörtgen ve AWGN şeklinde olabilmektedir. Tek tonlu sinyal karıştırıcı alt taşıyıcıyı karıştırmak için tek bir tonu yüksek güçte iletir. Tek tonlu sinyal karıştırıcı Denklem 1’de gösterilmektedir.

$$J(t) = A_j \cos(2\pi f_j t) = \sqrt{2J} \cos(2\pi f_j t) \quad (1)$$

A_j Sinyal karıştırıcının genliği, J gücü ve f_j tonun merkez frekansıdır. Tek tonlu sinyal karıştırıcı için hedef sistemin taşıyıcı frekans bilgisi gerekmektedir [13]. Genellikle hedefin Otomatik Kazanç Kontrol mekanizmasını bozmak için kullanılır ve bu sayede dolaylı olarak alt-taşıyıcıları karıştırmaktadır [10].

D. Çok tonlu Sinyal Karıştırıcı (MTJ)

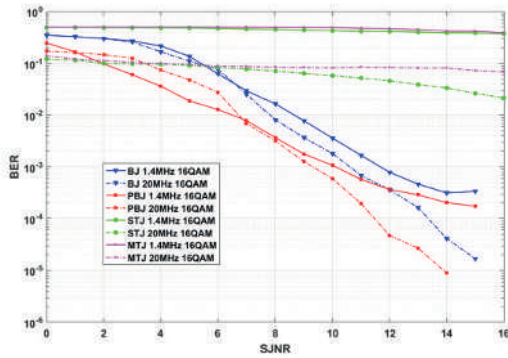
Çok tonlu Sinyal Karıştırıcı, tek tonlu sinyal karıştırıcıdan farklı olarak birden çok alt-taşıyıcıyı karıştırmak için eşit güçte ve çok sayıda ton üretir. Özellikle iletilen sinyal karıştırıcının gücü sınırlı olduğunda, iletilen tonların sayısı artırılarak sinyal karıştırıcının gücü düşürülür. Her bir ton, Denklem 2’de ifade edilmiştir.

$$J(t) = A_j \sum_{k=1}^{N_j} \cos(2\pi f_k t) = \sqrt{\frac{2J_T}{N_T}} \sum_{k=1}^{N_j} \cos(2\pi f_k t) \quad (2)$$

Burada A_j sinyal karıştırıcının genliğini, J_T gücü ve f_k k^{th} alt-tonların merkez frekanslarını ifade etmektedir [14].

IV. Simülasyon Sonuçları ve Analizler

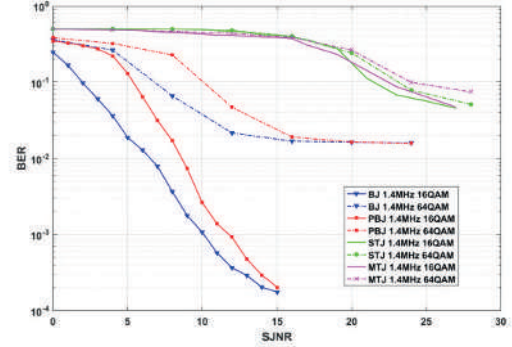
Bu kısımda, oluşturulan LTE/LTE-A DL fiziksel katmanın BJ, PBJ, STJ ve MTJ sinyal bozucu etkileri karşısında, bant genişliği ve modülasyon seviyelerine göre BER- SJNR performansı gösterilmiştir. Kanal yapısı olarak frekans seçici sönmülemeli şehir içi kanal tercih edilmiştir. Simülasyon parametreleri sırasıyla: Alıcı anten sayısı 1, verici anten sayısı 1, kanal bant genişliği 1.4 MHz ve 20 MHz, modülasyon tipi 16 QAM ve 64 QAM, OFDM için 1.4 MHz ve 20 MHz bant genişliğinde sırasıyla FFT genişliği 128 ve 2048, kodlama oranı 1/3, maksimum turbo şifre çözme döngü sayısı 6, taşıyıcı frekans 2.5 GHz olarak seçilmiştir. Tüm simülasyonlarda Monte Carlo simülasyon metodu kullanılmıştır. BER performansları çıkartılırken maksimum hata sayısı ve maksimum bit sayısı bir milyondur.



Şekil 2 Sinyal bozucularının 1.4 MHz ve 20 MHz bant genişlikleri BER- SJNR performansı

Şekil 2’de tüm sinyal bozucularının 1.4 MHz ve 20 MHz bant genişliklerinde ve 16 QAM modülasyon tekniği altında bozucu etkileri test edilmiştir. Üç farklı karıştırıcıya 10 dB SJNR ve 20 MHz değerinde bakıldığında, LTE DL fiziksel kanalı sırasıyla BJ’de 1.8×10^{-3} , PBJ’de 5.8×10^{-4} , STJ’de 0.058 ve MTJ’de ise 0.0817 bit hata oranına sahiptir. Benzer şekilde 10 dB SJNR ve 1.4 MHz değerinde bakıldığında, BJ’de 3.59×10^{-3} , PBJ’de 1.072×10^{-3} , STJ’de 0.4287 ve MTJ’de ise 0.4907 bit hata oranına sahiptir. Buna göre, her iki bant genişliğinde de MTJ’nin bozucu etkisinin en fazla olduğu, sırasıyla da STJ, BJ ve PBJ’nin geldiği gözlemlenmektedir. Aynı zaman da 10^{-3} bit hata oranında 1.4 MHz ve 20 MHz

bant genişlikleri arasında BJ’nin 1.1dB, PBJ’nin ise 0.8dB’lik bir enerji farkının olduğu gözlemlenmiştir. Bu verilerden yola çıkarak 20 Mhz’lik bant genişliğinde daha az enerjiyle 1.4 MHz’lik bir sistemdeki bit hata oranına sahip olunabildiği görülmektedir.



Şekil 3 Sinyal Bozucularının 16 QAM ve 64 QAM Modülasyonlarında BER- SJNR performansı

Şekil 3’de 1.4 MHz bant genişliğinde 16 QAM ve 64 QAM modülasyon uygulandığında BJ, PBJ, STJ ve MTJ’in bozucu etkileri incelenmektedir. 10 dB SJNR değerinde modülasyon teknikleri karşılaştırıldığında, 16 QAM modülasyonunda BJ’nin 1.072×10^{-3} , PBJ 2.63×10^{-3} , STJ 0.4907 ve MTJ ise 0.4287 BER değerlerine sahip iken, 64 QAM modülasyonda BJ 3.162×10^{-2} , PBJ 1.13×10^{-1} , STJ 0.47 ve MTJ 0.49 BER değerlerine sahiptir. 16 QAM modülasyon tekniğinde tüm kanal bozucularının etkisinin en az olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise 16 QAM modülasyon tekniğinde yıldız kümesi diyagramında (constellation diagram) her bir semboller arası mesafenin 64 QAM modülasyona göre daha geniş olmasıdır. Şekil 3’te görüldüğü üzere 15 dB SJNR ve 20 dB SJNR değerinden sonra BJ ve PBJ uygulandığında 64 ve 16 QAM modülasyon BER performansları yakınsamaktadır. Sonuç olarak bu değerlerden sonra sinyal gücü artırılrsa bile enerji verimliliği değişmemektedir. Ayrıca STJ ve MTJ kanal bozucu teknikleri arasında ise 21dB SJNR değerinden sonra 16QAM ve 64QAM modülasyon teknikleri için 10^{-1} BER değerinde yaklaşık 1dB’lik enerji farkı oluşmaktadır.

V. Sonuç

Bu çalışmada BJ, PBJ, STJ ve MTJ kanal bozucularının LTE/LTE-A DL fiziksel kanalına etkileri incelenmiştir. MTJ’nin sırasıyla STJ, BJ ve PBJ’ye göre daha bozucu etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Ardından her bir kanal bozucunun farklı modülasyon türlerindeki bozucu özellikleri gözlemlenmiştir. Bunun için kullanılan modülasyon türleri LTE/LTE-A DL standardında yer alan 16 QAM ve 64 QAM modülasyon teknikleridir. 16 QAM modülasyonun tüm kanal bozucular altında daha dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir. İncelenen ikinci bir özellik ise LTE sistemlerinde kullanılan en düşük ve en yüksek bant genişliklerinin kanal bozuculara karşı etkisi gözlemlenmiş, 20 MHz’lik bant genişliği kullanımında kanal bozucuların etkisinin daha az olduğu görülmüştür.

VI. Kaynakça

- [1] GSA, (2016). GSA confirms 521 LTE networks launched, LTE-Advanced now mainstream. [Web] <https://gsacom.com/press-release/gsa-confirms-521-lte-networks-launched-lte-advanced-now-mainstream/> [ET: 26 Mayıs 2017].
- [2] Kruger, L, (2017). The First Responder Network (FirstNet) and Next - Generation Communications for Public Safety: Issues for Congress. Congressional Research Service.
- [3] E. Thompson, (2012). Army examines feasibility of integrating 4G LTE with tactical network. RDECOM CERDEC Public Affairs. [web]. Available: <http://www.army.mil/article/87875/>
- [4] R. Jover, (2013). Security attacks against the availability of lte mobility networks: Overview and research directions. *Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), 2013 16th International Symposium*.
- [5] Lichtman, M., Jover, R., Labib, M., Rao, R., Marojevic, V. and Reed, J. (2016). LTE/LTE-A jamming, spoofing, and sniffing: threat assessment and mitigation. *IEEE Communications Magazine*, (54).
- [6] M. Lichtman et al. (2016). A communications jamming taxonomy. *IEEE Security & Privacy*, vol. 14, no. 1.
- [7] Jover, R., Lackey, J. and Raghavan, A. (2014). Enhancing the security of LTE networks against jamming attacks. *EURASIP Journal on Information Security*.
- [8] F. M. Aziz, J. S. Shamma and G. L. Stüber. (2014). Resilience of LTE networks against smart jamming attacks. *IEEE Global Communications Conference*, Austin, TX.
- [9] M. Lichtman, J. H. Reed, T. C. Clancy, and M. Norton. (2013). *Vulnerability of LTE to Hostile Interference*.
- [10] Shahriar et al. (2015). PHY-Layer Resiliency in OFDM Communications: A Tutorial. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 1, s. 292-314.
- [11] Rohde& Schwarz. (2014). Vulnerabilities of LTE and LTEAdvanced Communication. *White Paper*.
- [12] T. Basar. (1983). The Gaussian test channel with an intelligent jammer. *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. IT-29, no. 1, s. 152–157
- [13] J. Luo, J. Andrian, and C. Zhou. (2007). Bit error rate analysis of jamming for OFDM systems. *Wireless Telecommunications Symposium*.
- [14] S. Chao, W. Ping, and S. Guozhong. (2012). Performance of OFDM in the presence of multitone jamming. *Proc. IEEE ISRA*, s. 118–121
- [15] Zarrinkoub, H. (n.d.). *Understanding LTE with MATLAB*.

SONET / SDH ve PDH Teknolojilerinde Veri Performansı

Data Performance in SONET / SDH and PDH Technologies

Mustafa Öztürk¹, N. Özlem Ünverdi²

¹ Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi
mustafaozturkytuehm@gmail.com

² Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi
unverdi@yildiz.edu.tr

Özet

Günümüzde haberleşme ağlarında, veri iletiminin yanında ses ve video trafiğinin olması nedeniyle internet omurgasında büyük band genişliğine ihtiyaç duyulmakta ve bu ihtiyacı, her geçen gün gelişen fiber optik teknolojisi karşılamaktadır. Optik haberleşme teknikleri ile yeni standartlar belirlenerek yüksek veri hızı ve büyük band genişliği sağlanmaktadır. Bu çalışmada, SONET (Synchronous Optical Network, Eş Zamanlı Optik Ağ) / SDH (Synchronous Digital Hierarchy, Eş Zamanlı Sayısal Hiyerarşi) ve PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy, Hemen Hemen Eş Zamanlı Sayısal Hiyerarşi) sistemleri incelenmiştir. OptiSystem v7.0 simülasyon yazılımı ile hazırlanan düzeneklerde, BER (Bite Error Rate, Bit Hata Oranı) diyagramları ve güç spektrumlarından yararlanılarak SONET / SDH ve PDH teknolojilerinin performansları değerlendirilmiştir.

Abstract

Because nowadays audio and video traffic accompanies data transfer in communication networks, broad bandwidth is needed in the backbone of the internet and this necessity is met with fiber optic technology which advances each and every day. High data speed and broad band width is established by setting new standards in optical communication technologies. In this study, SONET (Synchronous Optical Network) / SDH (Synchronous Digital Hierarchy) and PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) systems are considered. The performances of SONET / SDH and PDH Technologies are evaluated by utilizing BER (Bite Error Rate) diagrams and power spectrums of the networks set up by OptiSystem v7.0 simulation software.

1. Giriş

İnsanoğlu çeşitli amaçlar için haberleşmeye çalışmakta ve her geçen gün daha gelişen haberleşme tekniklerini kullanmaktadır. İlerleyen teknoloji ile şifreli haberleşme kullanılarak dünya genelinde güvenli ve hızlı bir haberleşme sağlanmıştır. Günümüzde video konferanslar ve yüksek band genişliklerinin kullanıldığı veri transferleri gibi nedenlerden dolayı optik haberleşmenin kullanımı artmıştır. Bu konuda

önce asenkron olarak iletişimin sağlandığı PDH teknolojisi üzerinde çalışılmıştır. PDH sistemlerinin, 1990'lı yıllarda daha yüksek band genişliği, daha fazla kullanıcı ve daha hızlı haberleşme gibi ihtiyaçlara yanıt verememesi nedeniyle Kuzey Amerika'da SONET, Avrupa ve Asya'da ise SDH sistemleri geliştirilmiş ve PDH teknolojisindeki eksiklikler giderilmiştir [1-4].

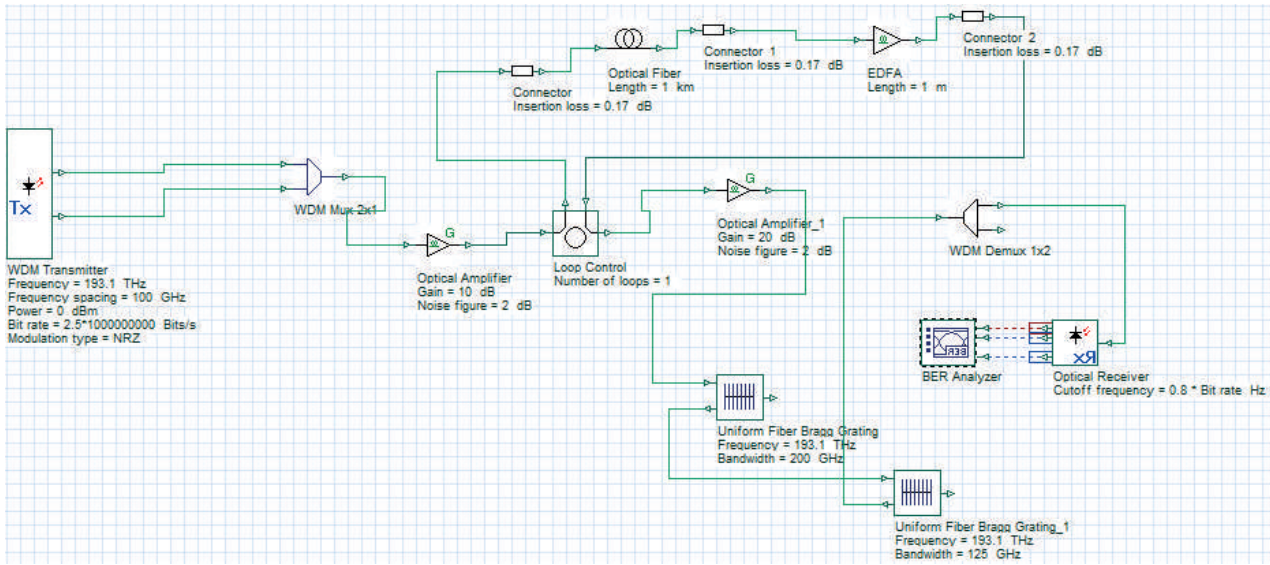
Bu çalışmada, SONET / SDH ve PDH teknolojileri incelenmiştir. Çalışmanın 2. Bölümü'nde, söz konusu olan teknolojilerin temel özellikleri açıklanmış ve konuyla ilgili uygulamalar yapılmıştır. 3. Bölüm'de, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. SONET / SDH VE PDH Teknolojileri

Ağın eş zamanlı olması, işletim ve bakım için ayrı donanım gerektirmemesi, optik arabirimlerin standart olması ve dolayısıyla farklı üreticilerin cihazlarının birbirine doğrudan bağlanabilmesi, yüksek ana hat hızları, ana hatlar üzerinden değişik hızlarda bilgi aktarımı, hat ve ağ elemanı arızalarına karşı koruma ve yedekleme yapılabilmesi, SONET / SDH teknolojisinin üstünlükleri arasında yer alır. Bu teknolojide, bir noktadan diğer noktaya bilgi aktarımı, bir nakliye işlemine benzetilerek açıklanabilir. SDH iletimi, ağda dolaşan tırların taşıdığı çeşitli boydaki bilgi paketleri ile yapılır. Tırların büyüklüğü, SDH elemanının, hangi ana hat hızında çalıştığını belirtir. Veri, ses veya video işaretleri gibi servis işaretlerini gönderecek olan SDH elemanı tarafından özel bir şekilde paketlerin ve tır üzerine yüklenir. Tır, diğer SDH elemanına ulaştığında sadece bu paket hizmet verir ve veri indirilir.

Büyük veri iletiminin, fiber optik sistemleri ve mikrodalga radyo sistemleri gibi sayısal taşıma ekipmanları ile gerçekleştirildiği bir iletişim teknolojisi olan PDH teknolojisi, günümüzde birçok alanda yerini SDH teknolojisine bırakmıştır [1, 2].

Bu bölümde, OptiSystem v7.0 simülasyon yazılımı kullanılarak SONET / SDH ve PDH teknolojilerinin performansların incelenmiştir. Analizlerde, BER analizörü, optik spektrum analizörü ve optik güçölçerden yararlanılmıştır [5].



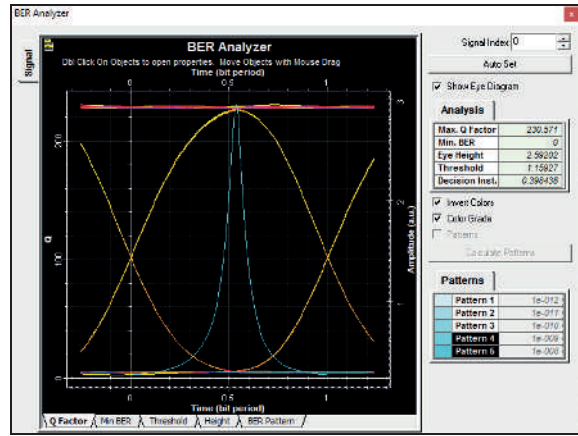
Şekil 1 : 2.5 Gbps bit hızına sahip iki alıcısı olan SDH tasarımı.

2.1 SONET / SDH Uygulamaları

Bu uygulamada, iki kullanıcısı arasında 1 km olan ve 2.5 Gbps bit hızına sahip SDH sistemi, WDM (Wavelength Division Multiplexer, Dalgaboyu Bölmeli Çoğullama) mekanizmasından yararlanılarak tasarlanmıştır. Şekil 1'de görülen düzenekte, WDM verici ile bit hızı 2.5 Gbps olan iki farklı frekansa sahip sinyal oluşturulmuş ve NRZ (Non-Return-to-Zero, Sıfıra Dönmeyen) modülatörü kullanılmıştır. WDM çoğullayıcı ile iki farklı sinyal, farklı kanallardaki optik fiberlere iletilmiştir. WDM çoğullayıcının optimum band genişliği, 50 GHz olarak belirlenmiştir. Optik filtreler içinde Gaussian optik filtrenin, en yüksek performansı gösterdiği anlaşılmıştır. Çoğullayıcının çıkışındaki optik kuvvetlendirici ile zayıflayan sinyal kuvvetlendirilmiştir. Halka kontrol yapısı ile satürasyon gibi istenmeyen durumlar en aza indirilmiştir. Optik fiberin girişinde ve çıkışında kullanılan konnektör ile optik fiberdeki bilginin downlink yönünde olması sağlanmıştır. Kaybın, 0.17 dB değerinde olduğu izlenmiştir. EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier, Erbium Katkılı Fiber Kuvvetlendirici) ile sinyal kuvvetlendirilmiştir. EDFA çıkışındaki konnektör, sadece downlink yönünde iletimin sağlanması için kullanılmıştır. Halka kontrol yapısının çıkışındaki optik kuvvetlendirici ile zayıflayan sinyalin genliksel değeri artırılmış ve fiber Bragg ızgara (Fiber Bragg Grating, FBG) kullanılarak EDFA'nın kazancı sabitleştirilmiştir. FBG'nin spektrumdaki merkez optik frekansı, 193.1 THz ve en iyi verim alınan band genişliği 200 GHz olarak, diğer FBG'deki merkez frekans değeri ise 193.1 THz ve band genişliği 125 GHz olarak gözlenmiştir. FBG'den sonra kullanılan WDM Demux ile farklı frekanslardaki sinyaller, farklı hatlara bölünmüştür. WDM Demux'un optimum band genişliğinin, 20 GHz olduğu görülmüştür. Hazırlanan düzenekte, optik alıcı kullanılarak pin fotodedektör, alçak geçiren filtre ve 3R jeneratörün tek bir bileşende bulunması sağlanmıştır.

Tasarımın BER analizi sonuçları, Şekil 2'de yer almaktadır. Kayıp hakkında en iyi bilgiyi veren minimum BER çıktısı, 0

olarak belirlenmiştir. BER değerinin 0 olması, sinyalin tamamının hiçbir kayba uğramadan iletilmesi anlamına gelmektedir. Analizde, uzaklık arttığı zaman kalite faktörünün değerinin azaldığı izlenmiştir.

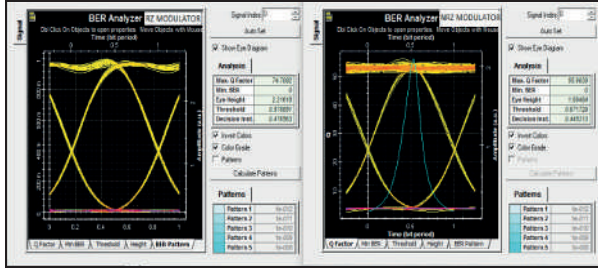


Şekil 2 : SDH tasarımının BER analizi.

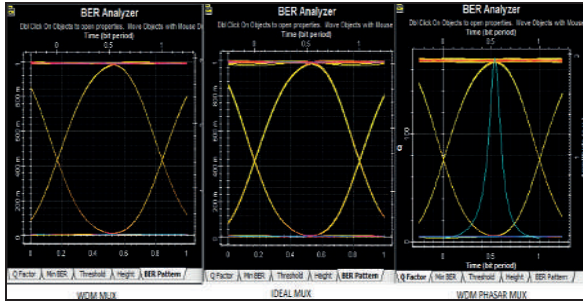
Şekil 3'te, WDM içerisindeki modülatör değişimi ile SDH tasarımlarındaki BER analizleri ve kalite faktörü değerleri bulunmaktadır. NRZ modülatöründeki dalgalanma, RZ (Return-to-Zero, Sıfıra Dönen) modülatöründe izlenen dalgalanmadan daha az olduğu için NRZ modülatörü tercih edilmiştir.

Analizde kullanılan WDM Mux, Ideal Mux ve WDM Phasar Mux çoğullayıcıların BER analizleri, 1 km'lik fiber optik hat üzerinde incelenmiş ve sonuçları, Şekil 4'te verilmiştir. Tasarımda, BER diyagramında saçaklanmanın en az olduğu ve ışığın daha yekpare olarak iletildiği WDM Mux'un kullanılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. 20 km

uzunluğundaki fiber optik hatta, downlink performanslarının, 2,5 Gbps bit hızına sahip alıcı sayısına göre değişimi incelenmiş ve kanal sayısı arttığında, kalite faktörünün değerinin azaldığı görülmüştür.



Şekil 3 : SDH tasarımında kullanılan RZ ve NRZ modülasyonların BER analizleri.

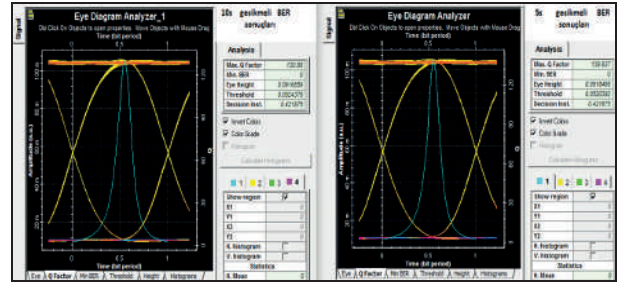


Şekil 4 : SDH tasarımında kullanılan WDM Mux, Ideal Mux ve WDM Phasor Mux çoğullayıcıların BER analizleri.

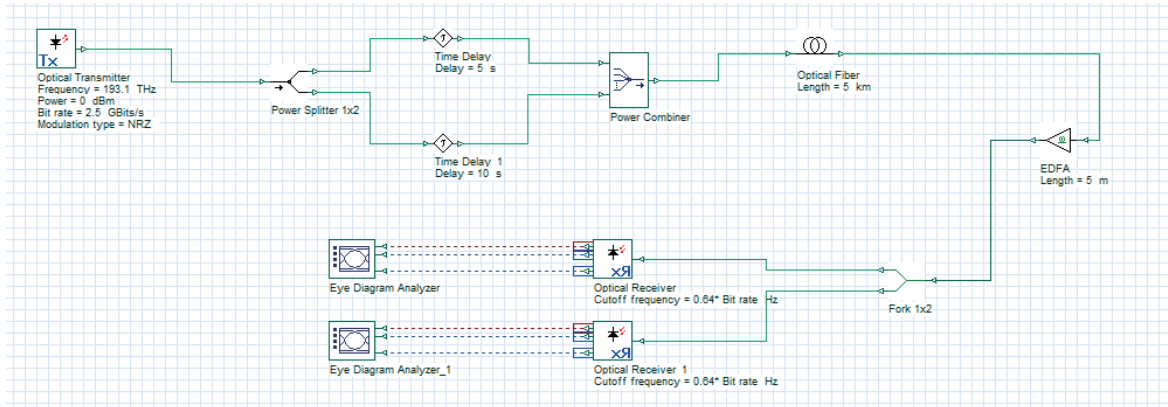
2.2 PDH Uygulamaları

Bu uygulamada, PDH standardı ışığında, iki alıcının bulunduğu ve farklı gecikmelere sahip olan bir sistem tasarlanmıştır. Sonuçları, Şekil 5'te bulunun BER analizinde, sistemin performansı hakkında en iyi bilgiyi veren minimum BER değeri, 0 olarak belirlenmiş ve her iki alıcıya da kaynaktan gelen verinin sorunsuz bir biçimde iletiği gözlenmiştir.

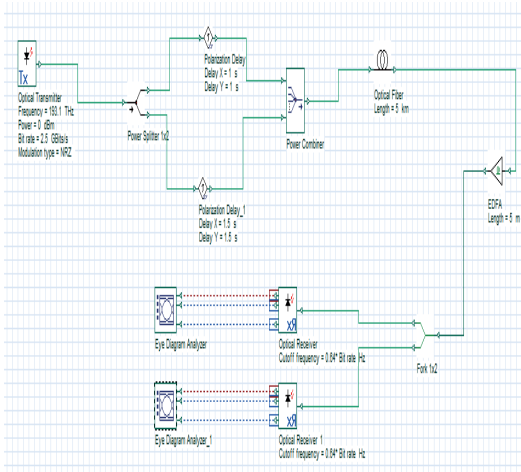
Şekil 6'da görülen tasarımda, 2,5 Gbps hızına sahip bit iletimi sağlayan optik verici kullanılmış ve NRZ çok modlu darbe jeneratörü ile bit oluşturulmuştur. Kullanılan güç bölücü ile bir kaynaktan alınan modüle edilmiş sinyal, kayıpsız şekilde iki kanala ayrılmıştır. Optik sinyaller, farklı zaman gecikmesi ile gönderilmiştir. Güç birleştirici ile iki farklı zamanlı sinyal, bir araya getirilerek gönderilmiştir. Sistemde, 5 km uzunluğundaki optik fiberden sonra EDFA kullanılarak işaret kuvvetlendirilmiştir. Alıcı tarafında, pin fotodiyot ile optik sinyal, elektriksel sinyale dönüştürülmüş ve alçak geçiren filtre ile sinyalin gürültüsü azaltılmıştır.



Şekil 5 : PDH tasarımının BER analizi.

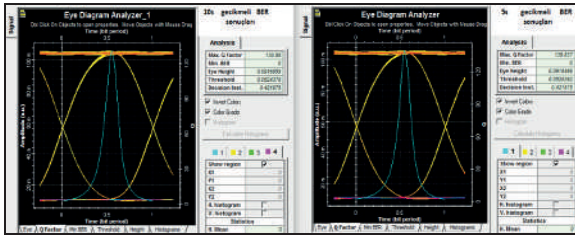


Şekil 6 : 2.5 Gbps bit hızına sahip iki alıcısı olan PDH tasarımı.



Şekil 7 : 2.5 Gbps bit hızına sahip polarizasyon gecikmeli iki kullanıcısı olan PDH tasarımı.

Şekil 7’de yer alan 2.5 Gbps bit hızına sahip polarizasyon gecikmeli iki farklı kullanıcısı olan PDH tasarımı yapılmıştır. Polarizasyon gecikmesi, optik sinyalin yatay ve düşey yönde kaymaları ile sağlanmıştır. Şekil 8’de BER sonuçları verilmiştir.



Şekil 8 : Polarizasyon gecikmeli iki farklı kullanıcısı olan PDH tasarımının BER analizi.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada, iletişim teknolojileri içinde önemli bir yerde olan SONET / SDH ve PDH teknolojileri incelenmiştir. Analizde, SONET / SDH teknolojilerinin, çoğullama yapılarının yer aldığı sistemler için uygun olduğu ve tasarımlarda kullanılan çoğullayıcıların sistemin performansını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Çoğullayıcının band genişliğinin optimum değerinin, 50 GHz olduğu belirlenmiştir. Gaussian optik filtrenin, en iyi verimin alındığı filtre olduğu gözlenmiştir. Halka kontrol yapıları ile gürültü gibi istenmeyen durumlar engellenmiştir. Şehirlerarası, ülkelerarası ve kıtalararası gibi uzak mesafelerdeki haberleşmenin, dakikalar mertebesindeki gecikmeler ile olduğu PDH teknolojisinde, optik sinyalin, yatay ve düşey yönde kaymaları ile polarizasyon gecikmesi sağlanmıştır.

4. Kaynaklar

- [1] A. Ikhlef, R. Hedara and M. Chikh-Bled, “Uniform Fiber Bragg Grating Modeling and Simulation Used Matrix Transfer Method”, IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 9, Issue 1, No. 2, January 2012, pp. 368-374.
- [2] D. Dhadwal, A. Arora and V. R. Singh, “Analysis and Optimization of Dedicated Path Protection for SONET/SDH Network”, International Journal of Engineering & Technology Research, Volume 3, Issue 3, May-June 2015, pp. 16-28.
- [3] Ö. Güre, *Pasif Optik Ağlar ve Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
- [4] N. Ö. Ünverdi ve N. A. Ünverdi, “Optik Haberleşme Sistemlerinin Dizaynı”, V. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu (İTUSEM 2013), İzmir, 127-133, 16-17 Mayıs 2013.
- [5] M. Öztürk, *SONET ve SDH-PDH Sistemlerinin Performans Analizi ve Uygulamaları*, Tasarım Projesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2017.

Telekom Veri Merkezleri için Tasarım Standartlarının İncelenmesi

Çilem Acar¹, Nihan Altıntaş²

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye; cilemacar@gmail.com

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye; naltin@yildiz.edu.tr

Özet

Bu bildiri TIA-942 ve Uptime Tier tasarım standartlarının araştırılmasının bir sonucudur. Bu bildiri; genel hatlarıyla veri merkezleri tanıtılmış, telekom veri merkezlerinin tasarımında önemli olan tasarım kriterlerinin detaylarına yer verilmiştir.

Veri Merkezleri bilginin barındırıldığı ve güven altında tutulduğu alanlar olarak tanımlanır. Öncelikli işlevi bir bilgisayar odası ve destek alanları olan bir binanın bölümü ya da bina olarak tasarlanabilir.

Veri merkezlerinde bilgisayar sistemleri ile iletişim ve veri ambarı sistemleri gibi ek sistemler barındırılır. Sunucu odası veya sistem odası olarak da adlandırılan bu tesisler; işletmelere ait sunucu ve veri ambarlarının bulundurulduğu alanlardır.[1] [2]

Bir telekom veri merkezi tasarımında dikkat edilmesi gereken başlıca kriterler aşağıda paylaşılmıştır;

- LAN (Local Area Network)\ WAN (Wide Area Network) Tasarımı
- Ses ve Birlikte Çalışma Sistem Tasarımı
- Kablosuz Altyapı Tasarımı
- Sanallaştırma Sistem Tasarımı
- Sunucu (Server) Altyapı Tasarımı
- Depolama Alanı Ağ Tasarımı
- Felaket Koruma (Acil Koruma) & Bilgi Koruma Tasarımı
- Güç Sistemi Altyapısı Tasarımı
- Veri Merkezi Yerleşim Planı & Tasarımı
- Sıcak Koridor \ Soğuk Koridor Tasarımı [3]

Anahtar Kelimeler: Veri Merkezi, telekom veri merkezi, Tier Tasarım standardı, sistem odası

Abstract

This paper is the result of investigation of the TIA-942 and Uptime Tier design standards. In this paper, data centers have been introduced in general terms and given the details of telecom data center design criterias.

In data centers, additional systems are housed such as communication and data warehouse systems with computer systems. These facilities which are also called server rooms or system rooms, are areas where server and data warehouses of the enterprises are located.

[1] [2]

Following items are the main benchmarks that shall be considered in the telecom design of a data center;

- LAN (local area network)\ WAN (wide area network) Design
- Voice and Collaboration Design

- Wireless Infrastructure Design
- Virtualization Design
- Server Infrastructure Design
- Storage Area Network Design
- Disaster Recover & Data Protection Design
- Power Infrastructure Design
- Data Center Layout & Design
- Hot Aisle \ Cold Aisle Design [3]

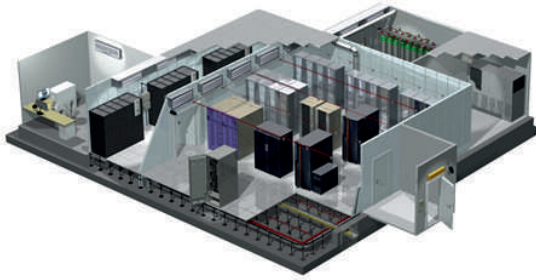
Key words: Data center, telecom data center Tier design standard, system room

1. GİRİŞ

Bilgi teknolojilerinin gelişimi ile teknoloji ortamına aktarılan bilginin bütünlük, erişilebilirlik ve gizlilik niteliklerinin korunması için gerekli olduğu gibi organizasyonların temel işlerini ve operasyonel verilerini işleten uygulamaları da çalıştırmaktadır.

Kurumların hizmet kalitesini geliştirmek amaçlı bilgi teknolojileri ve veri merkezi alanlarında yoğun yatırımlar yapılmaktadır. Son yıllarda internet kullanıcısı sayısındaki artış, Telekomünikasyon alanındaki yoğun rekabet ile birlikte tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de veri merkezi alanında büyük gelişmeler olmuştur ve gelişmeler olmaya devam etmektedir. Veri Merkezleri sayesinde şirket verileri dijital ortamlarda saklanmaktadır. Ancak Veri Merkezleri için ciddi şekilde altyapı yatırımı yapmak gerekmektedir. Veri merkezleri ihtiyaca göre; yüksek seviye güvenlik, kesintisiz güç kaynağı, modern soğutma ve yedeklilik gibi yüksek teknoloji standartları baz alınarak dizayn edilir.

Veri merkezlerinde işlenen ve saklanan verinin önem derecesine göre elektrik, mekanik, güvenlik sistemleri değişmektedir. Genel olarak düşünüldüğünde veri merkezleri; yedek güç kaynakları, yedek veri iletişim bağlantıları, merkez içerisinde bulunan sistemlerin soğutulması için kullanılan iklimlendirme sistemleri, yangın söndürme sistemleri ve dış ortamdan gelebilecek tehlikelere karşı verinin güvenlik derecesine göre güvenlik sistemlerini bulundurlur. [1] [2]



Şekil-1: Örnek bir veri merkezi gösterimi

2. TIA-942 Standardı

ANSI (American National Standards Institute) tarafından akredite edilmiş bir kuruluş olan Telecommunications Industry Association'ın yayınladığı "TIA-942 Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers" standardı, veri merkezlerinin iletişim altyapısı ve sunucu odaları için asgari gereksinimleri belirlemiştir. Standartta veri merkezleri için 4 farklı sınıflandırma belirlenmiş olup, sınıflarla ilgili özet bilgi aşağıda verilmiştir:

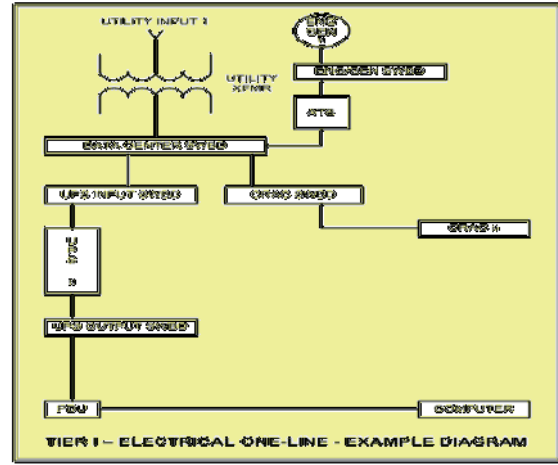
Tier 1 Seviyesi: Küçük işletmelere hizmet veren veri merkezleridir. Bilgisayar sistemleri, elektrik, mekanik tesisat yedeksizdir. Genel olarak 10 dakikadan daha fazla bir enerji kesintisine bir önlemi yoktur. Tahmini %99,676 kullanılabilirlik sunmaktadır.

Tier 2 Seviyesi: Enerji ve soğutma sistemlerinde kısmen yedeklik içerir. Jeneratör kullanarak 24 saatlik bir enerji kesintisine dayanabilmektedir. Tahmini %99,741 kullanılabilirlik sunmaktadır.

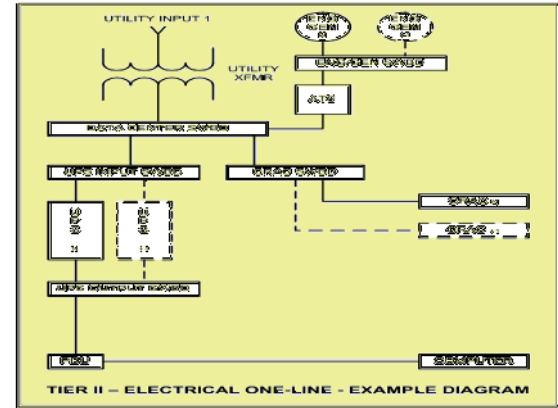
Tier 3 Seviyesi: Yedek elektrik şebekesi içerir. Yedek enerji ve soğutma sistemleri içerir. Yedek hizmet sağlayıcıları içerir. 72 saatlik bir kesintiye karşı dayanabilir. Tahmini %99,982 kullanılabilirlik sunmaktadır.

Tier 4 seviyesi: Bütün Tier 3 kriterleri sağlar. Ek olarak 96 saatlik kesintiye dayanabilir. 7/24 çalışan bir personel ekibi mevcuttur. Yer seçiminde çok sıkı davranılır, yüksek güvenlik önlemleri alınmıştır.

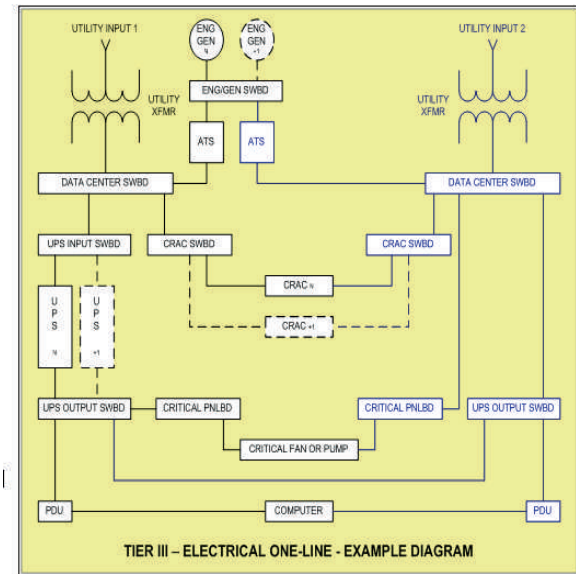
%99,982 ile %99,995 arasındaki fark %0,013 sembolik gibi gözükse de uygulamaya göre önem arz etmektedir. Bir yıllık toplam kullanım zamanını yani 525.600 dakikalık bir süreyi dikkate alırsak, TIER 3 seviye 94.608 dakika kullanım dışı olurken, TIER 4 seviye 26,28 dakika kullanım dışı olacaktır. Böylece TIER 4 seviye TIER 3'den 68.328 dakika daha fazla serviste olacaktır.



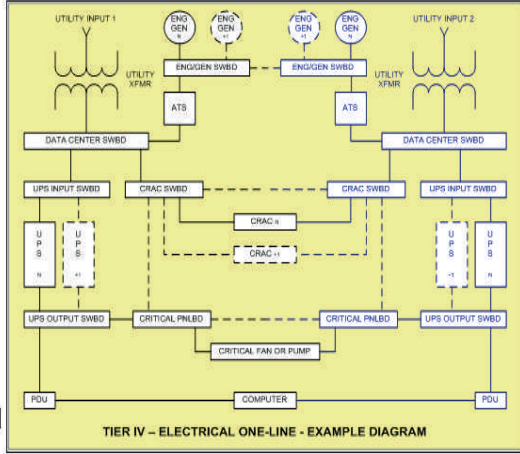
Şekil-2: Tier 1 standart seviyesi için örnek elektriksel hat şeması



Şekil-3: Tier 2 standart seviyesi için örnek elektriksel hat şeması



Şekil-4: Tier 3 standart seviyesi için örnek elektriksel hat şeması

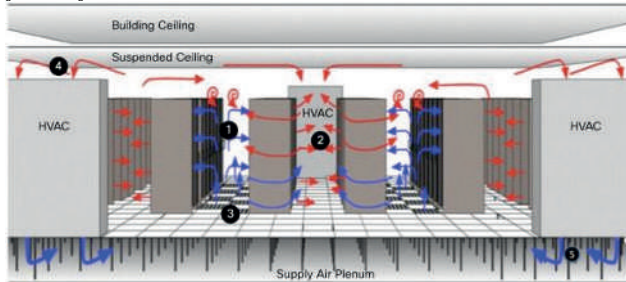


Şekil-5: Tier 4 seviyesi için örnek elektriksel hat şeması

3. Veri Merkezleri Enerji ve Soğutma Sistemleri Yedeklilik Yapısı

Enerji; yedekliliği ve sürekliliği en önemli olan sistemdir. Bu yüzden kullanılan Ups'ler de yedekli çalışmalıdır. Konu güç kaynağı ise ihtiyacınız olan her cihazın yedeğini sisteminizde barındırmanız gerekmektedir. Bu yanında ek bir maliyet getirecektir ama Enerji durur ise her şey durur. Amaç oluşacak bir problem durumunda yaşayacağınız büyük mali kaybı önlemek için küçük maliyetlerle önlemine almaktır.

Soğutma; Veri Merkezin' de bulunan cihazları büyük bir bölümü çabuk ve yüksek ısı üretmektedir. Elektronik cihazların tamamı fazla ısıda performans kaybı ve daha sonra arıza yaşamaktadır. Dolayısı ile Soğutma devamlılığın sağlanması konusunda en önemli ünitelerdir. Enerji sarfiyatının büyük bölümünü üstlenir. Günümüzde en çok kullanılan alan soğutmalı çözümlerdir. Bu çözümde dikkat edilmesi gereken sıcak ve soğuk hava koridorları oluşturmaktır. Kabin ve Klima yerleşimlerinde cihazların soğuk havayı çektiği ve sıcak havayı boşalttığı alanlar bir koridor gibi oluşturulmalıdır. Sıcak hava öz kütleden dolayı yükseleceği için klimaların bu havayı çekebilecek konumda olmalıdır. Soğuk hava ise yükseltilmiş zeminin altından kabin özlerindeki menfezlerden cihazlara ulaşmalıdır. Günümüzde en yaygın soğutma yöntemi soğuk hava (Klima) ile yapılmaktadır. Su ile soğutma (Yeşil Veri Merkezi) yeni bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Devamlılığın öneminden dolayı klimaların yedekliliği de son derece önemlidir. Klimalar sık arızalanan bir yapıya sahiptir bu yüzden yedeklilik son derece önemlidir.



Şekil-6: Veri merkezlerinde bulunan sistem odalarında bulunan sıcak ve soğuk havanın akışının gösterimi

Tier Sınıf	Jeneratör	UPS yedek	Güç Beslemesi	Klima	Kullanılabilirlik	Kesinti Süresi
1	Yok	N	Tek	N	99.671%	28.8 saat
2	N	N+1	Tek	N+1	99.741%	22 sat
3	N+1		Çift (biri aktif)	N+1	99.982%	1.6 saat
4	2N		Çift (aktif-aktif)	2N	99.995%	26 dakika

Tablo-1: Uptime Tier standart seviyelerine göre veri merkezleri enerji ve soğutma sistemleri yedeklilik yapısının analiz tablosu .[1] [2]

Tablo-1'de N; ihtiyacı görece kadar, N+1 ihtiyacın dışında bir yedek, 2N her bileşen yedekli anlamına gelmektedir.

4. Tier Tasarım Uyumluluğu için Gerekli Dokümanlar

Uptime Institute firmasının Telekom veri merkezlerinin tier tasarım uyumluluğu için incelediği tasarım dokümanları ilgili açıklamaları ve detayları ile birlikte aşağıdaki tabloda gösterilmiştir;

SIRA NO	DOKÜMANTASYON
1	01 Program Tanımı
1.1.	Extrem Koşullarda Güç Sistemleri Seçim Çıktıları (Jeneratör, Yakıt Tank Kapasitesi, KGK, vb.)
1.2.	Extrem Koşullarda Soğutucu Sistemleri Seçim Çıktıları (İç Ünite, Dış Ünite, vb.)
1.3.	Salonlar ve Destek Odalar (KGK Odası, Ana Pano Odası,vb.) Isıl Kazanç Hesapları
1.4.	Program Tanımının Yazılması ve Hesaplama Tabloları
2	Mimari Çizimler
2.1.	Tüm Veri Merkezi Alanlarını (Sistem Salonları, Dahili Destek Alanları, Harici Destek Alanları) gösteren vaziyet ve mimari çizimler. Tüm Kapalı alanların tek ve bir ismi bulunmalıdır.
2.3.	Bu alanlara personel ve malzeme erişiminin sağlandığı erişim yol ve koridorları görülecektir.
3	Mimari Sivil Altyapısı
3.1.	Erişim Denetim (Access) Sistemini oluşturan panel, kontrollör ve güç ünitelerinin mimari çizim üzerinde yerleşimi. Her ünite tek ve bir isimle etiketlenecektir.
3.2.	Erişim Denetim (Access) Sistemi ana bilgisayarı ve güç ünitelerinin mimari çizim üzerinde yerleşimi. Her ünite tek ve bir isimle etiketlenecektir.

3.3.	CCTV Sistemini oluşturan kamera, panel, kontrollör ve güç ünitelerinin mimari çizim üzerinde yerleşimi. Her ünite tek ve bir isimle etiketlenecektir.
3.4.	CCTV Sistemi ana bilgisayarı ve güç ünitelerinin mimari çizim üzerinde yerleşimi. Her ünite tek ve bir isimle etiketlenecektir.
4	Sistem Salonları Yerleşimi
4.1.	Sistem Salonlarında bulunan tüm güç ve dağıtım sistem ve panolarının yerleşimi verilecektir. Her ünite tek ve bir isimle etiketlenecektir.
4.2.	Sistem Salonlarında bulunan tüm soğutma ve dağıtım sistem ve panolarının yerleşimi verilecektir. Her ünite tek ve bir isimle etiketlenecektir.
5	Elektriksel Şemalar
5.1.	Elektriksel Tek Hat Şemaları: OG ve AG'yi da kapsayan şekilde servis girişinden sistem salonundaki son noktaya kadar tüm yollar gösterilecek. Her ünite, pano, devre kesici ve komponent tek ve bir isimle etiketlenecektir.
5.1.1.	Tek Hat Şemaları ve hesapları Erişim Sistemleri, CCTV, BAS, BMS/PMS'i besleyecek güç dağılımını da içermelidir.
5.2.	Elektriksel Kuvvet Tesisatı Planları: OG ve AG'yi da kapsayan şekilde servis girişinden sistem salonundaki son noktaya kadar tüm yollar gösterilecek. Her ünite ve pano tek ve bir isimle etiketlenecektir.
5.2.1.	Erişim Sistemi: Erişim Kontrol Sistemi panelleri, kontrollörleri ve bilgisayarlarının Elektrik Kuvvet Tesisat Planında gösterimi. (Ayrı ya da Ana Elektrik Kuvvet Tesisat Planında) Her ünite, pano ve devre kesici tek ve bir isimle etiketlenecektir.
5.2.2.	CCTV Sistemi: CCTV Sistemi kameraları, panelleri, kontrollörleri ve bilgisayarlarının Elektrik Kuvvet Tesisat Planında gösterimi. (Ayrı ya da Ana Elektrik Kuvvet Tesisat Planında) Her ünite, pano ve devre kesici tek ve bir isimle etiketlenecektir.
5.2.3.	BMS/PMS Sistemi: BMS/PMS Sistemi kameraları, panelleri, kontrollörleri ve bilgisayarlarının Elektrik Kuvvet Tesisat Planında gösterimi. (Ayrı ya da Ana Elektrik Kuvvet Tesisat Planında). Her ünite, pano ve devre kesici tek ve bir isimle etiketlenmelidir.
6	Elektriksel Cihaz Listeleri
6.1.	Jeneratör Teknik Dokümanları
6.2.	KGK ve Güç Kaynaklarının Teknik Dokümanları
6.3.	Tüm Panolar ve Yük Akışı Hesap Tabloları
7	Mekanik Yükler Elektriksel Cihaz Listeleri

7.1	Bölüme de bu panolar dahil edilebilir.
8	Acil Durum Sistemleri (Emergency Power Off)
8.1.	Bu sistem kritik güç ve soğutma sistemleri için kullanılıyor ise prensip ve güç sistem şemaları sağlanmalıdır.
9	Mekanik Şemalar
9.1.	Kritik Soğutma Mekanik Tek Hat (Akış) Şeması: Tüm Soğutma Sistemini uçtan uca gösterecek. (iç-dış üniteler arasındaki, borulama, vana ve enstrüasyon detayında) Her valf, pompa, enstrüman ve ünite tek ve bir isimle etiketlenecektir.
9.2.	Kritik Soğutma Mekanik Tesisat Yerleşim Şeması (Tesisat Uygulama) : Tüm Soğutma Sistemini (Salonlar, KGK Odaları, Elektrik Odaları vb.) uçtan uca gösterecektir. (iç-dış üniteler arasındaki, borulama, vana ve enstrüasyon detayında) Her valf, pompa, enstrüman ve ünite tek ve bir isimle etiketlenecektir.
10	Mekanik Ekipman Listeleri
10.1.	Tüm iç ünite, dış ünite, pompalar vb. ekipmanın teknik bilgileri verilecektir.
11	Su Telafi Depolaması
	Eğer açık su soğutma sistemleri kullanılıyorsa depolama hacim ve tesisat proje çizimleri. Her valf, pompa, enstrüman ve ünite tek ve bir isimle etiketlenecektir.
12	Su Şartlandırma
	Su şartlandırma sistemlerinin tek hat ve tesisat uygulama projeleri. Her valf, pompa, enstrüman ve ünite tek ve bir isimle etiketlenecektir.
13	Sistem Salonu Soğutma ve Yükseltilmiş Taban Ek Sistemleri
13.1.	Sistem Salonunda basınçlandırma, nemlendirme gibi alt sistemlerin prensip ve uygulama projeleri. Her valf, pompa, enstrüman ve ünite tek ve bir isimle etiketlenecektir.
14	Dizel Makine Yakıt Sistemleri
14.1.	Yakıt tankları, pompa istasyonları ve tesisat projeleri hem elektriksel hem de mekanik uygulama çizimleri. Her pano, devre kesici, valf, pompa, enstrüman ve ünite tek ve bir isimle etiketlenecektir.
15	Yangın Algılama Sistemi
15.1.	Yangın Algılama Sistemlerinin panelleri, kontrollörleri ve bilgisayarlarını içeren tesisat ve güç besleme şemaları. Her ünite ve pano tek ve bir isimle etiketlenecektir.
15.1.1.	Ana Paneller (Bilgisayar) tek ve bir isimler etiketlenilerek gösterilecektir.
16	İzleme ve Kontrol Sistemleri
16.1.	Elektrik transfer, mekanik pompalar, soğutma

	sistemleri, damper vb. sistemleri yöneten ve/veya izleyen BMS donanımlarının (Bilgisayar, PLC, DDC, sensör ve enstrümanların) pozisyonları ve bağlantıları gösterilecektir.
16.2.	Kritik elektriksel sistemlerin izleme, operasyon sırası ve kontrol konsept şema ve anlatımları verilecektir.
16.3.	Kritik soğutma sistemlerin izleme, operasyon sırası ve kontrol konsept şema ve anlatımları verilecektir.
16.4.	Jeneratör yakıt sistemlerin izleme, operasyon sırası ve kontrol konsept şema ve anlatımları verilecektir.
17	Haberleşme Ağ Şemaları
17.1.	Arsaya girişten sistem odalarına kadar fiber ve omurga hatlarının şeması verilecektir.

Tablo-2: Tier sertifikasyonu için incelenen doküman listesi ve açıklamaları [4]

5. Sonuçlar

Bu bildiriye, veri merkezleri için tüm dünyada kabul edilmiş standart olan TIA-942 standardının seviyeleri (Tier standartları) incelenmiştir. Enerji ve soğutma yedekliliği ile sürekliliğin son derece önemli olduğu bu teknoloji merkezlerinde ihtiyaca göre tasarım kriterleri değişiklik göstermektedir. Bu noktada önemli olan bu merkezlerde tutulan bilgilerin kritiklik düzeyidir. Son kullanıcılara yani müşterilere yönelik bilgilerin tutulduğu ve işlendiği merkezleri dikkate alırsak;

- Telekom veri merkezleri minimum Tier 3 standartlarında olmalıdır.
- Veri merkezleri minimum aşağıdaki sertifikalara sahip olmalıdır :
BCMS-581190/Business Continuity Management System, ISMS/Information Security Management System-ISO27001,
- Veri merkezi binası en az yedekli iki farklı OG indirme merkezinden gelen enerji hatları ile enerjilendirilmelidir, en az iki adet trafo , jeneratör altyapısına sahip olmalıdır.
- Veri merkezi enerji yedekliliği en az 2N olacak ve yedeklilik Trafodan sunucuların bulunduğu kabinetlere kadar tam yedekli şekilde olmalıdır (2N yedeklik yapısında)
- Veri merkezi içerisinde yedekli enerji ve data kabloları birbirine kesmeyecek ve SpoF (Single Point of Failure) oluşturmayacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Veri merkezi en az N+2 soğutma yedekliliğine sahip olmalıdır.
- UPS aktü yedekleme süresi en az 30dk olmalıdır
- Veri merkezinde birbirinin yedeği olan en az iki fiber hattı olmalıdır
- Yedekli fiber hatları veri merkezi binasına farklı noktalarda giriş yapacaktır, dış dünyadan gelen fiberler bina dışında farklı menholleri kullanılmalıdır
- Veri merkezi serbest soğutma (free cooling) yapabilir kapasite ve tasarımda olmalıdır
- Veri merkezi sistem odalarında verimlilik ve bilgi teknolojileri sistemlerinin kesinti sürelerini azaltmak

için sıcak veya hava koridor kapatma uygulaması olmalıdır

- Veri merkezi binası yüksek verimli UPS ve soğutma üniteleri ile donatılmış olmalıdır. UPS'lerin verimleri en az 96% ve soğutma üniteleri serbest soğutma (free cooling) özelliğine sahip olmalıdır
- Veri merkezinde 7/24 fiziksel güvenlik ekibi olmalıdır.
- Sistem odaları, UPS odaları, akü odaları, trafo ve jeneratör sistemlerinin bulunduğu teknik alanların tamamı otomatik gazlı söndürme sistemi ile hava örnekleme sistemi ile koruma altına alınmış olmalıdır.
- Tüm teknik alanlar (Sistem odaları, UPS odaları, akü odaları, trafo ve jeneratör sistemlerinin bulunduğu alanlar) CCTV kamera uygulaması ile izlenmelidir (fiziksel güvenlik için)
- Sistem odalarında aktiviteleri takibi için ana koridorlara hakim IP kameralar olmalıdır (firma çalışmaları, kablolama..vs takibi için)
- Sistem odalarına girişler biyometrik kontrollü (parmak izi..vb) card reader sistemi ile yapılmalıdır.
- Veri merkezi binası deprem riskini adresleyecek şekilde tasarlanmış ve imal edilmiş olmalıdır. Binaya ait tüm statik projeler ve detaylar mevcut olmalıdır.
- Veri merkezi binası çelik konstrüksiyon olarak imal edilmiş olmalıdır, deprem durumunda binanın güvenli olduğu gerekli statik ve tasarım projeleri ile ortaya konulacaktır
- Sistem odaları bina içinde güvenli bir şekilde konumlandırılmış olmalıdır. Bilgi teknolojileri sistemlerinin fiziksel güvenliği için sistem odası ile dış ortam arasında boş tampon alan/koridor olmalıdır.
- Soğutma üniteleri sistem odaları içerisinde olmamalıdır (su riski ve güvenlik riskleri için)

[6]

6. Kaynaklar

- [1] <https://www.bilgiguvenligi.gov.tr>
- [2] “Google’s Approach to IT Security”,
<https://cloud.google.com/files/Google-CommonSecurity-WhitePaper-v1.4.pdf>
- [3] <https://www.epochuniversal.com>
- [4] Uptime Institute
- [5] TIA-942 Data Center Standards Overview
- [6] Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers



EEMKON 2017

16-18 KASIM 2017
Harbiye Askeri Müze Kültür Sitesi

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ



KENT VE ELEKTRİK SEMPOZYUMU BİLDİRİLERİ

Aydınlatmanın Ötesindeki Işık

Light Beyond Illumination

Dilara Gürkan¹

¹Pazarlama Müdürü, Proje Kanalı
Philips Aydınlatma
Dilara.Gurkan@philips.com

Özet

Hızla dönüşen global ekonomik, teknolojik ve demografik parametreler, aydınlatma sektöründe de paralel bir transformasyon tarafından takip edilmiştir. Bu kapsamda oluşan aydınlatma sektörü trendleri, Philips tarafından ışığı aydınlatmanın ötesine taşıyan inovatif çözümlerle desteklenmekte, şekillenmektedir.

Abstract

Rapidly evolving global economic, technologic and demographic parameters are being followed by a parallel transformation at lighting sector. With this respect, the trends of the lighting sector is being supported and structured by Philips via innovative solutions that brings light beyond illumination.

1. Giriş

Günlük yaşamın ayrılmaz bir parçası olan aydınlatma, etkileşim içerisinde olduğu demografik değişkenler, enerji piyasası ve son teknolojik devrimlerle paralel olarak önemli bir değişim geçirmektedir. Gündemdeki bu devrim niteliğindeki dönüşüm süreci, tüm ihtiyaçlarda olduğu gibi aydınlatma sektöründeki ihtiyaçları da yoğun olarak şekillendirmektedir.

2. Aydınlatma Trendleri

İhtiyaçların yeniden şekillendiği aydınlatma sektöründe lider bir firma olarak Philips, bu transformasyon paralelinde aydınlatmanın geleceği için üç ana temel trend belirlemekte ve bu trendler doğrultusunda yoğun çalışmalar gerçekleştirmektedir.

2.1. Daha Fazla Işık

Aydınlatma sektör trendlerinden ilki dünyada artmakta olan ışık ihtiyacıdır. Kalabalıklaşan ve büyüyen şehirlerin, buna paralel olarak ışık ihtiyacının da artması öngörülmektedir.

- Birleşmiş Milletler Örgütü'nin öngörüsüne göre, 2050 yılına kadar dünya nüfusunun %80' inin şehirlerde yaşayacağı öngörülmektedir.

- Dünya nüfus artış beklentisini ışığında yapılacak bir hesaplama göre 2050 yılına kadar mevcuta ek olarak 2 milyarlık bir insan artışı beklenmektedir.
- 2050 yılına kadar dünya nüfusunun üçte ikisinin şehirlerde yaşaması beklenmektedir.

2.2. Daha Verimli Işık

Kaynakların sınırlı ancak aydınlatma ihtiyacının giderek arttığı süreçte önemli bir başka aydınlatma trendi karşımıza çıkmaktadır. Bu koşullar altında daha verimli aydınlatma çözümlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Zira aydınlatma, dünya toplam enerji tüketiminde çok önemli bir yer tutmaktadır.

- Şehirlerde tüketilen enerjinin 50%' si aydınlatmadan kaynaklanmaktadır.
- Aydınlatmanın, tüm dünya enerji tüketiminin 15%' i olduğu durumda, basit LED dönüşümü ile dahi bu oranı 8%'e indirmek mümkündür.
- Tüm sektörlerde yapılacak global bir LED dönüşümü, dünyada 1.250 adet elektrik santralinin kurulum ihtiyacını engelleyecek bir verimlilik sağlayabilmekte ve 299 milyar dolarlık bir toplam enerji tasarruf potansiyeli sunabilmektedir.

2.3. Daha Dijital Işık

Mevcut global transformasyon süreci ile paralel olarak aydınlatmada da karşılaştığımız üçüncü bir başka trend ise dijitalleşmedir. Tüm sektörlerde olduğu üzere hem teknolojik çözümlerde hem uygulama alanlarında yeni inovatif yaklaşımlar geliştirilmektedir.

- Markets&Markets firmasının yayınladığı araştırmaya göre, 2025 yılı itibarıyla 56 milyar dolarlık bir bağlantılı aydınlatma pazarı ön görülmektedir.
- 2019 senesi itibarıyla, 224 milyon evin, "akıllanması" öngörülmektedir.

3. Aydınlatmanın Ötesindeki Işık

Aydınlatma sektörüne yön veren ana trendler kapsamında, yüksek verimlilik sağlayan uygulamalarının yanı sıra, artık yan faydalar da sağlamak bir odak haline gelmiştir. LED teknolojisine geçiş sürecinin de elveriş sağladığı üzere bağlantılı aydınlatma ya da esnek iş model uygulamaları aracılığıyla çok fonksiyonel ve inovatif aydınlatma çözümleri sunulabilmektedir. Philips bu noktada ışığı aydınlatmanın ötesine taşıyarak trendleri belirleyen yenilikçi çözümler oluşturmaya odaklanmaktadır.

Philips'in geliştirdiği çözümler sağlık uygulamalarından, spor alanlarına, yol aydınlatma uygulamalarından, ofislere bir çok segmenti kapsamaktadır. Bu çeşitli çözümler arasından inovatif bir kaç örnek ise şu şekildedir.

3.1. Indoor Positioning

"Indoor Positioning" sistemi aracılığıyla, aydınlatma armatürlerinden yayılan ışık vasıtasıyla konum bilgisi elde edilmekte ve bu sayede kullanıcılara tutarlı bir iç mekan yönlendirmesi sağlanmaktadır. Ayrıca, LED iç mekan konumlandırma teknolojisi sayesinde kullanıcılara, mobil uygulamaları üzerinden konum tabanlı hizmetler de sunulmaktadır. Dolayısıyla, konum bilgisiyle entegre olarak çalışan telefon uygulaması; gerek kullanıcı gerekse lokasyon yöneticisi açısından anlamlı olabilecek bir çok fonksiyon sağlamak ve kişilere aydınlatmanın ötesinde önemli bir analiz kaynağı sunmaktadır:

- Kullanıcılar, gitmek istedikleri noktaya en optimum rotayı oluşturabilmekte, lokasyon bazlı bilgi ve destek alabilmektedir.
- Lokasyon yöneticisi, ısı haritaları ile iç mekanın kullanım ve optimizasyon analizlerini yapabilmekte, personel verimliliğini ölçebilmekte ve ziyaretçi memnuniyetini artırabilmektedir.

3.2. Healwell

"Healwell" entegre aydınlatma sistemi, sağlık alanında geliştirilmiş inovatif bir çözümdür. Sistem bünyesinde;

- Ayarlanabilir beyaz teknolojisine sahip fonksiyonel aydınlatma armatürü
- Gizli ambiyans aydınlatmaları
- Okuma ışığı
- Ve kullanıcı dostu bir otomasyon sistemi

öğelerini bulundurmaktadır. Birbirleriyle, önceden belirlenmiş senaryolar çerçevesinde iletişim halinde olan sistemin bütünü, hastane odası içerisinde ahenkli bir aydınlatma uygulama imkanı sunmaktadır. Bu sayede oda içerisine, gün içinde açık alanda algılanan günışığı değişimleri aktarılabilir. Bu uygulama bir yönden yeteri kadar aydınlanmamış ya da hiç penceresi olmayan odalarda doğru ve enerjik bir fonksiyonel

aydınlatma sağlarken, ambiyans aydınlatma öğeleri ve otomasyon müdahalesi imkanı ile moda yönelik çözümler sunmaktadır.

Yapılan araştırmalar çerçevesinde, sistemin faydalarını destekleyen bazı istatistikler mevcuttur. Hollanda' da bulunan Maastricht Hastahanesi' nde yaklaşık 1 yıl içinde toplanan data'lara istinaden bazı faydalar şu şekildedir:

- Hastane ziyaretçileri memnuniyet oranı +29% oranında artmıştır.
- Personel memnuniyet oranı +36% oranında artmıştır.
- Ziyaretçiler ilk haftanın sonu itibariyle yarım saat daha fazla uyku almışlardır.
- Ziyaretçilerin, ilk haftanın sonu itibariyle 19,4 dakika olan uykuya dalma süresi ise 11,5 dakikaya düşmüştür.

3.3. Light as a Service

Kısıtlı kaynaklar sebebiyle önemi gün geçtikçe artan sürdürülebilirlik ve dönüşüm ekonomisi uygulamaları, Philips tarafından da bir iş modeli olarak şekillendirilmektedir. Bu sayede

- Işık kiralanabilir bir unsur olarak ele alınıp ilk yatırım maliyeti düşürülebilmekte,
- Kullanılan uzun ömürlü armatürler, kontrat süresi sonunda koşulları dahilinde bir başka projede kullanılarak ekonomi döngüsüne geri katılabilmektedir.

4. Sonuç

Değişen koşullar ve değişen ihtiyaçlar her geçen gün aydınlatma teknolojisini şekillendirmektedir. Philips Aydınlatma, bu kapsamda geleceğin teknolojisine yatırım yaparak, aydınlatmayı ışığın ötesine taşımayı hedef edinmektedir. Bu açıdan geliştirilen daha verimli, daha çevreye duyarlı ve daha kullanıcı çözümler sayesinde aydınlatma, bu teknolojik devrimin en önemli parçalarından biri olmaktadır.

5. Kaynaklar

- [1] Google Shopper Marketing Council, 2014
- [2] LED Lighting Revolution Report, Philips, 2012
- [3] Philips Lighting Experience Research, 2016
- [4] Smart Lighting Report, Markets&Markets
- [5] World Urbanization Report, UN

Galata Kulesi’de Aydınlatma Tasarımı Süreçleri Lighting Design Stages of Galata Tower

Nergiz Arifoğlu

NA Lightstyle Aydınlatma Tasarımı ve Danışmanlığı
nergiz@na-lightstyle.com

Özet

İstanbul için Galata Kulesi kent silüeti içerisinde yüzyıllardır önemli bir rol oynamıştır. 5. yüzyılda Bizanslılar tarafından fener olarak inşa edilen kule, 13. yüzyılda Cenevizliler tarafından Galata surlarına dahil bir savunma kulesi olmuş ve adı İsa kulesine dönüşmüştür. Osmanlı kuleyi sürekli onarmaya devam etmiş ve nihayet bugüne ulaşan kent sembollerinden biri halini almıştır. Belediye logosundan birçok kurum ya da etkinliğin kurumsalına kadar kent kültür ve yaşamına işlemiş bir ikon olan kule, hem kent silüetine hakim duruşu, hem de terasından 360 derece kente bakışı ile her dönem ziyaretçilerinin gözbebeği olmuştur. İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve İstanbul Enerji A.Ş. sorumluluğundaki bu değerli yapının yeni aydınlatma tasarımı Nergiz Arifoğlu Lightstyle Mimari Aydınlatma Tasarımı ofisi tarafından çalışıldı. Tasarım, uzun süren planlama, testler ve kurul onayları akabinde Ağustos 2016’da hızla hayata geçirildi.

Abstract

The Galata Tower has played an important role in the city skyline for Istanbul. The tower which has been built in the 5th century by the Byzantines served as a defence tower to the Galata walls in the 13th century during which its name got changed to the Tower of Christ by the Genoese. The Ottomans continuously restored the tower which turned it into one of the main city symbols nowadays.

This tower which has been the main icon on many municipal, corporate and cultural event logos, has always been one of the main attractions for visitors that stands as a symbol for the culture and life of the city with both its ruling location and its 360 degrees of view of the city from its terrace.

Nergiz Arifoğlu Lightstyle Architectural Lighting Design office has created the new lighting design of this valuable building which is under the control of the Istanbul Metropolitan Municipality and the Istanbul Energy Co. The new design has been rapidly implemented after a long process of planning, testing and approval.

1. Giriş

İstanbul’un en önemli turistik uğrak noktalarından bir olan Galata Kulesi, geçmiş yıllarda zamanın teknolojik imkanları ile birçok farklı biçimde geceleri kendini silüet içinde ifade etmeye çalışmıştır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi aldığı bir

karar ile aydınlatmasının bir etüd / tasarım süreci geçirecek yenilenmesini ve kent bütünlüğü içinde hak ettiği değeri bulmasını hedeflemiştir.



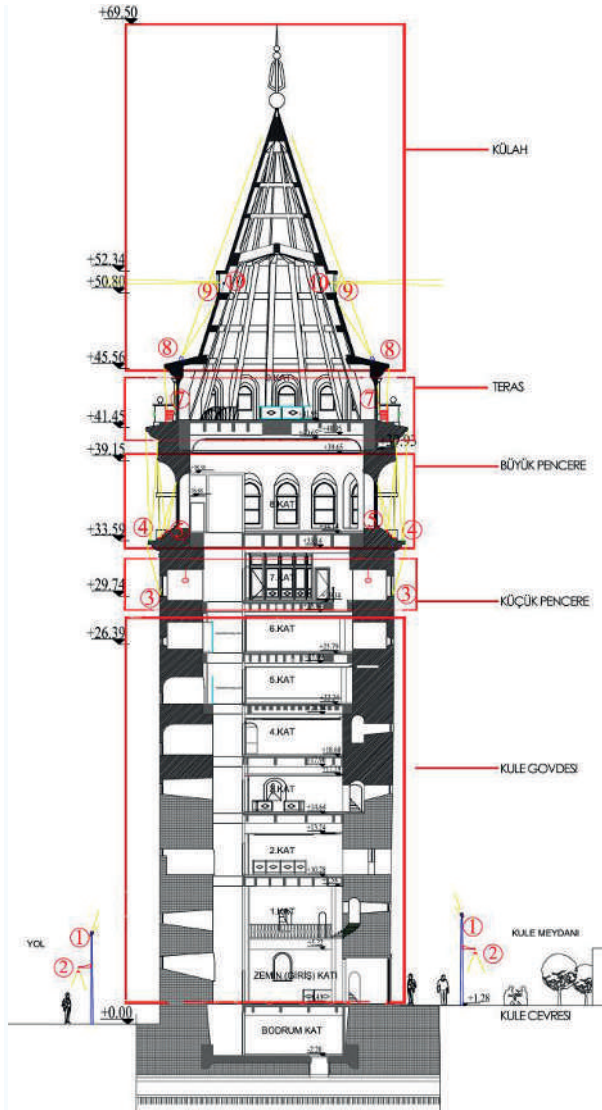
2. Etüdlere

Galata Kulesi’nin aydınlatılmasıyla ilgili etütlere yapılırken; eserin kent içinde farklı bakış doğrultularına göre nasıl aydınlatılacağı kadar; esere zarar vermeden montaj prensipleri, enerjinin nereden taşınabileceği, uygulanabilirlik, estetik, ekonomiklik ve yeni teknolojilere yatırım kriterleri de göz önünde bulundurulmuştur. Tüm bu kriterlerin yanı sıra İstanbul için ileride yapılacak olası bir Aydınlatma Master Plan için de kent geneline örnek olması hedeflenmiştir.

Bu eserdeki tasarımın ana hedefi; İstanbul içinde bulunduğu noktanın kentsel kimliğine uygun, kent ölçeğinden, insan ölçeğine kadar düşünülmüş, mimari dokusu, formu ve özelliklerini vurgulayan, geçmişten izler taşıyan, semgesel ve hatırlarda kalıcı, kendine ve kente yakışır keyifli görüntüler sunabilmesidir.

Galata Kulesi’nin dış cephe mimari aydınlatma tasarımında aşağıdaki temel kriterler referans alınmıştır.

- Estetik: Gündüzleri mevcut görüntüsünü etkilemeyen, geceleri ise görsel zenginlik katan estetik bir görüntü oluşturabilmek.
- Teknik uygunluk:
 - Günümüzdeki en uygun teknoloji
 - Uygulama kolaylığı
 - İşletme ve bakım, onarım kolaylığı
- Ekonomi: uygulama ve işletme aşamasında kabul edilebilir makul maliyetler
- Esere saygı: montaj ve işletme esnasında esere zarar verilmemesi.
- Kent Kimliğine Katkısı: Kültür ve sanatın merkezi olan Beyoğlu bölgesinin, İstanbul silüetinde kulenin referans noktası olarak kendini ifade etmesine olanak sağlayabilecek kontrollü bir sistem içinde olması.



Kulenin alt gövdesi, kent ölçeğinde olduğu kadar, insan ölçeğindeki yaklaşımda vurgulanması amacı ile göz seviyesinden uzakta konumlandırılan projektörler ile

aydınlanmaktadır. Böylece meydan çevresinde oturan ya da dolaşan insanlar için tepe noktasını göremedikleri ama taş gövde olarak algıladıkları silindirik yapıyı estetik olarak algılanma imkanı verilmiştir. Kule çevresinde konumlanan dekoratif aplikler, yakın çevre dokusu ile görsellikte ilişki kurarken kule dibindeki meydana oturma, dinlenme ve dolaşma alanlarını aydınlatarak kulenin çevresini merkezlemektedir.

Kulenin dikkat noktalarından bir tanesi tuğla ile örülmüş büyük ve derin kemerli pencereleri olan restoran ve önünde çepeçevre balkonlu olan üstündeki cafe katıdır. Her iki katta da içerideki atmosferi ve görsel konforu bozmadan dışarıya bakışı sağlayan bir aydınlatma yapılmıştır. Kule üzerinde bulunan restoran katı ve cafe katı eski ateş tuğla rengini ortaya çıkartacak, İstanbul'un gecedeki genel silüet renklerine uyumlu, ancak farklı tonu ile diğerlerinden ayrılan kiremit tonu, günbatımı kıvıllığı ve alev rengi sıcaklığında özel bir renk karışımı seçilerek aydınlatılmıştır.

Kulenin balkon demirlerinin tutunduğu babaların ön alınlarında dönerek tekrarlayan küresel ışık kaynakları ile parlı ve dairesellik etkisi attırılmıştır.

Kulenin üzerinde bulunan külah küçük ebatlı ancak yüksek güçlü ledli projektörler ile aydınlatılarak tepede toplanma etkisi vurgulanmıştır. Külah aydınlatmasında kullanılan projektörler aynı zamanda alemleri de aydınlatarak tepede parlamasını sağlamaktadır.

Yüzyıllardır hikayelerde anlatılan ve günümüze kadar gelen Galata Kulesi ile Kız Kulesinin birbirine kavuşamadıkları dillere destan olmuş aşkı aydınlatma tasarımında da bir simge olarak yer aldı.

Gece masalsı yeni bir görüntü ile yükselen kulenin külahında yer alan ve tüm İstanbul'u gözetleyen küçük pencerelerden göz kırparcasına, zaman zaman çakarak yanıp sönen ışıklar ise, Galata Kulesi'nin Kız Kulesi'ne bitmeyecek olan aşkının bir başka ifadesi.

Proje Katılımcıları:

İşveren: İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve İst. Enerji A.Ş.
Aydınlatma Tasarımı: Nergiz Arifoğlu Lightstyle Mimari Aydınlatma Tasarımı ve Danış.
Danışman: Prof. Dr. Rengin Ünver

Kullanılan ürünler:

Kule üst kütlesi ve külah: Philips-Color Graze Powercore, Philips-Ew Graze Powercore, Philips-Archipoint IColor, Philips-EW Blast Powercore, Philips-EW Burst Powercore.
Philips Sistem Kurulumu: LightApp Aydınlatma
Kule alt kütlesi: Siteco Sicompact Mini, Bega-Aplik

3. Sonuç

Kültür ve sanatın merkezi olan Beyoğlu bölgesinin merkezinde yer alan yapının formu ve mimari özelliklerini vurgulayan hatırlarda kalıcı bir tasarım hedeflenerek, Galata Kulesi'nin İstanbul silüetinde geceleri bir referans noktası olarak kendini ifade etmesine olanak sağlayabilecek ve ileride olası gelişebilecek bir Aydınlatma Master Plan için noktasal bir örnek olması amaçlanmıştır.



Gaz İzoleli Hücrelerin 36kV İndirici Merkezlerde Kullanımı

Use of Gas Insulated Cells in 36kV Drop Off Centers

Mehmet İzzet GÜRAY

Elektrik-Elektronik Mühendisi
İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi
mehmet.guray@ekosinerji.com

Özet

Bu bildiri, 36kV gerilim seviyesinde 25kA-3sn kısa devre akımına dayanabilen, 2500A akım taşıma kapasiteli anahtarlama ve kontrol ünitelerinin, Gaz yalıtımlı olarak kullanımının nedenleri ve avantajlarının irdelenmesi amacıyla oluşturulmuştur.

Abstract

This notice describes the switching and control units of 2500A current carrying capacity, which can withstand a short circuit current of 25kA-3s at 36kV voltage level, it is designed to investigate the causes and advantages of using gas insulated.

1. Genel

Gaz izoleli hücreler, tüm ana anahtarlama düzenlerinin (Kesici, Ayırıcılar) Sf6 Gazı dolu bir mahfaza içinde çalıştığı bir ünite olarak kabul edilebilir. Bahsi geçen hücreye yapılacak kablo bağlantıları, Geçme tip kablo başlığı ile Hücreler arası bağlantılar ise, özel izoleli baralar ile sağlanmaktadır.

2. Avantajlar

2.1. Boyutsal Avantajlar

Gaz yalıtımlı hücreler, taban alanı olarak Hava Yalıtımlı hücrelerin kapladığı alanın yaklaşık %30'unu kaplamaktadır. Bu da yaklaşık %70 gibi daha az alana ihtiyaç duyulması, sonucunda azalan inşaat ve arsa maliyeti anlamına gelmektedir.

Hesaplamalar, Bir metal Clad hücrenin 1200 mm genişliğinde ve 2700 mm derinliğinde olabileceği buna karşın gaz yalıtımlı hücrenin 800 mm genişliğinde ve 1173 mm derinliğinde olduğu varsayımına göre yapılmıştır.

Yine aynı şekilde yükseklik olarak yapılan mukayesede, yaklaşık 1 (bir) metre daha az yükseklik gereksimi duyarak, inşaat maliyetlerinde önemli bir avantaj sağlamaktadır.

2.2. Çevre Şartları

Gaz yalıtımlı hücrelerin, tamamen kapalı ve gaz dolu bir mahfazanın içerisinde olduğu, hücrelerin kablo giriş-çıkışlarının tamamen kapalı-geçme başlık ile teçhiz edildiği düşünüldüğünde, dış atmosferik etkilerden etkilenmez. Bunlar; Ortam Tozu ve partikülleri, Rutubet, Patlayıcı, kimyasal ortamlar, Bakır korozyonu olarak gösterilebilir.

Dış atmosferik ortamdan etkilenmemesi; hava yalıtımlı hücrelerde yapılan periyodik bakımların bu tip hücrelerde yapılmamasını ve çıkabilecek arızaların min. Seviyeye çekilmesini sağlar. Dolayısıyla enerji kesintisi, bakım ve servis maliyetleri çok daha az olacaktır.

2.3. Montaj-Demontaj Kolaylığı

Ağırlık ve hacimsel avantaj ile hücrelerin birleştirilmesindeki kolaylık, Gaz yalıtımlı hücrelerin Montaj-Demontajını daha kolay hale getirmekte ve Montaj-Demontaj maliyetlerini ve arıza halinde enerji kesintisi süresini azaltmaktadır.

2.4. Sismik Dayanım

Hücrelerin birbirleri ile bağlantısının izole bara sistemiyle olması nedeniyle, deprem-yersarsıntısı, zemin değişikliklerinde mükemmel bir esneklik ve mukavemete sahiptir.

2.5. Test Koşulları

Gaz Yalıtımlı hücrelerde, kablo testleri ile akım-gerilim trafoları testleri, hücre önünden ulaşılarak çok daha kolay bir şekilde yapılabilmektedir.

2.6. Operasyon Kolaylığı

Metal Clad Hücrelerde kesicinin çekilebilir olması, zaman içerisinde kontaklarda karşılama problemi ya da yürütme düzeninde mekaniksel problemi yaşanabilir. Gaz Yalıtımlı hücrelerde bu tip hareketli bir çalışma olmadığından bu tip problemler ile karşılaşılmaz.

Kent, Elektrik ve Aydınlatma City, Electricity and Lighting

Rengin Ünver

Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi
Yıldız Teknik Üniversitesi
runver@yildiz.edu.tr

Özet

Kentler, insanların oluşturdukları, çok büyük ölçekli yerleşim birimidir. Kent kullanıcılarının yaşam ve etkinliklerini çağdaş bir biçimde sürdürebilmeleri için gerekli koşulların tümü eksiksiz bir biçimde sağlanmalıdır. Söz konusu koşullardan biri de özellikle geceleri çevrenin algılanabilmesi, eylemlerin gerçekleştirilebilmesi ve yaşamının sürdürülebilmesi için yapay ışık kullanılarak yapay aydınlatmanın yapılmasıdır. Kente yönelik yapay aydınlatmalar kurgulanırken, kullanıcı güvenliği ve konunun estetik görünümünün yanı sıra elektrik enerjisinin ışığa ve aydınlığa dönüşümü konuları da ele alınmalıdır.

Bu bildiri EEMKON 2017 - Kent ve Elektrik Sempozyumu'nda yer alan "Kent ve Aydınlatma" başlıklı oturumun ana teması bağlamında kent, ışık, elektrik, aydınlatma ve enerji verimliliği konularına yönelik genel bilgiler sunulmuştur.

Abstract

This paper present general information on the city, light, electricity, lighting and energy efficiency in the context of City and Electric Symposium-Electrical and Electronics Engineering Congress (EEMKON 2017) which is organized by the Istanbul Branch of the Chamber of Electrical Engineers (EMO) and supported by ATMK.

1. Giriş

Binaları, ulaşım ağları, alt yapıları, çeşitli fiziksel mekanları, doğal çevresi, sosyal-kültürel olanakları ve kullanıcıları ile bütün olan Kentler, günde 24 saat yaşayan bir organizma olarak tanımlanabilir. Kentlerde temel amaç sağlıklı, huzurlu, güvenli bir ortam oluşturarak yaşamı kolaylaştırmak ve kullanıcıların belli bir kalitede yaşamlarını sürdürmelerini olanaklı kılmaktır [1]. Bu bağlamda kentler,

- Kent kullanıcılarının yaşamsal açıdan zorunlu ve yaşamı kolaylaştırıcı gereksinimlerinin (su, güvenlik, ulaşım, alt yapı, kent mobilyaları vb.) en iyi biçimde karşılanması,
- Sosyal ve kültürel olanakların iyileştirilmesi, artırılması,
- Kent görünümü ile ilgili estetik özelliklerin (yapı ve açık mekanların gece aydınlatılması, yapı yüzeylerinin renksel

özellikleri, kent mobilyalarının dış görünümü vb.) korunması ve/ ya da iyileştirilmesi

gibi yaşam kalitesinin yükseltilmesi sağlayıcı çeşitli olanaklar sağlamalıdır.

Kentlerde kullanıcıların yaşamlarını güvenli ve belli bir kalitede sürdürmeleri, fiziksel mekanları kullanmaları, sosyal - kültürel olanaklardan gereği gibi yararlanmaları gece de sağlanabilmelidir. Belirtilen durum, kentteki yaşamın gece boyunca devam etmesi büyük oranda "**yapay ışık**" a dayanır. Çünkü ışık olmadan "çevrenin algılanması" dolayısıyla yerleşimin kentin olanaklardan yararlanılması olanaksızdır.

Bu bildiri EEMKON 2017 - Kent ve Elektrik Sempozyumu'nda yer alan "Kent ve Aydınlatma" başlıklı oturumun ana teması bağlamında kent aydınlatma, ışık, aydınlatma ve enerji verimliliği konularına yönelik genel bilgiler sunulmuştur.

2. Kentler ve Aydınlatma

Işığın kullanıldığı aydınlatılmış ortamlar yeni oluşumları, yeni oluşumlar yeni çevreyi, yeni çevre ise yeni değerleri ortaya çıkarır. Bu nedenle, **kentlerin gece aydınlatılması kent-insan-çevre ilişkisinde** en önemli konulardan birini oluşturur [2], [3]. Doğru ve uygun aydınlıklar oluşturan aydınlatma düzenleri ile çevrenin algılanması kolaylaşır, iyi görme koşullarının sağlanabildiği kentlerin gece görünümüleri de gündüze oranla çok daha ilgi çekici, gizemli ve görkemli olabilir [3].

Çevre algılamaya ile ilgili olarak kentlerdeki açık mekanların gece aydınlatılması,

- **Kent-insan ilişkisi** açısından, iyi görme koşulları yaratılarak, yaşamın kolaylaştırılması, güvenliğin sağlanması, kent olanaklarının ve kentin kullanılması,
- **Kentin genel görünümü** açısından "kente özgü" bir kimlik oluşturulması ve/ya da kentin var olan kimliğinin vurgulanması, kentin güzelleştirilmesi yönlerinden zorunludur [4].

Kentlerin gece yaşaması için yapılan dış aydınlatma yani kent öğelerine yönelik aydınlatma konuları,

- İşlevsel aydınlatmalar; yaya ve araç ulaşım öğeleri (yol, meydan, köprü vb.), açık spor alanı vb.

- Mimari aydınlatmalar; tarihi, çağdaş, mimari, yaşamsal, sanatsal, kültürel, doğal değer taşıyan yapı, öge, mekan, vb.

olmak üzere iki grupta ele alınır [4].

Birinci grupta yer alan konuların aydınlatılmasında temel ilkeler kullanıcıların eylemlerini en kısa sürede, en güvenli biçimde yapabilmelerini sağlayacak iyi görme koşullarını oluşturulmasıdır. **Bu konularda çevre algılama bakımından, genelde eylem türü aynı olup, belli bir bakış noktası ve doğrultusu vardır.** Örneğin, yolda ilerleyen bir araç sürücüsünün belli bir bakış doğrultusu vardır. Sürücü görme alanındaki tüm ayrıntıları rahatça görebilmeli, çevresinde yer alan ya da aniden önüne çıkan engellerden kolayca kaçabilmelidir [5]. Birinci grup konular, kentin yaşayabilmesi için kesinlikle aydınlatılması gereken ve işlevsel olarak ta adlandıran dış aydınlatma konularıdır.

İkinci grupta yer alan konuların aydınlatılmasındaki temel ilkeler ise kullanıcılarda iyi görme koşullarının sağlanmasının, rahat ve güvenli bir ortam oluşturulmasının yanı sıra etkileyici, çekici, özendirici bir görsel çevre yaratılması olarak sıralanabilir. **Bu konularda çevre algılama bakımından birden fazla eylem, birden fazla bakış noktası ve doğrultusu olabilir.** Örneğin, bir dikilitaşın çevresinde dolaşanların belli, kesin bir bakış noktası, doğrultusu yoktur ve bu nedenle de birden fazla sayıda görme alanı vardır [5]. **Söz konusu olgu, aydınlatma konusuna her farklı bakış doğrultusu için uygun izlenimler yaratılması gereğini ortaya koyar.** Burada hedef, aydınlatma konusunu görünür kılacak gerekli teknik özelliklerin yanı sıra; konunun sanatsal, tarihsel, mimari ve estetik niteliklerine, insan doğasına, isteklerine, psikolojisine, sosyal ve kültürel yapısına cevap verebilecek biçimde ışığı kullanarak aydınlatmaktır. Bu grupta yer alan konular “**mimari aydınlatma**” olarak ta adlandırılan dış aydınlatma konularıdır.

Kentlerin gereği gibi aydınlatılması da, ancak kentle ilgili olan her konuda olduğu gibi belli bir düzeni içeren aydınlatma planlamalarının yapılması ile olanaklıdır. Bir başka deyişle **her yerleşimin, her kentlin kendi özellikleri doğrultusunda kurgulanmış bütüncül bir aydınlatma master planına gereksinimi vardır.** Kent Aydınlatma Master Planı olmadığı koşullarda, bireysel ölçekte ve rastgele yapılan aydınlatmalar kent kullanıcıları, kentin değerlerinin görünür kılınması, enerji kullanımı vb. açılardan ışık ve renk kirliliğine varan çeşitli olumsuzluklara yol açacaktır.

Genelde, **ışığın yol açtığı herhangi bir olumsuz etki "ışık kirliliği"** olarak tanımlanır [6]. Kentlerde, eylem ve etkinliklerin gece de sürdürülmesi için yapılan dış aydınlatmaların yol açtığı ışık kirliliği kapsamına giren olumsuz etkiler,

- Görsel eylem ve çeşitli etkinliklerin güçleşmesi ya da engellenmesi,
- Kent görünümünün bozulması,
- Enerji kaybı,
- Astronomik gözlemlerin güçleşmesi ya da engellenmesi

vb. olarak sıralanabilir. Işık kirliliğinin önlenmesinin, yani yapay ışığın yol açtığı olumsuzlukların giderilmesi, ancak tekniğine uygun ve doğru bir biçimde kurulmuş aydınlatma

düzenleri ile olanaklıdır. Bir başka anlatımla, bir aydınlatma düzeni tasarımı,

- aydınlığın niceliği (aydınlık düzeyi),
- aydınlığın niteliği
 - aydınlatan ışığın renksel özellikleri
 - aydınlatan ışığın doğrultusal yapısı
 - aydınlıkta oluşan gölgelerin özelliği
 - aydınlık düzeyi dağılımları

gibi aydınlatma tekniği ölçütlerine ilişkin ulusal ve uluslararası standartlarla belirlenmiş değerlere uyularak, ışık kirliliği önenebilir. Örneğin, herhangi bir kent aydınlatma konusu için gerekli olandan daha az aydınlık, yapılan eylemin yapılamaması sonucunu doğururken, gereğinden fazla aydınlık da çok ışıklı yüzeyler ve görünümüler yaratarak görsel açıdan konforsuzluğa, ışık kirliliğine yol açabilir ve enerji kaybına neden olur. Nitekim 2015 yılı Birleşmiş Milletler örgütü tarafından “Uluslararası Işık Yılı” olarak ilan edilmiştir [7], [8], [9]. Işık yılının başlıca amacı toplumda “ışık ve aydınlatma konularında bilgilendirme ve farkındalığın artırılması” olarak özetlenebilir. Uluslararası Işık Yılı kapsamında Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) ve Aydınlatma Türk Milli Komitesi (ATMK) de birçok etkinlik ve çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Kentlerdeki yüzey ve nesnelere geceleri aydınlatan yapay ışığın renksel özellikleri doğru belirlenmediğinde, aydınlanan yüzeylerde renk algılama yanlılıklarına, yüzeylerin günışığı altındaki gerçek renklerinde algılanmamasına bağlı türlü olumsuzluklar oluşabilmektedir. Ayrıca, kentin biri birinden farklı renklerde ışıklarla aydınlatılması, çok değişik renkli yüzeylerin yan yana gelmesine ve bu bağlamda gece görünümünde renk kirliliği oluşuma yol açabilmektedir.

3. Işık, Elektrik, Aydınlatma ve Enerji Verimliliği

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE, Commission Internationale de L'éclairage) tarafından **aydınlatma "nesnelere, bunların çevrelerine ya da bir bölgeye, bir kent bölgesine görülebilmeleri için ışık uygulamak"** olarak tanımlanmaktadır [10], [11]. Bu tanımdan hareket edildiğinde, **aydınlatmanın temel malzemesi Işık'tır ve aydınlatma ışığın uygulanmasıdır.** Herhangi bir konunun aydınlatılmasında kullanılacak ışık biçimlendirilerek, amaca uygun nicelik ve nitelikte bir aydınlık oluşturulmalıdır. Özellikle **kentsel yaşamın gece de sürdürülebilmesi için yapay ışığın kullanıldığı aydınlatmalar, aydınlatma tekniğinin tüm gereklerini yerine getirebilmeli, kullanıcıların değişik ihtiyaçlarını karşılayabilmelidir.**

Bilindiği gibi “ışık” bir enerji türüdür ve günümüzde yapay ışığın elde edilmesinde “elektrik enerjisi” nden yararlanılmaktadır. Bu nedenle yapay aydınlatma düzenlerinde elektrik ve ışık olan her iki enerji türünün de boşa harcanmadan, verimli bir biçimde kullanılması gereklidir. Türkiye’de 2007 yılında yürürlüğe giren “**Enerji Verimliliği Kanunu**” çerçevesinde yürütülen bina, sanayi, ulaşım sektörlerindeki verimlilik artırıcı çalışmalar da giderek hız kazanmıştır.

Enerji verimliliği, 2011 yılında yayınlanan “Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik” te “Binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan birim hizmet veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılması” biçiminde tanımlanmıştır [12]. **Aydınlatma açısından, enerji verimliliğini ise “gerekli aydınlatma koşullarından ödün vermeden aydınlatmada tüketilen enerjinin azaltılması”** biçiminde ele alınmalıdır [1], [13].

Uluslararası Enerji Ajansının 2016 yılı verilerine göre aydınlatma için harcanan elektrik enerjisi, küresel elektrik tüketiminin yaklaşık % 20'sini temsil etmektedir [14]. Konutlarda harcanan enerjinin yaklaşık %12'si, konut dışı kullanımlarda ise %25-%40'ını “Aydınlatma” için tüketilen enerji miktarı oluşturmaktadır. Bu nedenle kentlerin gece yaşamlarını sürdürebilmeleri için gerekli olan yapay aydınlatma yükünün azaltılarak enerjisi etkin bir biçimde kullanılan aydınlatma sistemlerinin tasarlanması güncel bir konu haline gelmiştir.

Elektrik ve Işık enerjileri kullanılarak kurulan yapay aydınlatma düzenlerinde, değişik aşamalarda çeşitli boşa harcamalar/kayıplar olabilmekte, bir başka anlatımla enerjilerden verimli bir biçimde yararlanılamamaktadır. Enerji tüketimini artırıcı söz konusu kayıplar,

- Işık enerjisinin elde edilmesindeki kayıplar (elektrik enerjinin boşa harcanması),
- Işık enerjisinin yararlı ışığa dönüşümündeki kayıplar (ışık niceliğinin boşa harcanması),
- Işık enerjisinin yararlı aydınlığa dönüşümündeki kayıplar (aydınlığın niteliğinin boşa harcanması),
- Aydınlatma düzeninin bakımına bağlı kayıplar

olarak sıralanabilir.

Işık ve Elektrik enerjisi kayıplarının gerçekleştiği durumlar daha basit bir anlatımla,

- Işık kaynağındaki kayıplar (lambalar; lamba verimi; lm/w),
- Işık niceliğindeki kayıplar (aygıtlar; aygıt/armatür geriverimi; %),
- Işığın oluşturduğu aydınlığın niteliğindeki kayıplar (ışık rengi, doğrultusal yapı, gölge, aydınlık düzeyi dağılımları),
- Bakıma bağlı kayıplar (temizlik, lamba değişimi vb)

biçiminde açıklanabilir.

3.1. Lambalar ve Verimlilik

Günlük yaşamda enerji kaybı ya da verimlilik konusu genelde ilk aşama olan ışık kaynağı/lamba verimi (lm/w) olarak ele alınmaktadır. Elektrik enerjisinin ışık enerjisine dönüştüğü yer olan lambalardan verimi yüksek olanın seçilmesi gerektiği açıktır.

Tarihsel süreç içinde akkorlarla (enkandesant) başlayan lamba türlerinin gelişimi, sırasıyla flüoresan, yüksek basınçlı civa buharı lambası, yüksek basınçlı soydum buharı lambası, metal halid, kompakt flüoresanlarla devam etmiş ve günümüzde LED chip' lerle yapılmış lambalara kadar gelmiştir. Doğal olarak her lamba bir öncekinden daha iyi özellikte ve daha verimli olmuştur. Örneğin 19 yüzyılda kullanıma sunulan

akkor lambaların verimleri ortalama olarak 10 lm/w dolaylarında iken 2017 de üretilen bir LED chip'in verimi 350 lm/w dolaylarında olabilmektedir. Ancak, LED chip'in aydınlatma amacıyla kullanılabilir bir sisteme dönüşmesi için sürücü, soğutucu gibi ek parçaların yanı sıra uygulanan gerilim vb. etkenlerde LED chip kullanılan kaynağın verimini azalmasına neden olmaktadır. Burada verimi yüksek lamba seçmek kadar, lambadan yayımlanan ışık enerjisinin/ışık akısının (lümen; lm) da yüksek olması gerektiği unutulmamalıdır.

3.2. Aydınlatma Aygıtları ve Verimlilik

Aydınlatma aygıtı (armatürü) lambadan yayımlanan ışık enerjisini biçimlendirerek çevresine yayımlar. Bu biçimlendirme sırasında, lambanın ışık enerjisinin olabildiğince büyük bölümü aygıt dışına çıkabilmeli, yani aygıtın geriverimi (%) yüksek olmalıdır. Ayrıca, kullanılan aygıtın yayımladığı ışığı “aydınlanmasız istenilen alana yönlendirebilecek uygun ışık yeğinlik dağılımına” sahip olanlardan seçilmelidir. Bu bağlamda aygıtlar ışık kirliliğine yol açmamalıdır.

Verimi yüksek bir lambanın, geriverimi düşük ve ışık yeğinlik dağılımı uygun olmayan bir aydınlatma aygıtında (armatüründe) kullanılması durumunda ışık enerjisinden gereği gibi yararlanılamayacak ve ışık enerjisi verimli kullanılmamış olacaktır. Bu durum hem konvansiyonel lambalar hem de güncel ışık kaynağı olarak kullanımda olan LED çipler için oluşturulan aygıtlar için geçerlidir.

3.3. Aydınlığın Niteliği ve Verimlilik

Aygıttan yayımlanan ışık enerjisinin rengi, doğrultusal yapısı, oluşturduğu gölgeler ve aydınlık düzeyinin dağılımları konunun özelliklerine uygun olarak seçilmediğinde oluşturulan aydınlatma düzeni gereksinimleri karşılayamayacağından ışığın oluşturduğu aydınlık boşa harcanmış, verimli kullanılmamış olacaktır. Örneğin, renkli ışıklarla aydınlatılan bir yapı yüzeyi günışığı altındaki gerçek renkleri farklı renklerde izlenimler yaratabilecektir. Işığın doğrultusu uygun seçilmediğinde yine bir yapı yüzünün girinti ve çıkıntıları gereği gibi algılanmayacaktır. Böylece yapılan aydınlatmada, aydınlığın niteliği bakımından da verimlilik sağlanamayacaktır.

3.4. Bakım ve Verimlilik

Aydınlatma düzeninde yer alan lamba ve aygıtların kullanım sırasında belli aralıklarla temizlik ve bakımın yapılması elektrik, ışık enerjilerinin ve aydınlatmanın verimli kullanılmasını sağlayacaktır. Bu bağlamda, aydınlatma aygıtları ve aydınlanan yüzeyler temizlenmeli, lambalar nominal ömürleri bittiğinde değiştirilmelidir.

3.5. Aydınlatmanın Evreleri ve Verimlilik

Bir ortamdaki aydınlatmanın başarılı olarak nitelendirilebilmesi enerji kullanımının verimli olabilmesi, aydınlatma sürecinde birbirlerinin tamamlayıcısı olan tasarım, uygulama ve kullanım evrelerindeki gereksinimlerin eksiksiz olarak yerine getirilmesine bağlıdır. Enerji ve verimlilik, aydınlatmanın özellikle tasarım ve kullanım evrelerinde özenle üzerinde durulması gereken konulardır [15].

Aydınlatmanın tasarım evresi, konuya ilişkin verilerin ve ilgili standart/yönetmeliklerdeki sağlanması gereken değerlerin belirlenmesi, veri ve değerler bağlamından oluşan aydınlatma düzeninin temel ilkeleri için alternatif çözümler/tasarımlar üretilmesi ve tasarım seçeneklerinin karşılaştırılarak değerlendirilmesi/sıralanması ile uygulanacak seçeneğin belirlenmesi işlemlerini kapsar. Bu aşamada yapılacak seçimlerde yol gösterici temel konular hem ilk yatırım maliyeti hem de kullanım giderlerinin belirleyicileri olan ışık enerjisi, elektrik enerjisi ve aydınlatmadaki kayıplar olmalıdır.

Aydınlatmanın kullanım evresinde, aydınlatma düzeninin tasarımına uygun bir biçimde uzun bir süre hizmet edebilmesi için kullanım ve bakım kılavuzlarında belirtilen özelliklere bağlamında tüm gerekleri yerine getirmelidir. Unutulmamalıdır ki, herhangi bir aydınlatma düzeninin kullanımı, doğrudan doğruya kullanıcının yükümlüğünde olup bu evrede sorumluluk kullanıcındır. Işık ve elektrik enerjisi kayıpları önleyebilmek, kısaca enerjiyi verimli kullanılabilmesi için ışık kaynakları nominal ömürleri dolunca değiştirilmeli, aydınlatma aygıtlarının ve aydınlanan yüzeylerin temizliğinin belli zaman aralıkları ile yapılmalıdır.

4. Sonuç

Kişilerin içinde buldukları ortamda, güvenli, huzurlu, etkin bir biçimde yaşamlarını sürdürebilmeleri ve ortamı sevmeleri kent-insan-çevre ilişkisi bakımından sağlanması gereken bir zorunluluktur. Aydınlatılmış ortamlar, kişilerin buldukları ortamı - kenti sevmelerinde önemli rol oynar. Bu bağlamda, kentlerin yaşam etkinliği açısından göz ardı edilemez hayati önem taşıyan ışık-aydınlık gerekli ve yeterli bir biçimde sağlanmalıdır.

Kentlerin aydınlatılmasında, aydınlığı elde etmek için ışığın doğduğu yer olan ışık kaynaklarının (lambaların) ve ışığı biçimlendiren aygıtlarının özellikleri aydınlatma tekniğine ve gereksinimlere uygun seçilmelidir. Aydınlatma düzeni, aydınlatılacak kentteki her konuya özgü kurgulanmalı, aydınlatma aygıtlarının konumları ve dış görünüşleri içinde yer aldığı çevre ile bütünleşmelidir. Sözü edilen bu durumlar, ancak her kent/kent bölgesi için aydınlatma tekniği gereklerini ve enerji verimliliğini dikkate alan aydınlatma planları ile sağlanabilir.

Sonuç olarak, gerekli planlamalar yapılmadan, üzerinde fazla düşünülmeden konuya yalnızca kişisel beğeniler açısından yaklaşan aydınlatmalarla bireysel ölçekten dünya ölçeğine kadar değişik kayıpların yanı sıra kentlerde ışık ve renk kirliliğine varan çok çeşitli olumsuzlukların ortaya çıkabileceğini açıklar.

5. Kaynaklar

- [1] Ünver, R., "Kentler, Işık ve Enerji Verimliliği", 10. *Ulusal Aydınlatma Kongresi-ATMK*, ISBN: 978-975-561-459-5, 2015, 33-36.
- [2] Ünver, R., "Kent, İnsan ve Çevrenin Algılanması", *Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu*, ISBN 975-8215-66-3, 1999, Cilt 1, 14-23.
- [3] Ünver, R., "Kent ve Aydınlatma", *Elektrik*, Sayı 128, 131-140, 1999.

- [4] Ünver, R., *Sürdürülebilir İstanbul Kentsel Tasarım Rehberi*, Aydınlatma, ISBN 978-605-9607-07-3, İBB, İstanbul, 185-227,.
- [5] Ünver, R., "Dış Aydınlatma Konularının Karşılaştırılması", *Şehir Aydınlatması Kolokiyumu*, TMMOB Kocaeli, 1992, 7-17.
- [6] Ünver, R., "Işık Kirliliği", *Elektrokent – Perpa*, Sayı. 80, 138-140, 2001.
- [7] <http://www.light2015.org>
- [8] <http://www.atmk.itu.edu.tr>
- [9] <http://cie.co.at>
- [10] CIE, "International Lighting Vocabulary", <http://eilv.cie.co.at>.
- [11] Sirel, Ş., "Aydınlatma Sözlüğü", <http://www.yfu.com/aydinlatmasozlugu.aspx>.
- [12] EİE, "Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik"; http://www.eie.gov.tr/verimlilik/v_mevzuat.aspx.
- [13] Ünver, R., "Aydınlatmada Enerji Kullanımı", *Elektrokent – Perpa*, Sayı 74, 110-115, 2000.
- [14] <http://www.iea.org/topics/electricity>
- [15] Ünver, R., Okutan M., "Aydınlatmanın Tasarım, Uygulama, Kullanım Evreleri ve İç Aydınlatma", *Lightworld*, Sayı 29, 76-82, 2014.

Kentsel Mimari Aydınlatmada Enerji Kullanımını Etkileyen Etmenler

The Factors Effect Energy Use in Urban Architectural Lighting

Müjgan Şerefhanoglu Sözen¹

¹Mimarlık Fakültesi, Yapı Fiziği Bilim Dalı
Yıldız Teknik Üniversitesi
serefhanmujgan@gmail.com

Tuba Bostancı Baskan²

²Philips Aydınlatma
tuba.baskan@philips.com

Özet

Kent aydınlatma içinde yer alan “Mimari Aydınlatma” konuları, kentte yaşayanlar ve turistler için kent kullanımı, kent kimliği, görsel açıdan çekicilik vb. yönlerden önem taşımaktadır. Tüm aydınlatma konularında olduğu gibi, kent aydınlatmada da etkin enerji kullanımının üzerinde önemle durulması gerekir. Kentlerde genellikle, işlevsel aydınlatmalar dışında olan tarihi ve/ya da çağdaş üç boyutlu yapıtlar ile peysaj mimarlığı kapsamı içinde yer alan park, bahçe, yeşil alanlar, su öğeleri, yaya mekanları kentsel mimari aydınlatma kapsamındadır. Bu çalışmada, mimari aydınlatmalar içinde en etkili öğeler olan çeşitli nitelikteki yapıtlara yer verilecektir.

Abstract

“Architectural Lighting” subjects are important in terms of city use of citizens and tourists, city identity and attraction etc. Efficient energy use is also important in urban lighting same as in all lighting subjects. Urban architectural lighting consists of historical and/or contemporary buildings, parks, green areas, water elements and pedestrian areas. In this study, lighting of architectural buildings which have various characteristics are dealt.

1. Giriş

Günümüzde “Kent Aydınlatma”nın, “İşlevsel Aydınlatma”lar yanında ayrı fakat ayrılmaz bir bölümünü oluşturan “Mimari Aydınlatma” konuları, kent yaşantısı, kent kullanımı, kent kimliği, kentlerin, hem kentte yaşayanlar, hem de kenti yurt içinden ve yurt dışından ziyaret edenler için görsel açıdan çekici kılınması gibi çeşitli yönlerden önem taşımaktadır. Ancak, geçmişten günümüze gelinen süreçte, çeşitli nitelikte ele alınan bu aydınlatma konularına bugün daha kapsamlı bir bakış açısından yaklaşarak, sürdürülebilirlik bağlamında, etkin enerji kullanımını gözetilerek yapılmasının üzerinde önemle durulması gerekir.

Bugün tüm aydınlatma konularında olduğu gibi, kent aydınlatma konularında da genel olarak elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Bu enerjinin elde edilmesinde ise birincil kaynak olarak fosil yakıtlar ön planda gelmekte, bunları nükleer enerji, yeni ve yenilenebilir öteki enerji kaynakları izlemektedir. Türkiye, enerji konusunda %70’in üzerinde dışa bağımlı bir ülke olup, elektrik enerjisinin de ağırlıklı bölümünü doğalgaz kullanarak elde etmektedir. Dolayısıyla, yapı içi, yapı dışı tüm aydınlatma konularında enerjinin etkin kullanımı üzerinde durulmalıdır.

• Kentsel Mimari Aydınlatma Konuları

Kentlerde genellikle, işlevsel aydınlatmalar dışında olan tarihi ve/ya da çağdaş üç boyutlu yapıtlar (mimari yapıtlar, sanat yapıtları, mühendislik yapıtları), peysaj mimarlığı kapsamı içindeki park, bahçe, yeşil alanlar, su öğeleri, yaya mekanları kentsel mimari aydınlatma kapsamındadır.

Mimari aydınlatmalar içinde yer alan tarihi ya da çağdaş yapıtlar,

- Konutlar
- Saraylar, köşkler, şatolar
- Dini yapıtlar
- Ticari yapıtlar
- Sanayi yapıtları
- Yönetim yapıtları
- Kültürel yapıtlar
- Eğitim yapıtları
- Turizm yapıtları
- Mimari yapıtlar
- Mühendislik yapıtları
- Sanat yapıtları

vb. gibi sıralanabilir. Bu çalışmada, mimari aydınlatmalar içinde en etkili öğeler olan çeşitli nitelikteki yapıtlara yer verilecektir.

2. Aydınlatılacak Öğelerin Seçimi

Kent boyutunda etkin enerji kullanımı yönünden en önemli etken aydınlatılacak öğelerin saptanmasıdır. Bunun için, kentin ya da kent bölgesinin ayrıntılı analizi gerekir. Analiz yaparken, öncelikli olarak, kentin ırsal kimliğinin ortaya çıkartılması önemlidir. Seçilecek öğeler, tarihi, mimari, sanatsal, kültürel yönlerden özellikleri, buldukları çevre, kent görüntüsüne, siluet etkisine katkıları, imgesel nitelikleri, kent bakış noktalarından görünürlükleri, bakış uzaklıkları gibi pek çok yönden değerlendirilmelidir. Değerlendirme sonunda ortaya çıkan yapıtların kent bütünü içinde, görsel açıdan, dengeli, etkili bir görüntü sergilemesi önemlidir. Aydınlatılan öğelerin sayıca fazla olması enerji kullanımı açısından olumsuz olduğu gibi, kentin gündüz görüntüsüne yakın bir görüntü sergilemesi yönünden de olumsuz olur. Oysa, kentlerin gündüz ve gece görüntüleri arasında en çarpıcı ayrım; “gündüz tüm yapılar görünürken, geceleri iyi bir analiz sonucu seçilen yapıların aydınlatılmasıyla çok daha çekici görüntüler ortaya çıkartılması”dır.

3. Bölge Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Kent aydınlatmada aydınlatılacak öğelerin buldukları bölgelerin tanımlanması gerekir. CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu) tarafından da tanımlanmış bölgeler söz konusudur. Aydınlatılacak öğeler belli bir çevre içinde algılandığı, bir başka deyişle, görüş alanı içine aydınlatılacak öğelerle birlikte çevre – arka plan oluşturan yapılar da girdiği için, yapı yüzeylerinin ışıklılıklarının bu bağlamda değerlendirilmeleri gerekir. Çizelge 1 ve 2’de bu bölgelere ve yüzeylerin önerilen ortalama ışıklılık değerlerine yer verilmiştir. Çevre-fon’un ışıklılığının yüksek olmadığı bir bölgede ışıklılığı yüksek bir yapı yüzü oluşturulması, rahatsız edici olduğu gibi, boş yere enerji harcanmasına da neden olmaktadır. Ayrıca, yüksek ışıklılık değerine sahip bir yapı yüzü, öteki yapıların aydınlatmalarının yetersiz olduğu izlenimini yaratmakta, daha sonra yapılan aydınlatmalarda ise ön plana çıkarmak için daha yüksek düzeyde aydınlatma yapma isteği doğmasına neden olmaktadır.

Çizelge 1: Çevre ve aydınlatma özellikleri

Bölge	Çevre niteliği	Aydınlatmanın Özellikleri
E1	Doğal alanlar	Genellikle karanlık çevre, doğal parklar, korunmuş alanlar
E2	Kent sınırı (Kırsal alan)	Az ışıklı bölgeler
E3	Kent çevresi (Banliyö)	Orta ışıklı bölgeler, sanayi – konut bölgesi
E4	Kent merkezi	Yüksek ışıklı bölgeler, kent merkezi, ticari ve konut bölgesi (gece yaşayan konut bölgesi)

Çizelge 2: Işıklılık düzeyleri

	Işıklılık düzeyi (cd/m ²)			
	E1	E2	E3	E4
Ortalama	-	5	10	25
En fazla	-	10	60	150

4. Yapı Yüzlerinin Görünürlükleri

Yapı yüzlerinin geceye yansıtılmasında çeşitli yöntemler kullanılabilir. Bunların içinde, yapı yüzlerinin uzaktan, (alttan-üstten) yakın mesafelerden, balkon vb. öğeler kullanılarak yapılan yapı yüzü aydınlatmalarının kullanılması yaygındır. Yapıların görünürlüğü, yüzeylerin doku ve yansıtma çarpanları özellikleri ile bu yüzeylere gelen aydınlık düzeylerine bağlıdır. Ayna gibi ya da aynalaşmış yüzeyler, yansıtıkları yüzeyleri gösterdikleri için, bu koşul, donuk (mat) yüzeyler için geçerlidir. Bu yüzeylerin görünürlüğü, bilimsel deyişle, ışıklılığı $L=E.r/\pi$ (nit=cd/m²)’dir. Bu bağlantıdan açıkça görülmektedir ki, yansıtma çarpanı yüksek, yani açık renkli yüzeylerin görünürlükleri az aydınlıklarda bile kolaylıkla sağlanabilmektedir. Yapılan uygulamalarda bu etken gözardı edildiği için, yüzeylerde yüksek ışıklılık değerleri ortaya çıkmakta, dolayısıyla, elektrik enerjisinin ve ışığın büyük bölümü boşa harcanmaktadır. Aydınlatmanın ilk tasarım evresinden başlayarak, bu etkenin göz önünde tutulması gerekir.

Tamamen cam kaplı ve/ya da büyük oranda cam yüzeyi olan yapılarda, iç aydınlatmadan yararlanarak veya geceleri kullanılmak üzere içeride özel bir aydınlatma (perde, jaluzi vb. aydınlatmalar) yapılarak da yapılar geceye yansıtılabilir. Bu gibi durumlarda, görünürlük, $L=E.t$ ’dir. Gereçlerin ışık geçirme çarpanı olan “t”, üzerine gelen aydınlık düzeyine bağlı olarak görünürlüğü sağlar. Bu gibi durumlarda da kullanılan gereçlerin geçirme çarpanının yüksek olması gerekir. Eğer yüzeyler dışa bakan taraftan aydınlatılıyorsa, görünürlük $L=E.r$ ’dir. Yukarıda değinildiği gibi, bu yüzeylerin beyaz ya da açık renkli olması enerji tasarrufu ve görünürlük yönünden üstünlük sağlar. Çizelge 3’te değişik nitelikteki gereçlerden oluşan yapı yüzleri için yansıtma ve geçirme çarpanları için yaklaşık değerleri verilmiştir.

Çizelge 3: Gereçlerin Yansıtma ve Geçirme Çarpanları

Gereç	Yansıtma çarpanı (r) %	Gereç	Geçirme çarpanı (t) %
Alüminyum	60-75	Cam tuğla	60-80
Yeni beyaz badana	75-80	Koyu renkli opal cam	1-9
Çok açık renkli yüzeyler	70-80	Renkli kumaş	15-55
Açık renkli yüzeyler	60-70	Beyaz kumaş	60-70
Orta koyulukta yüzeyler	30-50	3 mm orta koyulukta cam	20
Koyu renkli yüzeyler	10-20	4 + 4 mm saydam çift cam	70-80
4 mm renksiz saydam cam	8	4 mm renksiz saydam cam	80-88
4 mm beyaz buzlu cam	15	4 mm beyaz buzlu cam	35-55
4 mm beyaz opal cam	55	4 mm beyaz opal	20-30

5. Işık Kaynaklarının Verimi

Yapı içi - yapı dışı tüm aydınlatma sistemlerinde olduğu gibi, enerjinin etkin bir biçimde kullanımı yönünden ışık kaynaklarının verimi önem taşımaktadır. Bir ışık kaynağının harcadığı enerjiye karşı verdiği ışık akısı (lümen/vat) olarak bilinen ışık verimi (etkinliği) lamba seçimini önemli kılmaktadır. Bu bakış açısından yola çıkılarak, kentsel mimari aydınlatmalarda bu etken üzerinde durmak gerekir. Çok sayıda lamba kullanılan aydınlatmalarda bunun önemi yadsınamaz.

Kuşkusuz lamba seçiminde tek etken ışık verimi değildir. Lambaların ömrü, kullanım özellikleri, ışık tayfi gibi pek çok etmenin de bu arada değerlendirilmeleri gerekir.

6. Aydınlatma Aygıtlarının Geriverimi

Işık kaynağı seçiminde olduğu gibi, yine tüm aydınlatmalarda, dolayısıyla, kentsel mimari aydınlatmalarda da kullanılan aygıtların (ışıklıkların) geriverimleri, etkin enerji kullanımında, rol oynayan bir etmendir. Geriverimi yüksek olan bir aygıttan dışarı çıkan ışık yüzdesi fazla olduğu için daha az aygıt kullanılarak, bir başka deyişle daha az enerji harcayarak istenilen aydınlık düzeyleri sağlanabilir. Işık geçiren aygıtların geriverimlerinin yüksek olması, yüzey ışıklılığını arttıracığı için yapılan aydınlatmalarda bu yüzeylerin görme alanı içine girmesinin denetlenmesi gerekir.

Burada aydınlatma aygıtlarının geriverimlerinin yüksek olması yanında, kullanılan aygıtların ışık dağılımları, aydınlatılacak yüzeylere göre konumları (açıları, doğrultuları, uzaklıkları vb) önemlidir. Uygun olmayan koşullar nedeniyle, aygıtların geriverimleri yüksek olsa bile, boşa giden, ışık kirliliği yaratan

durumlar ortaya çıkabilir. İyi bir aydınlatmada, ışığın, elektrik enerjisinin ve aydınlığın boşa harcanmamasına özen gösterilmelidir.

7. Aydınlatma Kullanımı (Açma/Kapama) Sistemi

Etkin enerji kullanımı açısından bir başka önemli konu, yapılan aydınlatmaların kullanımlarına yöneliktir. Kentsel mimari aydınlatmaların işlevsel aydınlatmalardan en belirgin ayrımı, sürekli olma zorunluluğunun olmamasıdır. Örneğin, bir yol aydınlatmasında, yıl boyunca kullanım açısından süre ve düzey ayrımları yapılabilir, ancak sürekli olmaları kaçınılmazdır. Oysa, bir mimari yapıtın yıl boyunca aydınlatılma zorunluluğu söz konusu değildir. Yapıların özelliklerine ve kentsel değerlerine göre, belli günlerde, belli saatlerde, tamamen ya da kısmen aydınlatılmaları ve/ya da aydınlık düzeyi değişimleri yapılması söz konusu olabilir. Bu durum, enerjinin daha etkin bir biçimde kullanımını getirmesi yanında, kentte değişik, birbirinden ayrı nitelikte görüntüler sunması açısından da ilginç olur. Ancak, bu tür kullanımların aydınlatmaların ön tasarım evresinde hazırlanan senaryolar doğrultusunda, iklim, bölge koşulları, buna dayalı olarak akşam (erken-geç), gece (erken-geç) kullanım saatleri ve önem durumları göz önünde tutularak tasarlanması gerekir.

Çizelge 4'te kaba bir yaklaşımla çeşitli aydınlatmalar için yılda gün/saat açısından kullanım süreleri örneklendirilmiştir.

Çizelge 4: Mimari aydınlatmalarla ilgili farklı kullanımlara yönelik örnekler

Mimari Aydınlatmalar (tipik kullanım)	Gün / Yıl	Saat / Yıl
Tüm geceler (güneşin doğuşu - batışı)	365	~ 4000 - 4200
Tüm geceler (güneşin batışı - 24.00)	365	~ 2200 - 2600
Mevsimsel (yaz geceleri)	150	~ 900 - 1350
Mevsimsel (güneşin batışı - 22.00)	365	~ 1300
Haftasonları + özel günler	125	~ 750 - 1125

• Yakma Sistemleri

Kent aydınlatma uygulamalarında, mimari yapıtların yıl içinde belli zamanlarda, tamamen ya da kısmen aydınlatılmasını sağlamak amacıyla, farklı kontrol sistemleri kullanılabilir. Bunlar,

- Durağan (statik)
- Dinamik
- Bağlantılı

olmak üzere 3 grupta ele alınabilir.

Durağan (statik) sistemler, ışık kaynaklarının elle ve / ya da otomatik olarak anahtarlama ve loşlaştırma yapılarak kullanımını sağlamaktadır.

Dinamik sistemler, beyaz ışığın farklı renk sıcaklıkları arasında ya da farklı renkli ışıklar arasında geçiş yapmayı olanaklı kılan sistemlerdir.

Bağlantılı sistemler, anahtarlama, loşlaştırma, renk değişimleri vb. tüm kontrol işlemlerini, uzaktan izleme, bakım ve yönetim ile yapabilen sistemlerdir.

Kentsel mimari aydınlatma uygulamalarında, tasarım esnekliği, konfor, güvenlik, kullanım kolaylığı vb. konuların yanı sıra, özellikle, ışık kaynaklarının anahtarlama ve loşlaştırma yapılarak kullanımında, büyük oranda enerji tasarrufu elde edileceği açıktır. Bina otomasyon sistemine entegre edilerek, günışığına, varlığa ve zamana bağlı kontrol sistemleriyle, yaklaşık %30 oranında ek enerji tasarrufu sağlanabilir.

8. Temiz Enerji Kullanımı

Günümüzde sürdürülebilirlik bağlamında temiz enerji kaynaklarından yararlanarak elektrik enerjisi elde edilmesi önem taşımaktadır. Kent aydınlatmasında da konuların özelliklerine, kent bölgelerine, çevre ve iklim koşullarına göre özellikle güneş enerjisinden yararlanarak elde edilen elektrik enerjisiyle bu aydınlatmaların yapılması, gündeme gelmelidir. Bu kullanımın yaygınlaşması günümüzde CO₂ emisyonunun azaltılması yönünden de önem taşımaktadır.

9. Sonuçlar

Kentlerde tarihi, kültürel, mimari, sanatsal değerleri olan üç boyutlu yapıtların, park – bahçe – yeşil alan, su öğeleri gibi kentsel tasarımda yer alan spor, dinlenme, eğlence amaçlı yerlerin görsel olarak geceye yansıtılması ve kullanım olanakları sağlanması gibi yönlerden aydınlatılmaları kaçınılmazdır. Ancak, tüm bu aydınlatmalar yapılırken harcanan elektrik enerjisini de etkin bir biçimde kullanmak, hem ülke ekonomisini korumak, hem de sürdürülebilirlik bağlamında göz önünde tutulması gereken önemli bir konudur. Bu nedenle,

- gelişigüzel, birbirinden kopuk, aydınlatma tekniğine aykırı,
- ışık kirliliği yaratan, gereksiz yere yapılan ve/ya da çok fazla aydınlatılan,
- kullanma sırasında yakma sistemine gerekli özen gösterilmeyen
- sürekli bakımı yapılmayan

aydınlatmalardan kaçınmak gerekir. Bu bağlamda, kentlerde, özel ve/ya da kamuya ait öğelerin mimari aydınlatması konusunda bireysel ve/ya da kurumsal karar verme yerine, bütüncül bir yaklaşımla ele alarak, kapsamlı çalışmalarla ortaya konulmuş “aydınlatma master planları” genelinde yaklaşılması doğru olur.

10. Kaynaklar

- [1] Şerefhanoglu Sözen, M., “Kent Aydınlatma – Enerji Kullanımı”, Kent ve Elektrik Sempozyumu, EEMKON 2015, İstanbul.
- [2] Şerefhanoglu Sözen, M., “Aydınlatma ile Kent Güzelleştirme”, Interlight 2003, Seminer – Fuar, İstanbul.
- [3] Bommel v. W., Outdoor Lighting: Yesterday, Today and Tomorrow, International Lightscape Conference, Shanghai, 2001.
- [4] Şerefhanoglu Sözen, M., (Chair), “A Guide to Urban Lighting Masterplanning”, CIE TC 5.21 Technical Report, 2016.
- [5] Aydınlatma Ders Notları, YTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Fiziği Bilim Dalı.

Meskenlerde Gerçekleşen Ölümlü Elektrik Kazalarının Analizi, Bu Kazalardaki Kusurların ve Kusur Oranlarının Belirlenmesi

Analysis of Mortal Electric Accidents Occurred in Dwellings and Determination of Defects and Defect Rates in The Accidents

Mehmet ZİLE

Erdemli UTİYO Bölümü
Mersin Üniversitesi
mehmetzile@yahoo.com

Özet

Elektrik kazaları önemli oranda çok ciddi ve masraflı iş kazalarındandır. Ülkemizde son on yılda iş sağlığı ve güvenliğine gereken önem verilmesine rağmen, yetkililere bildirilen kazaların sayısında herhangi bir azalma olmadığı görülmüştür. Yapılan bu çalışmayla şehir ve köylerdeki meskenlerdeki ölümlü elektrik kazalarına odaklanılmaktadır. Bu çalışmada diğer risklerden ziyade elektrik kazası riskleri üzerinde durulur. Buna ek olarak araştırma, şehir ve köylerdeki ölümlü elektrik kazalarının nedenleri ve yapılması gereken önlemler ifade edilir. Elektrik kazalarında sıklıkla tespit edilen elektriksel güvenlik sorununun bilinçli ve bilinçsiz insan hatasından kaynaklandığı belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmayla, şehir ve köylerdeki meskenlerdeki elektrik kazaları riskleri hakkında yeni bilgiler ortaya koyulmuştur. Bu çalışmada, ülkemizde meydana gelen çeşitli elektrik kazaları incelenmiş, bu kazaların sebepleri kimlerin ne oranda kusurlu olduğu saptanmış ve bu tür elektrik kazalarının oluşmasını engellemek için öneriler sunulmuştur.

Abstract

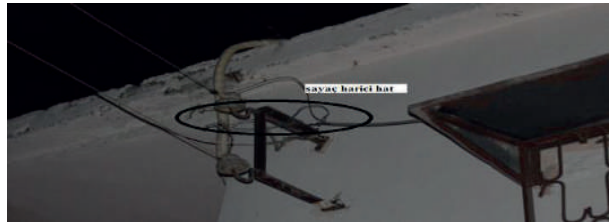
Electrical accidents are very serious and costly work accidents in significant proportions. Despite the importance given to occupational health and safety during the past decade in our country, there has been no decrease in the number of accidents reported to the authorities. This work focuses on mortal electric accidents in dwellings in cities and villages. This study focuses on the risks of electric accidents rather than other risks. In addition, the reasons for the mortal electric incidents in the city, the villages and the precautions to be taken are stated. It has been determined that the electrical safety problem which is frequently detected in electric accidents is caused by conscious and unconscious human error. With this work, new information about the risks of electric accidents in the towns and villages has been revealed. In this study, various electric accidents that occurred in our country were investigated and it was determined that the causes of these accidents were defective at some point and suggestions were offered to prevent the occurrence of such electric accidents.

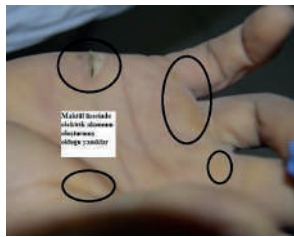
1. Giriş

Adli vaka olarak adliyeye intikal eden ölümlü mesken elektrik kazalarında, mesken ve konutlarda iş sağlığı ve güvenliği açısından gerekli tedbirlerin alınmadığı, elektrik sistemleri ve donanımlarındaki hayati tehlikelerin farkında olmayan mesken sakinleri ve aynı zamanda elektrik alanında çalışan tecrübesiz ve yetersiz eğitime sahip olan sokak işçilerinin hayatlarını sürdürebilmek için elektrik işlerinde çalışması sebebiyle elektrik kazalarına daha fazla maruz kaldığı anlaşılmaktadır. Mahalle elektrik tamircilerin eğitim seviyesinin yetersizliği, mevzuatın iş sağlığı ve güvenliği hükümleri açısından küçük işletmeleri dışlaması, küçük ve orta ölçekli işletmelerin gerekli iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerine riayet etmemeleri gibi nedenler elektriksel iş kazalarını arttıran en önemli etkenlerdendir. Adli vaka olarak adliyeye intikal eden elektriksel kazalarının % 60 oranı elektrik sistem ve donanımlarının standartlara uygun bir şekilde korumasının yapılmamasından, % 40 oranında ise elektrik alanında çalışanların hatasından ve kurallara uymamalarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Yaşanan bu elektrik kazalarının bir ülke gerçeği olarak karşımızda çözülmesi gereken bir sorun olarak durmaktadır. Uzman kişilerce güvenliği ve denetimi yapılmayan her türlü sistem ve donanımlar elektriksel iş kazalarına davetiye çıkartmaktadır.[1, 2]

2. Meskenlerde Gerçekleşen Ölümlü Elektrik Kazalarının Analizi, Bu Kazalardaki Kusurların ve Kusur Oranlarının Belirlenmesi

Kaza 1; Hayvan ahırında bir köylünün elektrığe çarpılması sonucu vefatı





Şekil 1: Kaza 1' deki Olay Yeri ve Otopsi İncelemesi

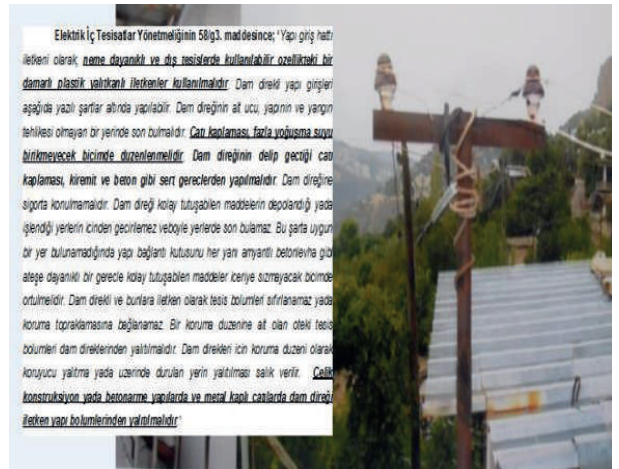
Olay yeri incelendiğinde meskenin dam kısmında bulunan konsoldan elektrik sayacına girmeden ahırın girişine kadar kaçak olarak enerji alımı olduğu, ahırın önünde bulunan su dinamosuna elektrik enerjisi taşımada kullanılan 2x2,5 NYY seyyar elektrik kablosunun ahırın önünde olduğu ve zemininde ıslak olduğu anlaşılmaktadır. Maktul ahırın zeminini yıkarken kaçak hattın ucuna dokunarak elektrik enerjisine kapıldığı, zeminin ıslak olması sebebiyle maktulün vücudundan geçen akımın yüksek olduğu, bu yüksek akım

sebebiyle maktulün önce kalbinin daha sonrada solunumunun durduğu anlaşılmaktadır. Mesken ve ahırın elektrik tesisatının elektrik iç tesisat yönetmeliğine uygun olmadığı ve siva üstünden derme çatma çekilmiş elektrik tesisatının son derecede tehlikeli olduğu anlaşılmaktadır. Maktulün ıslak ve pis olan zeminde elektrik izolasyonuna uygun edevat ve teçhizat ile (eldiven, ayakkabı) kendini donatıp gerekli tedbirleri alıp çalışması gerekirken yapmaması sebebiyle, maktulün izolasyonu bozuk ve yetersiz elektrik tesisatına sağ eli ile dokunarak kapıldığı, kalp ve solunum durması ile hayatını kaybettiği, söz konusu ölümlü kazada Maktul S.' nin %20 oranında tali kusurlu olduğu, Ev ve damın sahibi, maktul ve eşine kiralayan M., evin ve ahırın elektrik tesisatını iç tesisat yönetmeliğine uygun yaptırmadan kiraya verdiği, ahırın elektrik tesisatının izolasyonu yetersiz son derecede tehlikeli olduğu, söz konusu olayın meydana gelmesinde ahırın elektrik tesisatını iç tesisat yönetmeliğine uygun yaptırmadan kiraya veren mesken sahibi M.' nin %20 oranında tali kusurlu olduğu, mesken ve ahırın elektriğini elektrik direği konsoldan kaçak olarak su dinamosuna bağlayan ve ahırdaki uzatma kablosunu ucu açık vaziyette bırakarak ıslak zeminde eşinin çalışmasına müsaade eden ve elektrik tesisatlı izolasyonu yetersiz son derecede tehlikeli olan meskeni kiralayan ve elektrik tesisatı ve izolasyonuna hiçbir iyileştirme ihtiyacı duymayarak tedbirsiz ve ihmalkar davranarak söz konusu olayın meydana gelmesinde maktulün eşi H.' nin ise %60 oranında tali kusurlu olduğu anlaşılmaktadır.

Kaza 2; Mesken korkuluğuna dokunan bir köylünün elektriğe çarpması sonucu vefatı



maktulün elektrik enerjisi olan merdiven korkuluğuna sol eli ile dokunması sebebiyle ani elektrik akımına kapılarak kalbinin ve solunumunu durdurduğu, solunum yetmezliği sebebiyle hayatını kaybettiği anlaşılmaktadır.





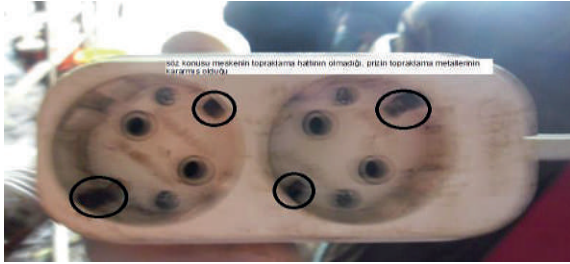
Şekil 2: Kaza 2' deki Olay Yeri ve Otopsi İncelemesi

01.10.2012 tarihi sabah sıralarında maktulün eşi B.' nin zeytin toplamak için köyün alt kısmında bulunan bahçeye gittiği, maktulün evde tek başına olduğu, saat 10:00 sıralarında eve döndüğünde Maktul S.'yi yerde yatar vaziyette gördüğünü kolunun merdivenin demir korkuluğunda bulunduğunu, ilçede ikamet eden oğullarını aramak için eve yöneldiğinde demir korkuluğunun kendisini çarparak titrettiği ve komşusu Ş. nin kendisini kurtardığı, olay günü yağmur yağması sebebiyle her tarafın ıslak olduğu, olayın meydana geldiği elektrik hattının 15-20 yıllık olan bir hat olduğu, M. isimli komşu evin sahibi evine elektrik alabilmek için B.' nin evinin üzerinden elektrik hattı geçirmiş olduğu, bu söz konusu hattın kablosunun deforme olması sebebiyle elektrik enerjisinin bu hattan evin saçtan yapılmış çatısına ve buna teması olan merdiven korkuluğuna geçmiş olduğu, maktulün elektrik enerjisi olan merdiven korkuluğuna dokunması sebebiyle ani elektrik akımına kapılarak hayatını kaybettiği anlaşılmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 30/11/2000 Resmi Gazetede yayım tarihli ve 24246 sayılı Elektrik Kuvvetli Akım

Tesisleri Yönetmeliğinin 67. maddesine; 'İşletme tarafından belirli sürelerde hava hatları ve direkler, topraklamalar dahil denetlenmeli ve yoklanmalıdır. Yoklama ve bakımın sonuçları düzenli olarak kaydedilmelidir. İşletme tarafından tesisin özellikleri göz önüne alınarak belirli aralıklarla denetleme ve yoklamaların süresi hiç bir zaman 2 yılı geçmemelidir.' Elektrik İç Tesisatlar Yönetmeliğinin 58/a7. maddesine; 'iletkenlerin bağlantısı ancak yalıtkan parçalar üzerinde yada yalıtkan kılıflı olarak vidalı klemens, vidasız klemens, lehim yada kaynakla yapılmalıdır. Çözülebilir bağlantı yerlerine (klemens bağlantıları gibi) ulaşılabilmelidir. Dökme usulü ile yapılmış bağlantı yerleri çözülmeden bağlantılara girer. İletkenlerin bağlanması- Borulu tesislerde ancak kutular içinde,- Çok damarlı yalıtılmış iletkenler yada kablolar yapılmış tesislerde ancak kutular yada ek kutular (muflar) içinde, yapılabilir. Bağlantı ve ek parçaları bağlanacak yada eklenecek iletkenlerin sayı ve kesitlerini uygun nitelikte olmalıdır. (Değişik fıkra: RG 30/11/1995- 22479) Ekler duvarlarda 60 mm derinlikte olmak şartıyla kasalarda, tavanlarda ise armatür veya armatüre ilişkin elemanlarla gizlenmiş kutular (buatlar) içinde yapılabilir. Bu ekler kesinlikle klemensler ile yapılmalıdır. Anahtar-priz bağlantı uçları ek amacıyla kullanılmamalıdır. Kasalar ve buatların içine su sızması için gerekli önlemler alınmalıdır.' Elektrik İç Tesisatlar Yönetmeliğinin 58/g3. maddesine; 'Yapı giriş hattı iletkeni olarak, neme dayanıklı ve dış tesislerde kullanılabilir özellikteki bir damarlı plastik yalıtkanlı iletkenler kullanılmalıdır. Dam direkli yapı girişleri aşağıda yazılı şartlar altında yapılabilir. Dam direğinin alt ucu, yapının ve yangın tehlikesi olmayan bir yerinde son bulmalıdır. Çatı kaplaması, fazla yağuşma suyu birikmeyecek biçimde düzenlenmelidir. Dam direğinin delip geçtiği çatı kaplaması, kiremit ve beton gibi sert gereçlerden yapılmalıdır. Dam direğine sigorta konulmamalıdır. Dam direği kolay tutuşabilen maddelerin depolandığı ya da işlendiği yerlerin içinden geçirilemez ve böyle yerlerde son bulamaz. Bu şarta uygun bir yer bulunmadığında yapı bağlantı kutusunu her yanı amyantlı beton levha gibi ateşe dayanıklı bir gereçle kolay tutuşabilen maddeler içeriye sızmayacak biçimde örtülmelidir. Dam direkli ve bunlara iletken olarak tesis bölümleri sıfırlanamaz yada koruma topraklamasına bağlanamaz. Bir koruma düzenine ait olan öteki tesis bölümleri dam direklerinden yalıtılmalıdır. Dam direkleri için koruma düzeni olarak koruyucu yalıtma yada üzerinde durulan yerin yalıtılması salık verilir. Çelik konstrüksiyon yada betonarme yapılarda ve metal kaplı çatılarda dam direği iletken yapı bölümlerinden yalıtılmalıdır.' M. isimli şahsın, elektrik enerjisini en az 3 metre civarında bir direk üzerinden ve binaya sürmesi ihtimalde olan yerlerden sıva altı geçirmesi gerekirken, elektrik enerjisini 2 metre civarında kısa bir direk ve izolesi (yalıtkanlığı) yeterli olmayan bir kablo kullanarak komşusunun çatısı üzerinden geçirerek elektrik enerjisi aldığı, maktulün eşi B. nin kendi meskenin çatısına boydan boyda birer bir temas ederek geçen elektrik hattına izin vermemesi gerekirken tedbirsizce bu söz konusu elektrik hattına izin verdiği, Tedaş ekiplerince M. ye ait olan meskenin kolon hatının Elektrik İç Tesisatlar Yönetmeliğinin 58/a7. maddesi ve 58/g3 maddesine uygun olmaması sebebiyle elektrik enerjisi verilmesi veya ace. konusu meskenin elektriği mühürlenerek kesilmesi gerekirken kesilmediği anlaşılmaktadır. M. isimli şahsın, elektrik enerjisini en az 3 metre civarında bir direk üzerinden ve binaya sürmesi ihtimalde olan yerlerden sıva altı geçirmesi gerekirken,

elektrik enerjisini 2 metre civarında kısa bir direk ve izolesi (yalıtkanlığı) yeterli olmayan bir kablo kullanarak komşusunun çatısı üzerinden geçirerek elektrik enerjisi alarak tedbirsiz ve ihmalkar davranması sebebiyle, söz konusu olayda %50 oranında asli kusurlu olduğu, maktulün eşi B.'nin kendi meskenin çatısına boydan boya birebir temas ederek geçen elektrik hattına izin vermemesi gerekirken tedbirsizce bu söz konusu elektrik hattına izin vermesi sebebiyle, söz konusu olayda %20 oranında talii kusurlu olduğu, dağıtım şirketi X ekiplerince, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 30/11/2000 Resmî Gazetede yayım tarihli ve 24246 sayılı Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliğinin 67. maddesine belirli aralıklarla denetlenip, X ekiplerince M. ye ait olan meskenin kolon hattının Elektrik İç Tesisatlar Yönetmeliğinin 58/a/7. maddesi ve 58/g3 maddesine uygun olmaması sebebiyle, elektrik enerjisi verilmemesi veya söz konusu meskenin elektriği mühürlenerek kesilmesi gerekirken kesilmemesi sebebiyle, söz konusu olayda X kurumunun veya X Kurumu yetkilisinin %30 oranında tali kusurlu olduğu, maktul S.'nin meskenin merdiven korkuluklarına dokunarak elektrik enerjisine kapılması sebebiyle söz konusu olayda herhangi bir kusurunun ise olmadığı anlaşılmaktadır.

Kaza 3; Bir köylü kadının süt sağma işlemi yaparken elektriğe çarpması sonucu vefatı



Şekil 3: Kaza 3' deki Olay Yeri ve Otopsi İncelemesi

Olay yerinin K. Köyü, F. Mahallesinde ölen şahsa ait briket ve demir profiller üzerinde çinko kaplı çatılı, yarı açık, iki bölmeden oluşan ve içerisinde beş adet büyük baş hayvan bulunan, evlerden bağımsız dam diye tabir edilen hayvan barınağı olduğu, barınağın iç bölümünde üç adet büyük baş hayvanının bulunduğu yerde yeşil renkli, motoru üzerinde A.Aş. Çok Amaçlı Motor işletmesi İstanbul yazan süt sağma makinesinin bulunduğu, zeminin ıslak ve hayvan ve pisliği ile kaplı olduğu, süt sağma makinesinin 69 cm güney yanında, dibinde süt olan 40 kg lik süt kovasının olduğu, muhtemelen süt kovağın süt kovasının 3 m kuzey doğu yönünde ineğin önünde, zeminde bulunduğu, ahırda müdahale edildiğinde elektriğin kesik olduğu, cesedin olay yerinde olmadığı, hastaneye kaldırılmış olduğu, aynı zeminde 82x94 cm çapında yere dökülmüş süt lekesinin olduğu, ahırın batı duvarı, güney köşesinde dışarıda ahıra 110 cm mesafede üzerinde, şahsın kendisinin abone olarak yaptırmış olduğu TRF etiket abone numaralı panonun bulunduğu demir profil elektrik direğinin olduğu ve bu direkten ahır içerisine doğru 2.5 antigran kablonun gittiği, bu kablonun direktan itibaren çatı iç kısmından orta kısmına doğru geldiği, burada erkek ve dişi fiş birleştirildiği, birinin lambaya geldiği, diğerinin ise ikili prize geldiği, muhtemelen ikili prize süt sağma makinesinin fişinin takılmak için kullanıldığı, damın orta kısmından yere doğru 80 cm uzunluğunda ikili prizden sarkık vaziyette olduğu, söz konusu meskenin topraklama hattının olmadığı, prizden topraklama metalinin kararmış olduğu, makinenin güvenli bir zemine çekilerek elektrik kaçağı olup olmadığı konusunda tespit yapmak amacı ile pano direğindeki prizden elektrik temin edilerek makinenin çalıştırıldığı, makinenin bütün metal parçaları üzerinde kontrol kalemi ile yapılan kontrollerde elektrik kaçağı olduğu ve bu kaçağın insanı öldürmeye yetecek düzeyde olduğu görüldü. Otopside maktul üzerinde yapılan incelemede; Sağ kolda el kısmında başparmak dışındaki bütün parmaklarda elektrik çarpmasına bağlı yanma neticesinde meydana gelmiş deri ezilmeleri olduğu, ellerin yumulmuş vaziyette bulunduğu, sağ bilekte iç kısımda 4x3 cm boyunda derinin yanmış ve kalkmış olduğu, sol elde işaret parmağı üzerinde yan kısımda 1x1 cm boyunda elektrik giriş noktasının olduğu, bu bölgenin parçalanmış olduğu, sol el parmaklarında deri soyulmaları ve yanıkları olduğu, sol bilekte iç kısımda 7x4 cm genişliğinde elektrik çarpmasına bağlı yanık ve deri soyulmasının olduğu görüldü. Maktulün çalışmaya ıslak ve pis olan zemini temizleyip silerek kurutması gerekirken ıslak ve pis olan zeminde çalışması ve elektrik izolasyonuna uygun edevat ve

teçhizat ile (eldiven, ayakkabı) kendini donatıp gerekli tedbirleri alıp süt sağma makinesi ile çalışmasını sürdürmesi gerekirken yapmaması sebebiyle, maktulün yüksek oranda elektrik enerjisi kaçırarak süt sağma makinesine dokunması ile sağ ve sol elinden elektrik enerjine kapılarak kalp ve solunum durması ile hayatını kaybettiği ve söz konusu ölümlü kazanın meydana geldiği, söz konusu ölümlü kazada Maktul H.' nin %60 oranında asli kusurlu olduğu, söz konusu ahırda kullanılan süt sağma makinesinin toprak düzeneği olmasına rağmen, ahırın sahibi ve maktulün eşi Ö.' Nün ahıra gelen hatta topraklama hattını çektiği olmaması ve topraklama hattı olmadan topraklamasız çalıştırılması son derecede tehlikeli olan süt sağma makinesinde maktulün çalıştırması sebebiyle, söz konusu ölümlü kazanın meydana geldiği, söz konusu ölümlü kazada ahırın sahibi ve maktulün eşi Ö.' nün %60 oranında tali kusurlu olduğu anlaşılmaktadır.

Kaza 4; Mesken balkonundaki ev hanımı bayanın anten kablosuna bağlı sepeti yukarı çıkarmak isterken elektriğe çarpması sonucu vefatı;

Maktul anten kablosuna bağlı ve içerisinde 5 litrelik su damacana olan sepeti yukarı çıkarmak isterken sepetin yalpa yaparak binanın yakınından geçen sokak enerji hattına değdiği sepete bağlı anten kablosunun enerjilendiği ve kabloyu sol eli ile tutan maktulün enerji hattına kapılarak öldüğü anlaşılmaktadır. Olay yeri incelendiğinde; havai hattın binaya olan uzaklığı 1,5-2 metre civarında olduğu, enerji nakil hattının direk mesafeleri, iletken aralıkları ve sehimleri, hat güzergahındaki bina uzaklıkları açısından kuvvetli akım yönetmeliğine uygun olduğu anlaşılmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 30/11/2000 Resmi Gazetede yayım tarihli ve 24246 sayılı Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliğinin Altıncı Bölümde Elektrik Hatları-Hava Hatlarda uzaklıklar konulu 44. maddesinin (i) bendinde hava hattı iletkenleri ile yanından geçtikleri yapıların en çıkıntılı bölümleri arasında, en büyük salınım konumunda en az 1 metre yatay uzaklık bulunması gerektiği ifade edilmektedir. 44. maddesinin (k) bendinde, yüksek gerilim hatları, hatlara rastgele dokunmayı önleyecek önlemler alınmak koşulu ile elektrik işletme yapılarına tespit edilebilir. 44. maddesinin (l) bendinde, yapıların yanından geçen ya da tespit edilmiş bulunan alçak gerilim hatları herhangi bir aygıt kullanmaksızın rastgele dokunulmayacak biçimde tesis edilmelidir şeklinde ifade edilmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 30/11/2000 tarihli ve 24246 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliğinin 44. maddesinin (i) bendinde hava hattı iletkenleri ile yanından geçtikleri yapıların en çıkıntılı bölümleri arasında, en büyük salınım konumunda 1000 volta kadar olan enerji nakil hatlarında asgari 1 metre yatay uzaklık bulunması, (k) bendinde rastgele dokunmayı önleyecek önlemler alınması ve yine (l) bendinde yapıların yanından geçen ya da tespit edilmiş bulunan gerilim hattında herhangi bir aygıt kullanmaksızın rastgele dokunulmayacak biçimde tesis edilmesi sebepleriyle söz konusu sokak enerji hattının Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 30/11/2000 tarihli ve 24246 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliğine uygun olduğu anlaşılmaktadır. Söz konusu olayda, maktulün hiçbir surette kablo bağlı sepeli binadan sallandırılmaması ve sepete bağlı iletken anten kablosu ile yük taşıma işlemi yapmaması gerekirken, anten kablosu

bağlı sepette sokak enerji hattı geçen yerden yük taşıma işi yaparken sepetin yalpa yapması sebebiyle sepete bağlı anten kablosunu enerji nakil hattına değdiği, kabloyu sol eli ile tutan maktulün enerji hattına sol eli ile kapıldığı, enerjinin maktulün vücudundan sol el-kalp-ayak parmaklarından yol izlediği, maktulün kalbinden geçen elektrik akımının maktulün kalbini durdurduğu ve hemen akabinde de solunumun durarak maktulün hayatını kaybettiği, elektriğin girdiği sol elde ve elektriğin çıktığı ayak parmaklarında ise yanıkların olduğu anlaşılmaktadır. Enerji hattının Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 30/11/2000 tarihli ve 24246 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliğine uygun yapılması sebebiyle Dağıtım X şirketinin herhangi bir kusurunun olmadığı, kendi sağlığı ve güvenliği için her türlü tedbiri almaktan ihmalkar davranan maktul hiçbir şekilde yapmaması gereken anten kablosuna bağlı sepeli enerji nakil hattı geçtiği yerden yukarı çıkarmak isteyerek kazasının oluşmasına imkan vermesi sebebiyle maktulün tek asli kusurlu olduğu anlaşılmaktadır.

3. Sonuçlar

Elektrik kazaları sistemlerde yalıtımlık hatası, gövde teması, kısa devre hat teması, toprak teması, hata akımı, kaçak akım, makine veya elektrikle temas, elektrik devresinin dokunan üzerinden tamamlanması şeklinde meydana gelir, itme-çarpma, bilinç kaybı, felç, ani kalp duruşu ve ölümlü sonuçlanır. Elektrik kazalarında, akımın cinsi ve büyüklüğü, gerilimin cinsi ve büyüklüğü, frekansı, etki yaptığı süre, devre zeminden tamamlanmış ise zeminin kuru ve ıslaklık derecesi, izole edilmemiş bölümlerin bulunması, akım kaynağı ile kazalı arasında akımı önleyici yalıtımın bulunup bulunmaması, bağlantı iletkenleri, akım şiddetinin yönü ve izlediği yol, kaza sırasında vücudun göstermiş olduğu direnç, çalışanın ellerinin kuru, ıslak ve terli olması önemli etkenler arasındadır. Adli vaka olarak adliyeye intikal eden elektrik kazalarında güvensiz hareketler olarak kişisel koruyucu malzemelerin kullanılmaması, makine ve cihaz donanımlarını güvensizce kullanılması gibi davranışlar olduğu, güvensiz şartların ise meskenlerde elektrik sistemleri koruyucularının yetersiz veya hiç yapılmamış olması, yalıtım özelliğini kaybetmiş araç ve gereçlerin kullanılması ve kişisel koruyucuların bulundurulmamasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmayla, birçok adliyeye intikal eden elektriksel iş kazaları üzerinde durarak bilimsel nedenleri araştırılmış, sebeplendirme yaklaşımları oluşturulmuş, bu elektriksel iş kazalarının tekrar oluşmaması ve önlenmesi için yapılması gerekli güvenlik önlemleri üzerinde durulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Zile, M. (2013). Adliyeye İntikal Eden İş Kazalarının Analizi ve Nedensellik Modellemesinin Oluşturulması. VII. Ulusal İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Kongresi, Yayın No: E/2013/600, 295-298.
- [2] Zile, M. (2013). Elektrik Enerjisi Kaynaklı Adli Vaka İş Kazalarında Sebeplendirme Yaklaşımları ve İş Güvenliğinin Oluşturulması. VII. Ulusal İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Kongresi, Yayın No: E/2013/600, 298-300.

Teknoloji, Modernizm ve Bir Planlama Problemi Olarak Işık Kirliliği

Technology, Modernism and Light Pollution as a Design/Planning Problem

Emre Güneş
emre@agustos.com

Özet

Işık gerçekten kirlendirir mi? Işık kirliliği denince akla ne geliyor? Bugün belli bir nüfusun üzerinde herhangi bir yerleşim yerinde gökyüzüne baktığımızda yıldızları değil, bir toz bulutunu görüyorsunuz. Ne zaman daha az gelişmiş daha bakir yerlere gitsek yıldızlar ortaya çıkıyor. Peki gerçekten yıldızlar neden şehirlerde kaybolup taşrada karşımıza çıkıyor? Şehirlerde yıldızları görmek mümkün değil mi?

Işık kirliliği kavrama olarak gün be gün hayatımıza giriyor. Her geçen gün daha fazla insan bu problemden ve sonuçlarından haberdar oluyor. Işık kirliliği yıldızları görmek kadar basite indirgenip romantik bir ihtiyaç gibi tanımlanabilir mi? Ya da doğaya, hayvanlara ve sağlığımıza etkileri mi var? Eğer böyle etkilerden bahsedebiliyorsak ışık kirliliğini nasıl engelleyebiliriz?

Bu sunumda “ışık kirliliği” kavramına, sebep sonuç ilişkisi ile yaklaşip merak edilenlere cevap vermeye çalışılacaktır.

Abstract

Does light really pollute? What comes to your mind when talking about light pollution? Today, in every place with more than a certain number of people living, when you look at the sky, you don't see the stars but some clouds of dust. Stars come out again when you go to places with fewer people. So why do the stars disappear in cities and re-appear in the countryside? Isn't it possible to see the stars in cities? Day by day, light pollution becomes a part of our daily life. Every day, more people learn about the problem, and it's consequences. Can you describe light pollution as a romantic need by simplifying it to see the stars? Or does it have any effects on the environment, animals or our health? If we can talk about these facts, how can we stop light pollution?

This presentation will try to respond these questions by approaching "light pollution" with its cause and consequences.

Yapı Yüzü Aydınlatması ve Enerji Kullanımı İçin Bir Örneklem

An Analysis on Building Facade Lighting and Energy Usage

Arezou Mahmoudi¹, Merve Dönmez Yaşa², Rengin Ünver³

Yıldız Teknik Üniversitesi

Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

¹arzumahmudi@gmail.com; ²m.mrvdmz@gmail.com; ³runver@yildiz.edu.tr

Özet

Yapı yüzü aydınlatmasının hedefi, yapıların mimari özelliklerini ortaya koyarak, vurgulayıcı, etkileyici, çekici görünümler yaratmak, duygusal izlenimler oluşturmak olarak özetlenebilir. Bu nedenle yapı yüzü aydınlatmasında aydınlığın niteliği (renk, ışığın doğrultusu, gölgeler) konusu aydınlığın düzeyi ve düzgün yayılmışlığına göre çok daha ağırlıklıdır. Konu gereği, sanatsal, estetik ve mimari özellikler, insan doğası ve istekleri dikkate alınmalıdır.

Yapı yüzü aydınlatmasında uzaktan aydınlatma, yakından aydınlatma-duvar sıyırma, vurgu aydınlatması vb. tekniklerden biri ya da birkaçı birden de uygulanabilir. Daha açık bir anlatımla, yapı yüzü aydınlanmasında değişik teknikler kullanılarak çeşitli düzenler ve görsel izlenimler oluşturulabilir. Belli bir yapı için kullanılacak aydınlatma tekniği ve ışık kaynakları konusunda karar verilirken, birçok seçenek arasından, ilk yatırım gideri, kullanım gideri ve enerji verimliliği konularının da göz önüne alınmalıdır. Bu çalışmada, belli bir yapının cepheleri için değişik görsel izlenimler yaratacak teknikler kullanarak aydınlatma tasarım senaryoları oluşturulmuş ve seçenekler enerji kullanım özellikleri açısından değerlendirilmiştir.

Abstract

Lighting design aims meeting the requirements of lighting in the spaces and the needs for some certain purposes. Therefore, in the lighting designs, if natural light is insufficient or not available for visual perception; artificial light sources will use. Features of artificial light can be controlled and formatted according to the circumstances. Nowadays various artificial light sources are used for exterior lighting. In cities, correct and appropriate lighting systems performs exciting, mysterious and splendid appearances.

Facade lighting by revealing the architectural features of the structures creates emphasizing and attractive appearance and emotional impressions. The quality of lighting (colour, light direction, shadows etc) is more important than the lighting quantity and uniformity for the facade lighting. In this subject, artistic, aesthetic and architectural features, human nature and wishes should be taken in the consideration. Various techniques such as floodlights, wall grazing, accent lighting, silhouette lighting, contour lighting, interior lighting and self-luminous effect can be used for building's facade lighting. It is possible in the lighting arrangement, to use one or more of techniques that mentioned above. More clearly, various

layouts and visual impressions created by using different techniques for facade lighting. Making a decision for techniques and light sources of facade lighting needs to consider different parameters, such as initial cost, maintenance cost, energy efficiency and energy usage. These values must provide compliances with relevant standards. In this study, scenarios were created that would create different visual impressions for the facades of a particular building. scenarios have been evaluated in terms of energy use characteristics.

1. Giriş

Dış aydınlatma konularından olan yapı yüzü aydınlatmasının hedefi, yapıların mimari özelliklerini ortaya koymak, vurgulayıcı, etkileyici, çekici görünümler yaratmak, gözlemci estetik izlenimler oluşturmak olarak özetlenebilir. Böylece kentler, yapı yüzü aydınlatması aracılığı ile kendine özgü bir kimlik te kazanabilmektedir [1].

Yapı yüzü aydınlatmasında,

- Uzaktan aydınlatma (floodlighting),
- Yakından aydınlatma -duvar sıyırma (wall grazing),
- Vurgu aydınlatması (accent lighting; selective highlighting),
- Siluet aydınlatması (silhouette lighting; backlighting),
- Kapalı mekanlarının aydınlatılması-geçen ışıklılık (inside/interior lighting),
- Kontur aydınlatması (contour/line lighting)
- Işıklı cephe- medya cephe (self-luminous effect)

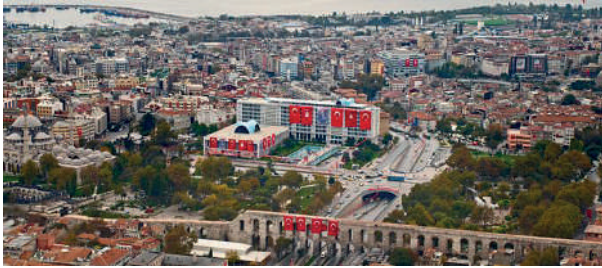
gibi değişik teknikler kullanılabilir [2-8]. Yapılarda bu tekniklerden biri ya da birkaçı birden uygulanarak çeşitli aydınlatma düzenleri ve görsel izlenimler oluşturulabilir.

Günümüzde aydınlatma alanındaki teknolojik gelişmeler yapı yüzü aydınlatmasında kullanılacak ışık kaynağı dolayısıyla aydınlatma aygıtı çeşitlerini çok zenginleştirmiştir. Bu olgu, yapı yüzü aydınlatması tasarımları için pek çok seçenek sağlamaktadır. Belli bir yapı için kullanılacak aydınlatma tekniği ve ışık kaynakları konusunda karar verilirken, birçok seçenek arasından, ilk yatırım gideri, kullanım gideri, enerji kullanımı ve sistem verimliliği gibi konuların da göz önüne alınması gerektiği açıktır [2]. Ayrıca, yapı yüzünde sağlanması gereken değerler bakımından ilgili standartlara da uygunluk sağlanmalıdır.

Bu çalışmanın amacı, belli bir yapının cepheleri için değişik görsel izlenimler yaratacak aydınlatma teknikleri kullanarak tasarım senaryoları oluşturmak, seçenekleri enerji kullanım özellikleri açısından değerlendirmektir. Belirtilen amaca yönelik olarak İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yönetim Binasının Başkanlık bölümü için değişik aydınlatma teknikleri, ışık kaynağı ve aygıtlar kullanarak öneri tasarım senaryoları hazırlanmış ve bunlar enerji kullanımı açısından karşılaştırılmıştır.

2. Yapının Özellikleri

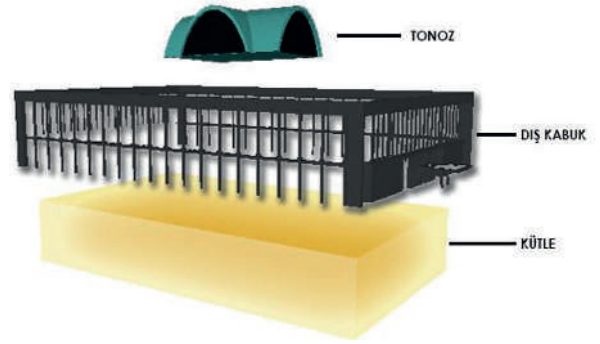
İstanbul, Fatih'te yer alan ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin (İBB) halen çalışmalarını sürdürdüğü yönetim binası/Belediye Sarayı, 1953 yılında bir ulusal yarışmada birincilik alan mimar Nevzat Erol'un projesine göre yapılmıştır. Proje, yapımı aynı yıllara rastlayan İstanbul Hilton Otel'i ile birlikte, uluslararası üslubun Türk mimarlığına yansıdığı ilk örneklerden biridir. Yapı, Atatürk Bulvarı ile Şehzadebaşı Caddesi'nin kesişiminde, Saraçhane Parkı'nın güneyinde yer almaktadır [9]. Çevresinde Şehzadebaşı Camii, Bozdoğan Kemerli, Gazanfer Ağa Medresesi gibi İstanbul'un önemli tarihi yapıları bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. İstanbul Büyükşehir Belediyesi yönetim binası genel görünüş [9].

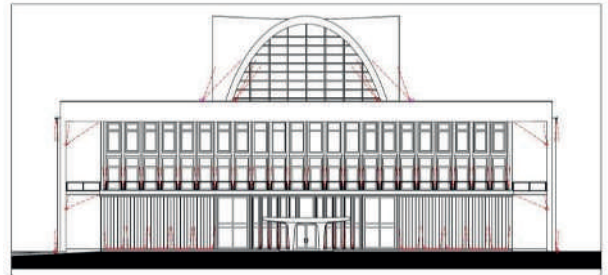
Bina 'rasyonalist-pürist akım'ın temel prensiplerine uygun olarak temel geometrik formlar ve modüler cephe sistemi çerçevesinde kurgulanmıştır [9]. Belediye Sarayı dikdörtgenler prizması şeklindeki iki binadan oluşmaktadır. Binaların cephesinde de birbirini tekrar eden, farklı boyutlardaki dikdörtgen ve kare formlara rastlanmaktadır. Yüksek blok ofis, alçak blok başkanlık binası olarak kullanılmaktadır.

Çalışmada ele alınan İBB Yönetim Binasının alçak blokta bulunan Başkanlık bölümü; başkanlık dairesi, ofis hacimleri, encümen odaları, toplantı ve sergi salonlarından oluşmaktadır. Yapı, iç kütle ve onu saran dış kabuk olarak tasarlanmıştır (Şekil 2). Kütleli saran kabuk, arkatlı yapısıyla kolonlardan bir çerçeve oluşturmakta, yan cephelerde genişlemekte ve açık koridorlar yaratmaktadır (Şekil 3, 4). Alçak bloğun çatısında çapraz tonoz biçiminde, hiperbolik eğrisel bir örtü vardır. Mimari, bu örtü biçimini, karşısında yer aldığı Şehzade Camii'nin örtü sistemine atıf yapan bir tasarım kabulü olarak ifade etmiştir [9].

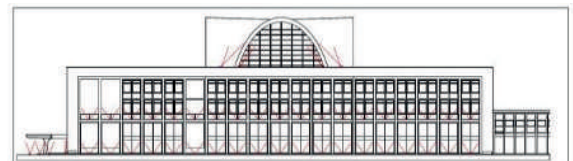


Şekil 2. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Başkanlık binası yapı kabuğu biçimlenmesi.

Dikdörtgen planlı, iki katlı Başkanlık binasının eni (giriş cephesi) 43.7m, boyu (yan cepheleri) 65.5m, yüksekliği 13.2m olup tonoz ile birlikte 20m dir. Yapıyı çevreleyen dış kabukta yer alan kolonların genişliği 35 cm, derinliği 60 cm dir. Yan cephelerdeki dış koridorların genişliği 3.8m olup tavan yüksekliği zemin katta 4.7m, birinci katta 6.1m dir. Yapı yüzeyinde açık ($r=0.65$) ve orta koyuluktaki ($r=0.30$) malzemeler kullanılmıştır.



Şekil 3. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Başkanlık binası giriş/ön cephe görünüşü.



Şekil 4. Yan cephe görünüşü.

3. Yapı Yüzü/Cephe Aydınlatma Senaryoları

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Başkanlık binasının konum, işlev ve mimari özellikleri dikkate alınarak, aydınlatılması önerilen bölümleri ön ve yan cepheler olarak sınırlandırılmıştır. Yapının arka cephesi yüksek ofis bloğuna bakmakta olduğu ve çevreden oldukça az görüldüğü için aydınlatılması önerilmemiştir. Bu bağlamda Başkanlık binasının aydınlatılması planlanan bölümleri,

- Ön cephe giriş katı: giriş saçağı altındaki döşeme, dış kabuktaki giriş kapısı yanı kolonlar ve sağır/opak yüzeyler,
- Ön cephe birinci kat: dış kabuktaki kolonlar, koridorlu arkadın tavanı, iç yapı kabuğu,
- Yan cephelerin birinci ve ikinci katı: dış kabuktaki kolonlar, koridorlu arkadın tavanı, iç yapı kabuğu ve
- Tonoz

olarak belirlenmiştir. Söz konusu bölümlerde değişik ışık kaynağı, aygıt ve aydınlatma teknikleri kullanarak farklı konseptler doğrultusunda dört tasarım senaryosu kurgulanmıştır. Senaryolar oluşturulurken, yapının çevre ortamı açısından kent merkezinde (E4 sınıfı) yer alması nedeniyle yapı yüzü aydınlatmasına yönelik standartlar verilen düşey aydınlık düzeyi (illuminance; $E_v \leq 25$ lx ve ortalama ışıklılık (luminance; $L_b \leq 25$ cd/m²) değerlerine uygunluk sağlanmasına dikkat edilmiştir [8, 10]. Seçilen aygıtlar dış ortam koşullarına uygun IP65 ve daha büyük koruma sınıfındadır. Işık kaynaklarının renksel geriverim indisi $R_a \geq 80$ ve renk sıcaklığı 3000 K dir. Yapı ve aydınlatma senaryoları Dialux 4.13 aydınlatma simülasyon programında modellenmiştir.

3.1. Senaryo 1

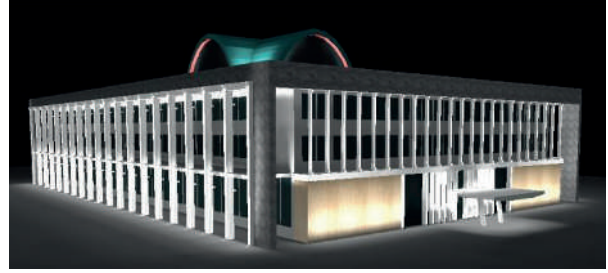
Birinci aydınlatma senaryosunda konsept olarak, yapı kütlesindeki pencere yüzeyleri karanlık bırakılarak, dış kabuk elemanları (kolonlar) ile dış ve iç kabuğu bağlayan arkat tavanlarının aydınlatılarak öne çıkarılması hedeflenmiştir. Ayrıca, girişin bulunduğu ön cephedeki opak yüzeyler, saçak altındaki döşeme ve çatıdaki tonoz bölümleri de aydınlatılmıştır (Şekil 5-6). Aydınlatma tekniği olarak, uzaktan aydınlatma, yakından aydınlatma-duvar sıyırma ve vurgu aydınlatması gibi teknikler kullanılmıştır. Bu bağlamda,

- Giriş saçığı altındaki döşeme, saçak tavanına yerleştirilen dolaysız aydınlatma yapan noktasal LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Ön cephedeki giriş kapısının yanındaki kolonların ön yüzleri, zemine yerleştirilen noktasal LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Ön cephe giriş katı dış kabuğunun opak yüzeyleri zemine yerleştirilen doğrusal LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Ön cephenin birinci katındaki kolonların ön yüzleri, kolonların alt ve üst kotlarına yerleştirilen siva üstü noktasal LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Ön ve yan cephelerdeki tüm arkat tavanları dış kabuk kolonlarına belirli kotlara yerleştirilen siva üstü noktasal LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Yan cephelerin birinci ve ikinci katında dış kabuktaki kolonların ön yüzleri zemine ve kolon üst kotuna yerleştirilen noktasal LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Tonoz dış yüzeyinin geometrik formu, köşelere yerleştirilen geniş açılı LED projektörler ile aydınlatılarak vurgulanmıştır.
- Tonozdaki pencereler, iç yüzey alt kotuna yerleştirilen noktasal LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.

Aydınlatma hesap sonuçlarına göre binanın ön cephesinin ortalama düşey aydınlık düzeyi 19 lm/m² dir. Ön cephedeki ışıklılık değerleri cephe genelinde 1.14 cd/m² ile 9.5 cd/m² arasında değişmektedir. Yan cephede elde edilen ortalama aydınlık düzeyi 24 lm/m² olup, ışıklılık düzeyi 2.53 cd/m² ile 18.9 cd/m² arasında değişmektedir. Aygıtların cephe yüzeyine çok yakın olduğu durumlarda ışıklılık 23 cd/m² dir. Bu değerler standartlara uygunluk göstermektedir.



Şekil 5. Senaryo 1- Ön cephe simülasyon görseli.



Şekil 6. Senaryo 1- simülasyon görseli.

3.2. Senaryo 2

İkinci senaryo konseptinde, birinci senaryodan farklı olarak yapının dış kabuğundaki kolonlar karanlık bırakılmış ve yapı kabuğundaki pencere yüzeyleri aydınlatılarak yapı iç kütlesinin ortaya çıkması amaçlanmıştır (Şekil 7-8). İç kabuktaki parlak yüzeyli pencerelerin belli bir saatten sonra hacim içinden kullanılması öngörülen perdeler ile opak bir yüzeye dönüşeceği kabul edilmiştir. Girişin bulunduğu ön cephedeki opak yüzeylerin, saçak tavan yüzeyinin ve tonoz aydınlatması için Senaryo 1 deki aygıtlar, aynı konumda kullanılmıştır. Aydınlatma tekniği olarak uzaktan aydınlatma, yakından aydınlatma-duvar sıyırma ve vurgu aydınlatması gibi tekniklerden yararlanılmıştır. Bu bağlamda,

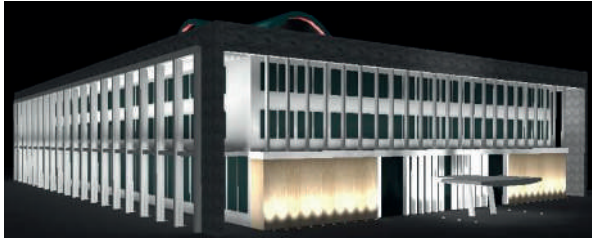
- Giriş saçığı tavanı, zemine gömülü asimetrik ışık dağılımına sahip noktasal LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Ön cephedeki giriş kapısının yanındaki kolonların ön yüzleri, zemine yerleştirilen noktasal LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Ön cephe giriş katı dış kabuğunun opak yüzeyleri zemine yerleştirilen noktasal geniş açılı LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Ön ve yan cephelerdeki iç kabuğun pencere yüzeyleri dış kabuk kolon önlerinde zemine yerleştirilen gömme noktasal asimetrik LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Tonoz dış yüzeyinin geometrik formu, köşelere yerleştirilen geniş açılı LED projektörler ile aydınlatılarak vurgulanmıştır.
- Tonozdaki pencereler, iç yüzey alt kotuna yerleştirilen noktasal LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.

Aydınlatma hesap sonuçlarına göre binanın ön cephesinin ortalama düşey aydınlık düzeyi 8.74 lm/m² dir. Ön cephedeki ışıklılık değerleri cephe genelinde 0.2 cd/m² ile 5.14c d/m² arasında değişmektedir. Yan cephede elde edilen ortalama aydınlık düzeyi 5.3 lm/m² olup, ışıklılık 0.2 cd/m² ile 5.14 cd/m² arasında değişmektedir. Aygıtların cephe yüzeyine çok

yakın olduğu durumlarda ışıklılık 18 cd/m^2 yi geçmemektedir. Sonuçlar standartlarda belirtilen değerleri sağlamaktadır.



Şekil 7. Senaryo 2- Ön cephe simülasyon görseli. ✓



Şekil 8. Senaryo 2- simülasyon görseli. ✓

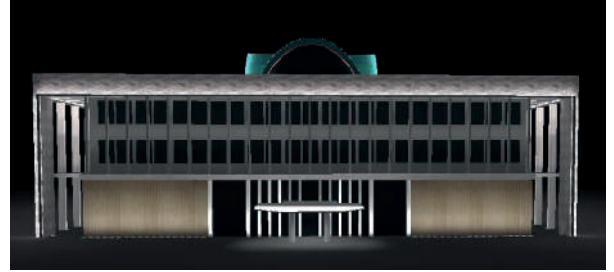
3.3. Senaryo 3

Üçüncü senaryoda konsept olarak vurgulanacak öğeler dış kabuğun ön ve yan cephelerdeki kolonları bağlayan çerçeve, giriş cephesindeki sağır duvarlar ve birinci kat arkadının tavanındaki nervürler seçilmiştir. Yapı kütesindeki pencerele düşey yüzeyler karanlıkta bırakılarak dış kabuk ve kütesel formunun, ön ve yan cephelerdeki çerçeve üzerinde oluşturulan özel detay ile kontur olarak ortaya çıkartılması amaçlanmıştır (Şekil 9-10). Giriş saçağı ve tonozun da benzer şekilde kontur olarak dış hatları ile görülmesi sağlanmıştır. Bu bağlamda,

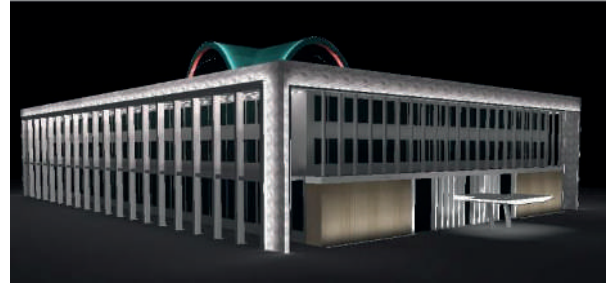
- Giriş saçağı altındaki döşeme, saçak tavanına yerleştirilen dolaysız aydınlatma yapan noktasal LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Giriş saçağı altına özel detayla yerleştirilen doğrusal LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Ön cephedeki giriş kapısının yanındaki kolonların ön yüzleri, zemine yerleştirilen noktasal LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Ön cephe giriş katı dış kabuğunun opak yüzeyleri zemine yerleştirilen doğrusal LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Ön ve yan cephelerde giriş katı arkat tavanları kolon önlerinde zemine yerleştirilen gömme noktasal ve eliptik lensli LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Ön ve yan cephelerde birinci kat arkat tavanı, nervürlere yerleştirilen doğrusal LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Ön ve yan cephelerdeki kolonları bağlayan çerçeveler özel detayla yerleştirilen doğrusal LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Tonoz dış yüzeyinin geometrik formu, kenarlara yerleştirilen lineer LED ışık banları ile aydınlatılarak vurgulanmıştır.
- Tonoz pencerelerinin bulunduğu iç yüzey, pencere alt kotuna yerleştirilen noktasal LED li aygıtlar ile aydınlatılmıştır.

Hesap sonuçlarına göre binanın ön cephesinde elde edilen ortalama aydınlık düzeyi 21 lm/m^2 , ışıklılık 0.5 cd/m^2 ile 8.9 cd/m^2 arasında değişmektedir. Yan cephede elde edilen

ortalama aydınlık düzeyi 5.2 lm/m^2 olup ışıklılık 0.2 cd/m^2 ile 6.8 cd/m^2 arasındadır. Aygıtların cephe yüzeyine yakın olduğu durumlarda maksimum ışıklılık 18 cd/m^2 yi geçmemektedir. Sonuçlar standartlarda belirtilen değerleri sağlamaktadır.



Şekil 9. Senaryo 3- Ön cephe simülasyon görseli.



Şekil 10. Senaryo 3- simülasyon görseli.

3.4. Senaryo 4

Cephe aydınlatması için önerilen dördüncü senaryonun ana konsepti 3.1. Bölümde verilen 1. Senaryoda olduğu gibi yapı iç kabuğundaki pencerele düşey yüzeyler karanlıkta bırakılarak, dış kabuk elemanları (kolonlar) ile dış ve iç kabuğu bağlayan arkat tavanlarının aydınlatılarak öne çıkarılması olarak kurgulanmıştır. Ayrıca, girişin bulunduğu ön cephedeki opak yüzeyler, saçak altındaki döşeme ve çatıdaki tonoz bölümleri de aydınlatılmıştır (Şekil 11-12). Ancak, 1. Senaryodaki LED li aygıt yerleşimine bağlı kalınarak bu alternatifte metalik halojenürlü (metal halide) ve flüoresan lambalı aygıtlar kullanılmıştır. Dördüncü senaryodaki lambalar özelliklerinden dolayı senaryo 1 de kullanılanlara oranla daha güçlüdür. Bu nedenle yan cephelerde yüzey üzerinde oluşacak yüksek ışıklılığı önlemek adına senaryo 1' de önerilen kolon üst kotundaki aygıtlar iptal edilmiştir. Bu öneride de uzaktan aydınlatma, yakından aydınlatma-duvar sıyırma ve vurgu aydınlatması gibi teknikler kullanılmıştır. Bu bağlamda,

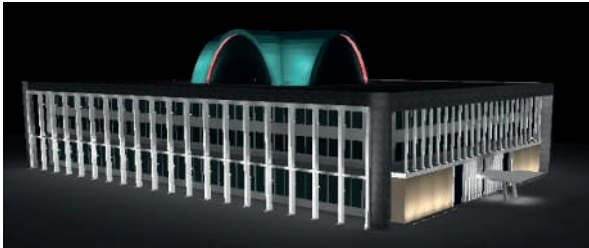
- Giriş saçağı altındaki döşeme, saçak tavanına yerleştirilen dolaysız aydınlatma yapan noktasal metalik halojenürlü aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Ön cephedeki giriş kapısının yanındaki kolonların ön yüzleri, zemine yerleştirilen noktasal metalik halojenürlü aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Ön cephe giriş katı dış kabuğunun opak yüzeyleri zemine yerleştirilen doğrusal flüoresan lambalı aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Ön cephenin birinci katındaki kolonların ön yüzleri, kolonların alt kotlarına yerleştirilen siva üstü noktasal metalik halojenürlü aygıtlar ile aydınlatılmıştır.

- Ön ve yan cephelerdeki tüm arkat tavanları dış kabuk kolonlarına belirli kotlara yerleştirilen sıva üstü noktasal metalik halojenürlü aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Yan cephelerin giriş ve birinci katında dış kabuk kolonlarının ön yüzleri zemine yerleştirilen noktasal metalik halojenürlü aygıtlar ile aydınlatılmıştır.
- Tonoz dış yüzünün geometrik formu, köşelere yerleştirilen metalik halojenürlü projektörler ile aydınlatılarak vurgulanmıştır.
- Tonoz iç yüzünün geometrik formu, pencere önüne yerleştirilen metalik halojenürlü armatürler ile aydınlatılarak vurgulanmıştır.

Aydınlatma hesap sonuçlarına göre binanın ön cephesinin ortalama düşey aydınlık düzeyi 24 lm/m^2 dir. Ön cephedeki ışıklılık değerleri cephe genelinde 1.2 cd/m^2 ile 39 cd/m^2 arasında değişmektedir. Yan cephede elde edilen ortalama aydınlık düzeyi 22 lm/m^2 olup, ışıklılık düzeyi 1.9 cd/m^2 ile 52.4 cd/m^2 arasında değişmektedir. Aygıtların cephe yüzüne çok yakın olduğu durumlarda ışıklılık ön cephede 100 cd/m^2 , yan cephelerde 60 cd/m^2 dolaylarında olup standartlarda belirtilen değerler aşılmaktadır.



Şekil 11. Senaryo 4- Ön cephe simülasyon görseli.



Şekil 12. Senaryo 4- simülasyon görseli.

4. Senaryolarda Enerji Kullanımı ve Sonuç

Çalışma kapsamında ele alınan binanın cephe aydınlatmasına yönelik benzer aydınlatma teknikleri ile dört senaryo oluşturulmuştur. Birinci ve dördüncü senaryoların konsepti aynı olup yapı kütleindeki pencereli düşey yüzeyler karanlık, dış kabuk elemanları (kolonlar) ile dış ve iç kabuğu bağlayan arkat tavanları aydınlık olacak biçimde kurgulanmıştır. 1. ve 4. senaryolarda farklı güç ve özellikteki ışık kaynaklı aygıtlar kullanılmıştır. İkinci senaryonun konseptinde yapının dış kabuğundaki kolonlar karanlık, pencereli düşey yüzeyler aydınlatılarak yapının kütlelerinin ortaya çıkması amaçlanmıştır. Üçüncü senaryonun konsepti ise dış kabuğun ön ve yan cephelerdeki kolonları bağlayan çerçevenin aydınlık kılınarak kütlelerin karanlıkta bırakılması ilkesindedir. 1, 2 ve 3. Senaryolarda LED li aygıtlar, 4. Senaryoda ise metalik

halojenürlü (metal halide), flüoresan lambalı ve LED li aygıtlar kullanılmıştır. Aydınlatma tasarım senaryolarında kullanılan aygıtların konum ve türleri Tablo 1, teknik özellik ve enerji kullanım durumları Tablo 2 de sunulmuştur.

Tablo 1 de verilerine göre enerji tüketimi bakımından LED ışık kaynaklı olan Senaryo 2 en düşük, Senaryo 3 en yüksek değerdedir. Senaryo 2 yi sırasıyla 1. ve 3. Senaryolar izlemektedir. Metalik halojenür ve flüoresan lambalı olan Senaryo 4 te tüketilen toplam enerji, 1. ve 2. Senaryolardan fazladır. Senaryo 3 ün aydınlatma konseptinde yapının kütlelerinin çerçevesini ortaya çıkarmak için kullanılan lineer LED aygıt uzunluğunun fazla olması, harcanan enerjiyi de arttırmıştır.

Günümüzde her alanda olduğu gibi aydınlatma alanında kullanılabilecek yapay ışık kaynaklarındaki teknolojik ilerlemeler tasarımcılara yeni ufuklar açmış ve neredeyse sayısız aydınlatma konsepti ve senaryosu oluşturmalarını olanaklı kılmıştır. Bu çalışmada, yapı yüzü aydınlatması için yeni nesil ışık kaynağı olarak adlandırılan LED'li aygıtlar ile üç, metalik halojenür ve flüoresan lambalı aygıtlar ile bir adet, aydınlatma tasarımı örnekleme yapılmıştır. Değişik aydınlatma teknikleri kullanılarak yapılan tasarımlar doğal olarak enerji kullanımı bakımından da ayrımlar göstermektedir. Bununla birlikte aynı aydınlatma tekniği özelliğinde ancak ışık kaynağı türleri farklı olan Senaryo 1 ve Senaryo 4 karşılaştırıldığında, LED li aygıtların kullanıldığı Senaryo 1 nin enerji kullanımı bakımından daha olumlu olduğu ortaya konmuştur. Çalışmada sunulan bu örneklemede olduğu gibi yapı yüzü aydınlatması yapılırken birden fazla aydınlatma seçeneğinin oluşturulmalıdır. Yapının mimari özelliklerini ortaya koyacak, aynı görsel izlenimi yaratacak seçeneklerin enerji kullanımı bakımından da değerlendirilmesi verimlilik açısından gereklidir.

Tablo 1. Yapı yüzü aydınlatması senaryolarında kullanılan aygıtların konum ve türleri.

		Senaryo 1 (LED)	Senaryo 2 (LED)	Senaryo 3 (LED)	Senaryo 4 (MTH; FL)
Ön cephe	Giriş saçağı	Saçak altından,	Saçak altı zeminden	Saçak altı zeminden	Saçak altından
	Giriş kapısı yanı kolonlar	Önden zeminden	Önden zeminden	Önden zeminden	Önden zeminden
	Opak dış yapı kabağı	Önden zeminden	Önden zeminden	Önden zeminden	Önden zeminden
	Dış kabuk kolonları	Kolon zemin ve üst kotu önden	Karanlık	Karanlık	Kolon zemin ve üst kotu önden
Yan cephe	Birinci kat	Karanlık	AYDINLIK	Karanlık	Karanlık
	Kütle pencere/düşey yüzeyi	Kolonlardan aplik	Karanlık	Kolon zemin kotu	Kolonlardan aplik
	Dış ve iç kabuk arası Arkad tavanı	Kolon zemin kotu önden	Karanlık	Karanlık	Kolon zemin kotu önden
	Dış kabuk kolonları	Karanlık	AYDINLIK	Karanlık	Karanlık
Tonoz	Giriş katı	Kolonlardan aplik	Karanlık	Kolon zemin kotu	Kolonlardan aplik
	Kütle pencere/düşey yüzeyi	Kolon üst kotu önden	Karanlık	Karanlık	Kolon zemin kotu önden
	Dış ve iç kabuk arası Arkad tavanı	Kolonlardan aplik	Karanlık	Kolon zemin kotu	Kolonlardan aplik
	Dış kabuk kolonları	Kolon üst kotu önden	Karanlık	Karanlık	Kolon zemin kotu önden
Tonoz pencereleri	Tonoz dışı	Karanlık	AYDINLIK	Karanlık	Karanlık
	Tonoz pencereleri	Kolonlardan aplik	Karanlık	Nervür aydınlatması	Kolonlardan aplik

Tablo 2. Yapı yüzü aydınlatması senaryolarında kullanılan aygıtların teknik özellik ve enerji tüketimi.

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4
Işık kaynağı	LED	LED	LED	MTH; FL
Sayı	269	141	874,8m/91ad	169
Işık akısı (lm)	817-1945	423-1945	360-1070	1700-6600
Toplam ışık akısı (lm)	291311	171195	797599	689400
Güç (W)	12-41	8-41	6-28	20-70
Toplam güç (W)	6074	3700	14833	7395

5. Kaynaklar

1. Şerefhanoglu M., “Kentsel Tasarımda Aydınlatmanın Rolü”, *1. Kentsel tasarım ve Uygulamaları Sempozyumu, Mimar Sinan Üniversitesi*, 1991, 23-24.
2. Ünver, R. “Kentler, Işık ve Enerji Verimliliği”, *ATMK 10. Ulusal Aydınlatma Kongresi 2015*, 33-36.
3. Commission Internationale de L’éclairage, *Guide for Floodlighting*. CIE Publication No. 094-1993, Vienna 1993.
4. Commission Internationale de L’éclairage, *Guide to the Lighting of Urban Areas*, CIE Publication No. 136-2000, Vienna, 2000.
5. Illuminating Engineering Society, *IESNA The Lighting Handbook*, 10th Edition, , USA, 2011.
6. Illuminating Engineering Society, *Lighting for Exterior Environments*, IES Publication No. RP-33-14, USA, 2014.
7. Öztürk, L.D, Gün, S.Ç., “Yapı Yüzü Aydınlatma Teknikleri ve Uygulama Örnekleri”, *VIII. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, 2015, 28-32.
8. Ünver, R., (2017). Sürdürülebilir İstanbul Kentsel Tasarım Rehberi, Aydınlatma, , ISBN 978-605-9607-07-3, İBB, 2017, İstanbul, 185-227.
9. İstanbul Belediye Sarayı, www.ibb.istanbul, Erişim: 15 Temmuz 2017
10. TSE, *TS EN 12464-2, Light and lighting - Lighting of work places. Part 2: Outdoor Work Places*, 2011.



EEMKON 2017

16-18 KASIM 2017
Harbiye Askeri Müze Kültür Sitesi

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ



MÜHENDİSLİK EĞİTİMİ SEMPOZYUMU BİLDİRİLERİ

Mühendislik Eğitimi Sorunlarına Yerel Bir Bakış

Rafet AKDENİZ

Namık Kemal Üniversitesi
Çorlu Mühendislik Fakültesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
59860 Çorlu – Tekirdağ
e-posta: rakdeniz@nku.edu.tr

Özet

YÖK (Yükseköğretim Kurulu) 2015 yılında meslek icrasına yönelik programlarda “başarı sırasına göre sınırlama” uygulaması başlatmıştır. Bu çalışmada, Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü örnek alınarak ÖSYS başarı sırası ile öğrencilerin temel dersler için başarı oranları karşılaştırılmış ve başarı sırasına göre sınırlamanın yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır.

Abstract

In 2015, The Higher Education Council (Yükseköğretim Kurulu-YÖK) has started "The Application of The Restriction in Rank of Success in Programs for the Professional Execution". In this study, by taking Namık Kemal University, Çorlu Engineering Faculty, Department of Electronics and Telecommunication Engineering as an example, the success rate of the students for the basic courses are compared with the success rank of these students in the ÖSYS and it is concluded that the current method is not adequate for achieving the desired outcomes.

1. Giriş

Üretim merkezli toplumdan, bilgi merkezli topluma geçiş; yeni üretim sistemlerinin sorgulanmasını gerekli kılmaktadır. Burada ortaya çıkan temel sorun, değişim kararlarının alınmasında ve dönüşümün ortaya çıkardığı sorunların çözümünde sosyal tarafların görüşlerinin ne derece dikkate alınacağıdır. Eğitimin gelecek için bir yatırım olduğu herkesin bildiği bir olgudur. Değişimin desteklenmesi, sürekliliği ve başarısı için; ekonomik ve sosyal değişim, yaratıcı, özgür ve tabulardan uzak düşünebilen, dünyayı algılayabilen genç kuşaklar tarafından gerçekleştirilecektir. Bu ise ancak çağdaş bir üniversite eğitimi ile olur [1]. Üniversite eğitiminde ise bir ülkenin kalkınmasında en büyük katma değeri yaratan mühendislik eğitimi özel bir yer tutar.

Mühendislik; Doğa kaynaklarının insanlığın kullanımına en uygun biçimde dönüştürülmesi için bilimin uygulanması diye tanımlanır [2], bir başka deyişle bilimsel ve matematiksel ilkelerden yararlanarak teknolojiyi insanoğlu yararına uygulamaktır. Mühendisin işini yapabilmesi için belirli

kuramsal ve uygulama bilgisine sahip olması gerekir, kuramsal bilginin temeli ise fen ve matematik bilgisiyle doğrudan ilişkilidir.

2. Bir Örnek NKU Çorlu Müh. Fak. EHMB

Tablo 1’de Namık Kemal Üniversitesi (NKU), Çorlu Mühendislik Fakültesi (ÇMF), Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü (EHMB) örgün ve ikinci öğretim programlarına yerleştirilen öğrencilerin 2016 yılı YGS/LYS net sayılarını göstermektedir [3], bu tablonun öğrencinin eğitimi boyunca alacağı kuramsal temel derslere olumsuz olarak yansımaları kaçınılmazdır.

2015 yılında “Yeni YÖK” yükseköğretim sisteminde eğitim-öğretim süreçlerinin niteliğinin artırılmasına yönelik konuyla ilgili paydaşların da görüşlerini alarak bir dizi düzenleme gerçekleştirmiştir. Bu kapsamda özellikle meslek icrasına yönelik programlarda “başarı sırasına göre sınırlama” uygulaması başlatılmıştır. Bu kapsamda ilk olarak Tıp’ta 40 bin, Hukuk’ta ise 150 bin başarı sırası sınırı belirlenmiş ve 2015 ÖSYS’de uygulanmıştır. Aynı amaca yönelik olarak Mühendislik alanındaki programlar içinde bu alanın en önemli paydaşı olan Mühendislik Dekanları ile toplantılar gerçekleştirilmiş ve kendilerinden gelen görüşler, tıp ve hukuk alanları için yapılan düzenlemenin mühendislik alanı için de uygulanması yönünde olmuştur. Bu kapsamda Mühendislik alanında 240 bin başarı sırası sınırı belirlenmiştir [4].

Tablo 1. NKU Çorlu Müh. Fak. EHMB örgün ve ikinci öğretime yerleşen öğrencilerin 2016 YGS/LYS’de yanıtladıkları net soru Sayıları.

Soru Türü	Net Sayısı	
	Örgün Öğretim	İkinci Öğretim
YGS Türkçe (40 soruda)	24,8	23,2
YGS Sosyal Bilimler (40 soruda)	6,8	7,9
YGS Matematik (40 soruda)	22,5	19,5
YGS Fen Bilimleri (40 soruda)	18,7	13,9
LYS-1 Matematik (50 soruda)	16,9	11,7
LYS-1 Geometri (30 soruda)	7,7	4,3
LYS-2 Fizik (30 soruda)	5,5	4,1
LYS-2 Kimya (30 soruda)	12,6	8
LYS-2 Biyoloji (30 soruda)	8,2	5,4

Tablo 2. Yıllara göre NKU Çorlu Müh. Fak. EHMB Taban Puanları ve Sıralaması.

		2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008
TABAN PUANI	ÖRGÜN	273,833	288,827	304,45	319,613	359,064	409,009	426,971	315,5 (SAY 2)	317,417 (SAY 2)
	İÖ	245,933	266,425	273,31	283,402	336,738	384,917	402,853	308,338 (SAY 2)	
SIRALAMA	ÖRGÜN	175.000	107.000	90.000	77.600	63.000	48.200	54.400	39.900	27.000
	İÖ	226.000	143.000	126.000	93.700	80.200	64.700	64.600		

Tablo 3. Yıllara göre NKU Çorlu Müh. Fak. Örgün ve ikinci öğretim (İÖ) EHMB öğrencilerinin bazı mesleki kuramsal ders başarı oranları.

D. KODU	DERS ADI	SINIF	2008-09		2009-10		2010-11		2011-12		2012-13		2013-14		2014-15		2015 - 16	
			ÖRGÜN	İÖ	ÖRGÜN	İÖ	ÖRGÜN	İÖ	ÖRGÜN	İÖ	ÖRGÜN	İÖ	ÖRGÜN	İÖ	ÖRGÜN	İÖ	ÖRGÜN	İÖ
EHMB101	Elektronik Mühendisliğine Giriş	1. Sınıf	71%	88%	79%	82%	76%	70%	75%	63%	56%	64%	75%	84%	81%	71%	77%	
FZK107	Fizik I	1. Sınıf	68%	80%	79%	76%	85%	74%	31%	73%	61%	55%	38%	45%	15%	11%	8%	
KMY004	Genel Kimya	1. Sınıf	84%	87%	86%	87%	98%	95%	83%	72%	54%	47%	43%	48%	36%	53%	38%	
LIC001	Lineer Cebir	1. Sınıf	90%	93%	96%	82%	100%	75%	92%	68%	73%	67%	80%	65%	41%	61%	64%	
MAT113	Matematik I	1. Sınıf	65%	94%	96%	92%	95%	67%	75%	59%	89%	81%	80%	52%	58%	49%	33%	
TBT001	Temel Bilgi Teknolojileri Kullanımı	1. Sınıf	90%	86%	89%	91%	79%	83%	52%	65%	59%	71%	66%	56%	79%	73%	81%	
EHMB106	Bilgisayar Programlama	1. Sınıf	48%	87%	86%	72%	34%	57%	32%	97%	94%	38%	21%	35%	47%	31%	31%	
FZK108	Fizik II	1. Sınıf	90%	88%	54%	85%	55%	86%	49%	81%	57%	51%	22%	3%	14%	13%	22%	
MAT114	Matematik II	1. Sınıf	74%	97%	93%	93%	90%	87%	68%	76%	70%	68%	77%	13%	3%	59%	47%	
EHMB102	Elektrik Devre Temelleri	1. Sınıf	87%	65%	57%	70%	61%	94%	54%	56%	37%	29%	26%	24%	28%	13%	15%	
EHMB207	Sayısal Tasarım	2. Sınıf		97%		28%	60%	64%	52%	100%	57%	62%	48%	60%	50%	22%	39%	
EHMB209	Devre ve Sistem Analizi	2. Sınıf		90%		72%	71%	77%	75%	75%	68%	66%	41%	56%	52%	45%	45%	
MAT202	Diferansiyel Denklemler	2. Sınıf		87%		86%	33%	82%	70%	75%	54%	65%	74%	35%	13%	32%	33%	
SYA002	Sayısal Analiz	2. Sınıf		97%		89%	90%	50%	26%	72%	61%	93%	94%	39%	29%	24%	31%	
EHMB202	İşaret ve Sistemler	2. Sınıf		39%		42%	19%	60%	35%	50%	37%	25%	28%	42%	41%	48%	64%	
EHMB206	Elektromagnetik Alan Teorisi	2. Sınıf		97%		61%	53%	100%	85%	65%	78%	53%	57%	58%	53%	27%	30%	
EHMB208	Temel Elektronik Devreler	2. Sınıf		86%		77%	65%	93%	55%	51%	54%	43%	32%	36%	31%	24%	12%	
EHMB301	Analog Haberleşme	3. Sınıf				71%		76%	65%	100%	75%	48%	52%	41%	38%	42%	39%	
EHMB303	Elektronik Devreler	3. Sınıf				96%		63%	68%	38%	38%	31%	41%	55%	53%	59%	53%	
EHMB305	Mikro Dalga	3. Sınıf				93%		75%	81%	67%	97%	50%	82%	74%	81%	76%	85%	
EHMS 323	Elektromanyetik Dalga Teorisi	3. Sınıf				93%		91%	100%	90%	94%	83%	87%	48%	57%	84%	71%	
EHMB302	Sayısal Haberleşme	3. Sınıf				93%		100%	100%	90%	91%	60%	85%	55%	28%	52%	48%	
EHMB 306	Sayısal İşaret İşleme	3. Sınıf				79%		67%	94%	84%	70%	30%	49%	56%	51%	56%	43%	
EHMS312	Anten ve Propagasyon	3. Sınıf				90%		96%	100%	78%	97%	67%	92%	68%	67%	87%	85%	
EHMS314	Haberleşme Teorisi	3. Sınıf				72%		69%	74%	53%	68%	68%	76%	84%	81%	69%	70%	
EHMB304	Otomatik Kontrol Sistemleri	3. Sınıf								95%	90%	35%	98%	40%	50%	45%	48%	
EHMB405	Mobil Haberleşme Sistemleri I	4. Sınıf								100%	100%	86%	83%	63%	92%	73%	65%	

NKU Çorlu Müh. Fak. EHMB 2008 yılında 27,000. sıradan 2016 yılında ise 226,000. sıradan öğrenci almıştır. 2008-2016 yılları arası LYS Taban Puanları ve Sıralaması Tablo 2’de verilmiştir. Bu tablodan görüleceği üzere 2008 yılında 27,000. sıradan öğrenci alan EHMB 2016 yılında 226,000. sıradan öğrenci almıştır. Bu bölüme yerleşen öğrencilerin başarı sırası mühendislik için üst sınır olan 240,000’e yaklaşmıştır.

Tablo 2’de verilen EHMB Taban Puanları ve Sıralaması ile Tablo 3’te verilen öğrencilerin yıllara göre temel kuramsal derslerdeki başarı oranlarının oldukça örtüştüğü görülmektedir. Örneğin; örgün öğretim Fizik I dersinden 2008 girişli öğrencilerin ders geçme başarı oranı % 68 iken, aynı dersin başarı oranı 2015 girişli öğrencilerde % 11’e, Diferansiyel Denklemler dersinden ise % 87’den % 32’ye düşmüştür. Bu oran anılan tarihler için temel mesleki dersler için de geçerlidir Tablo 3’den görülebileceği gibi; Elektrik Devre Temelleri % 65’den % 13’e, Sayısal Tasarım % 97’den % 22’ye, Temel Elektronik Devreler % 86’dan % 24’e, Otomatik Kontrol Sistemleri için ise % 95’ten % 45’e düşmüştür. Her ne kadar bazı derslerde bazı yıllar için ikinci öğretim başarı oranı yüksek gözükse de çoğunluk dersler için ders geçme oranının örgün eğitimden daha düşük olduğu Tablo 3’de görülmektedir.

Ders başarı oranlarının düşmesi, her ne kadar öğrencinin daha önce dersten devam alması koşuluyla dersi takip etme zorunluluğu olmasa da sınıf öğrenci sayılarını oldukça artırmıştır. Örneğin bölüm öğrenci kontenjanı 55 olmasına rağmen birçok derste ders kaydı yaptıran öğrenci sayısı 350’yi aşmaktadır, bu kadar öğrencinin ders alabilmesi için mühendislik eğitimi için sınıf öğrenci sayısının 25-30 olması gerçeğinin çok üzerindedir. EHMB’de tam zamanlı 2 profesör, 1 doçent (yardımcı doçent kadrosunda), 2 yardımcı doçent ve 3 araştırma görevlisi çalışmaktadır, Lisans eğitiminde örgün öğretimde 300, ikinci öğretimde 281 ve yüksek lisans programında ise 31 öğrenci vardır, öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısı 116’dır. Öğretim üyesinin yetersiz olması nedeniyle yeni şubeler açılmamakta ve mühendislik eğitiminde derslerin yürütülmesini oldukça zorlaştırmıştır.

3. Sonuç

“Başarı sırasına göre sınırlama” uygulaması olumlu olarak değerlendirilse de mühendislik için 240,000 sınırı çok düşük bir sınır değerdir. Çok kısa bir süre içinde bu sınır başlangıçta 100,000 sınırına çekilmeli ve farklı mühendislik disiplinleri için farklı sınırlamalar getirilmelidir.

EMO (Elektrik Mühendisleri Odası) 2016 Yılı Mühendislik İstihdamı ve Mesleki Alan Araştırmasına göre, Elektrik, Elektronik, Elektrik-Elektronik, Telekomünikasyon ve Biyomedikal Mühendislerinde İşsizlik Oranı % 18.7'ye turmandığı belirtilmiş olup, bunun nedeni ve çözümü konusunda kamuoyuna açıklama yapmıştır [5].

EMO'nun bu konudaki tespitleri [5];

- Ülkemizin teknolojik gelişimin çok gerisinde kalması.
- Ülkemizin üretici değil pazar olması.
- Artan genç nüfusa iş yaratamayan ekonomik gelişim modelinin tercih edilmesi.
- Artan mühendis mezun sayısı.
- Özelleştirme ve piyasalaştırma sürecinin elektrik ve telekomünikasyon alanında mühendis istihdamını olumsuz etkilemesi; özellikle genç mühendislerin işsiz kalmasına neden olmaktadır.
- DPT'nin kapatılmasıyla birlikte planlama çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen istihdam öngörülerini dahi artık yapılmamaktadır.
- Gençler mühendislik fakültelerine büyük umutlarla kayıt olmaya devam etmekte, mezuniyet sonrası ise işsizlik açmazına düşmektedir.

EMO'nun bu konudaki çözüm önerileri ise [5];

- Ülkemizin teknolojik gelişiminin önünün açılması için bilim ve aklın öncülüğünde stratejik planlamalar yapılması ve politikalar üretilmesine ihtiyaç vardır.
- Elektrik, elektronik, telekomünikasyon, biyomedikal gibi mühendislik alanlarında acilen eğitim ve istihdam planlaması yapılmalıdır.

Yukarıdaki tespit ve çözüm önerileri tamamen doğru olup bunlara aşağıdaki çözümlerin eklenmesi gerekir.

- Sorunların başında, üniversitelerin finansmanı gelmektedir. Genel bütçenin yanında orta öğretime katkı payı gibi bir yükseköğretim katkı payı fonu oluşturulmalıdır [6].
- Genel bütçeden üniversitelere ayrılan pay arttırılmalıdır. Üniversite, fakülte, yüksekokul ve öğrenci sayıları her yıl sürekli olarak artmasına karşın, yükseköğretime ayrılan ödeneklerde devamlı oransal olarak azalma görülmektedir. Örneğin, 1993 yılında GSMH'nin % 0,90'ı, bütçenin ise % 4,1'i yükseköğretime ayrılırken, 1999 yılında GSMH'nin % 0,84'ü, bütçenin ise % 2,8'i yükseköğretime ayrılabilmiştir. 2000 Mali Yılı Bütçe Kanununda GSMH'nin % 0,80'i, bütçenin ise % 2,2'si yükseköğretime ayrılmıştır. [7]. Bir önceki yıla oranla %15,9 artışla 2016 yılında GSMH'nin % 1,05'i, bütçenin ise % 4,6'sı yükseköğretime ayrılmasına rağmen bu oran hala yetersizdir [8].
- Gerekli altyapı-laboratuvar yatırımı yapılmadan ve yeterli öğretim üyesi olmadan bölüm açılmamalıdır.
- Altyapı yatırımları için bu bölümlere ayrıcalık tanınmalı ve güncel teknolojiler için altyapı belirli süreler için yenilenmeli.

- Devlet üniversitelerinde toplam 6,137,014 öğrenci içinde, Lisans programları örgün öğretimde, 1,290,760 ikinci öğretimde ise 420,705 kayıtlı öğrenci bulunmaktadır. Toplam 1,711,465 öğrenciye karşın 21,834 profesör, 14,481 doçent ve 31,130 yardımcı doçent olmak üzere toplam 68,445 öğretim üyesi ayrıca 43,352 araştırma görevlisi ile eğitim öğretim sürdürülmektedir [9]. Bu rakamlarla öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısı nicel olarak 25 olsa bile, disiplinler arası dengesiz dağılım mühendislik fakültelerinin aleyhine bir durumdur, mühendislik fakültelerinde de öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısı bu orana bir an önce düşürülmeli.
- YÖK değişik yıllarda öğretim üyesi yetiştirme programı uygulasa da öğretim üyesi açığını kapatmak oldukça uzun bir süreyi alacaktır. Düşük ücret politikası nedeniyle öğretim üyeliği cazibesini kaybetmiştir, yetenekli ve başarılı gençler için akademik yaşam çekici hale getirilmelidir.
- Yükseköğretimde sürdürülebilir bir büyümenin yakalanabilmesinin kritik koşulu, yükseköğretim arzını sağlayan yükseköğretim kurumlarının öğretim üyesi sayılarının artırılmasıdır. Son yıllarda hem öğretim üyesi hem de doktora mezun sayılarında önemli artışlar olmasına rağmen iki önemli sorunla karşılaşmaktadır: Birincisi öğretim elemanlarının büyük illerde yoğunlaşmasıdır. Bu durum, program, bölüm ve fakülte temelli öğretim elemanı dağılımlarında dengesizliklere yol açmakta, ortaya çıkan dengesizlikler hem eğitimin kalitesini olumsuz etkilemekte hem de aşırı ders yükü altındaki öğretim üyelerinin araştırma kapasitelerini düşürmektedir. İkinci olarak öğretim üyelerinin program, bölüm ve fakülte temelli dağılımlarında da dengesizlikler söz konusudur [10].
- Elektrik, Elektronik, Elektrik-Elektronik, Haberleşme ve Biyomedikal Mühendislikleri için başarı sırasına göre sınırlamanın üst sınırı 50,000 olmalıdır.

Yukarıda sıralanan beklentilerin gerçekleşmemesi durumunda, ülke kaynaklarının boşa harcanmasına ve kuramsal fen ve matematik bilgisinden yoksun ülke gençliğinin büyük hayallerle mühendislik meslek seçimi yapıp ama mühendislik temel gerekliliğini yerine getiremeyen işsiz mühendis ordusu yaratmış olacağız.

4. Kaynaklar

- [1] Rafet AKDENİZ, 2001, Devlet üniversitelerimizdeki Temel Sorunlar Üzerine, *Cumhuriyet Bilim Teknik*, Sayı: 739, Sayfa: 17-19.
- [2] EMO EEBB İş Alanları, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar-Biyomedikal, EMO Yayın No:GY/2012/11, ISBN:978-605-01-0324-3.
- [3] <https://yokatlas.yok.gov.tr>, (Erişim Tarihi:10.04.2017)
- [4] YÖK Basın ve Halkla İlişkiler Müşavirliği Duyurusu. (13.12.2015)
- [5] Elektrik Mühendisleri Odası Basın Açıklaması, EMO 2016 Yılı Mühendislik İstihdamı ve Mesleki Alan Araştırması. (27.03.2017)

- [6] R. AKDENİZ, H. AYDIN, “Meslek Yüksekokullarına Sınavsız Geçiş: Sorunlar ve Çözüm Önerileri”, II. Ulusal Meslek Yüksekokulları Sempozyumu, Sayfa:1-6, Ege Üniversitesi, İzmir, 15-17 Ekim 2003.
- [7] YÖK, Türk Yükseköğretiminin Bugünkü Durumu, Mart 2000.
- [8] 2016 Yılı Merkezi Yönetim Bütçe Gerçekleşmeleri ve Beklentiler Raporu. <http://www.bumko.gov.tr/TR,916/merkezi-yonetim-butce-gerceklesmeleri-ve-beklentiler-raporu.html>, (Erişim Tarihi:18.04.2017)
- [9] Yükseköğretim Bilgi Yönetim Sistemi, <https://istatistik.yok.gov.tr>, (Erişim Tarihi:18.04.2017)
- [10] Mahmut ÖZER, Türkiye’de Yükseköğretimde Büyüme ve Öğretim Üyesi Arzı, *Yükseköğretim ve Bilim Dergisi*, Cilt:1, Sayı:1, Sayfa:23-26, 2011, e-ISSN:2146-5967.

