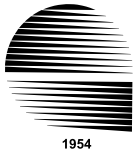
EEMKON 2015

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ

ELEKTRİK VE KONTROL MÜHENDİSLİĞİ SEMPOZYUMU

BİLDİRİLER KİTABI



TMMOB
Elektrik Mühendisleri Odası
İstanbul Şubesi

EEMKON 2015
Elektrik Elektronik Mühendisliği Kongresi
Elektrik ve Kontrol Mühendisliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı

TMMOB
Elektrik Mühendisleri Odası
İstanbul Şubesi
1954

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: GY/2017/678

ISBN: 978-605-01-1015-9

Yayın Tarihi: Nisan 2017 (1000 Adet)

Baskı

Golden Medya Matbaacılık ve Tic. A.Ş.

Adres: 100. Yıl Mah. Mas-Sit 1. Cad. No:88 Bağcılar - İstanbul

Tel: 0212 629 00 24

SEMPOZYUM YÜRÜTME KURULU

Hakkı Kaya Ocakaçan (Başkan)
A. Hamit Serbest
Adnan Kaypmaz
Ahmet Tarık Uzunkaya
B. Levent Akcasu
Belgin Emre Türkay
Berker Özağaç
Beyza Metin
Cemil Kocatepe
Cemil Ünal
Dağıstan Bekiroğlu
Erdal Apaçık
Erdener Ildız
Erhan Denizeri
Erhan Karaçay
Erol Celepsoy
Ersin Kaya
F. Kemal Özoğuz
Fatih Mehmet Nuroğlu
Galip Cansever
Gazi İpek
Hakan Ali Çırpan
Hasan Ece
Hayri Kartopu
Huriye Alacakaptan
Hüseyin Ergun Doğru
M. Galip Demircan
M. Timur Aydemir
Mehmet Bozkırlıoğlu
Mustafa Bulut
Nihal Türüt
Nur Güleç
Özcan Kalenderli
Özcan Özay
Sabri Günaydın
Seda Biçer
Selçuk Esen
Selçuk Paker
Serdar Özoğuz
Suat Kaş
Tanju Akleman
Tarık Öden
Tayfun İşbilen

SEMPOZYUM DÜZENLEME KURULU

Hakkı Kaya Ocakaçan (Başkan)
A. Hamit Serbest
A.Levent Ceylan
A.Turan Aydemir
Abdullah Büyükışıklar
Abdullah Çakmak
Adnan Kaypmaz
Ahmet Altuncu
Ahmet Can Kutlu
Ahmet Çelebi
Ahmet Dervişoğlu
Ahmet Nuri Karaoğlu
Ahmet Tarık Uzunkaya
Ali Akgün
Arif Nacaroğlu
Avni Can Okur
Aydoğan Özdemir
Ayşe Şenay
Ayten Kuntman
Aziz Yücetürk
B. Koray Tunçalp
B.Levent Akçasu
Bahadır Acar
Barış Çoruh
Behice Gül Torun Öztürk
Belgin Emre Türkay
Berker Özağaç
Beyza Metin
Bilgehan Kandil
Birol Arifoğlu
Bora Erserin
Bülent Pala
Bülent Yılmaz
Cem H. Bektaş
Cem Kükey
Cemal Zafer Ergin
Cemil Kocatepe
Cemil Ünal
Cengiz Göltaş
Cüneyt Güzeliş
Çiğdem Işıkyürek
Dağıstan Bekiroğlu
Deniz Ülker
Derya Olpak Kadeş
Devrim Sarı
Dilek Tükel
Duran Leblebici

Emine Ayaz
Emre Ertok
Emre Metin
Ercüment Yıldızerler
Erdal Apaçık
Erdem Çavuşoğlu
Erdem Taylanlı
Erdener Ildız
Ergül Akçakaya
Erhan Denizeri
Erhan Karaçay
Erkan Solmaz
Erol Celepsoy
Ersin Kaya
Ertan Öztürk
Ertuğrul Eriş
F. Mehmet Nuroğlu
Faik Kemal Özoğuz
Faruk Telemcioğlu
Fatih Kaymakçıoğlu
Fatma Zerrin Aşkan
Ferhat Çıra
Fevzi Yıldırım
Figen Özen
Filiz Sarı
Fuat Küçük
Galip Cansever
Gazi İpek
Giyasi Güngör
Gökhan Aydın
Gökhan Serdar Özcanlar
Gökhan Sezer
H. Ali Yiğit
H.İbrahim Okumuş
H.Zeynep Sözmen
Hacer Uğurlu
Hakan Aktay
Hakan Ali Çırpan
Hakan Hocaoğlu
Hakan Kuntman
Halit Pastacı
Hamza Koç
Hasan Dinçer
Hasan Ece
Hasan Zorlu
Hasbi İsmailoğlu
Hasret Genç
Haşim Aydıncak
Hayrettin Köymen
Hilmi Akdoğan
Huriye Alacakaptan
Hüseyin Ergun Doğru
Hüseyin Orman
İbrahim Aksöz
İbrahim Güner
İbrahim Saral
İhsaner Alkım
İlhan Kocaarslan
İlker Ceylan
İlyas Dolaş
İpek Erdoğan
İrfan Dinçay
İrfan Karagöz
İrfan Şenlik
İrfan Tufan
İsa Güngör
İsa İlisu
İsmail Hakkı Altaş
Kemal Leblebicioğlu
Kubilay Çelik
Kubilay Çetiner
Kubilay Eker
Kurthan Gençel
Lütfü Sarıbulut
M. Tahir Güneşer
M. Timur Aydemir
M. Nail Türker
Mahir Ulutaş
Mahmut Galip Demircan
Mehmet Bayrak
Mehmet Bozkırlıoğlu
Mehmet Mak
Mehmet Mazmanoğlu
Mehmet Tahir Özden
Mehmet Turgut
Mehmet Üstündağ
Melis Saltıer Değerli
Mesut Dargut
Metin Gökaşan
Mithat İdemen
Murat Görmemiş
Musa Aydın
Mustafa Akçakaya
Mustafa Bulut
Mustafa Demirören
Mustafa Özyazar
Mustafa Şekkeli
Mustafa Tokhan
Mutlu Güner
Münir Büyükyazıcı
N. Sedat Gülşen
Namık Cibaroğlu
Nazife İlhan
Nejat Tuncay
Nevin Dargut
Nevzat Çeltek
Nihal Türüt
Nur Güleç
Nusret Gerçek
Nüvit Demircan
Ogün Gökpınar
Okan Hakverdi
Onur Koçak
Orhan Örücü
Oruç Bilgiç
Osman Bahadır
Osman Eroğul
Ömer Usta
Özcan Kalenderli
Özcan Özay
Özgür Erçetin
Özgür Gürbüz
Özkan Mucuk
Pınar Hocaoğulları
Remzi Çınar
Rengin Ünver
S. Abdullah Aytekin
Sabri Günaydın
Salman Kurtulan
Seda Biçer
Seda Deniz Acar
Selçuk Esen
Selçuk Paker
Selim Baktir
Selim Şeker
Selim Yetkin
Selma Erat
Semahat Demir
Serap Kırbız
Serdar Özoğuz
Serdar Paker
Serhat Erküçük
Serhat Şeker
Serkan Kılıç
Sermin Onaygil
Seyit Çankaya
Seyit Gazi Bal
Sezer Erkli
Sıddık Yarman
Sıdıka Ödel

Sinan Karamahmut
Sırdaş Karaboğa
Suat Kaş
Sultan Tepe
Şanver Ünsal
Şule Emre
Şükrü Özen
Tanay Sıdkı Uyar
Tanju Akleman
Tarık Öden
Tarık Reyhan
Tayfun Akgül
Tayfun İşbilen
Temel Kayıkçıoğlu
Tuğçe Kartalkanat
Tuğçe Özcan
Tuncay Atman
Uğur Çini
Uğur Töreyin
Uran Tiryakioğlu
Ülker Dağcı
Ümit Berkup
V. Tuncer Özekli
Vasfi Seber
Veysel Baysal
Yağmur Hacıaliefendioğlu
Yakup Yıldız
Yalçın İşler
Yıldırım Söylemez
Yılmaz Gündoğan
Zafer Arabul
Zeliha Aziret

SEMPOZYUMU ÇALIŞMA GRUBU

Dr. Erdener Ildız
Erhan Denizeri
F. Kemal Özoğuz (Sözcü-Raportör)
Prof. Dr. Galip Cansever
Yrd. Doç. Dr. M. Timur Aydemir
Nihal Türüt
Sabri Günaydın

İÇİNDEKİLER

SUNUŞ **1**

ELEKTRİK KONTROL MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU-I

Oturum Başkanı: Prof. Dr. Ömer Usta (İTÜ)..... 4

Üretim Entegrasyonları ve Akıllı Şebekelerin Rolü

H. Basri Çetinkaya (SIEMENS), Mesut EFE (UEDAŞ)..... 4

Endüstriyel Tesislerin Elektrik Sistemlerinde Enerji Sürekliliğinin ve Güvenilirliğinin Sağlanması

Selahattin Küçük, İlyas Çelik, Gökçe Berrin Altınışık, Mustafa Ünaldı (TÜPRAŞ)..... 7

Küçük Ölçekli Bir Rüzgar Türbününün Gerçekleştirilmesi

Prof. Dr. Hasan Dinçer (Beykent Üniv.), Arma Anıl Kersü (İstanbul Kültür Üniv.)..... 19

ELEKTRİK KONTROL MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU-II

Oturum Yöneticisi: Mehmet Mak (EMO)..... 37

Transformatörlerin Sinüzoidal Olmayan Şartlarda Azami Yüklenme Oranı Hesabı

Emrah Arslan, Öğr. Gör. Şevket Cantürk, Yrd. Doç. Dr. Murat Erhan Balcı (Balıkesir Üniv.)..... 38

İki Dağıtım Transformatörünün Kayıplarının Analizi ve Karşılaştırılması

Öznur Doğdu, Niyazi Güçlü, Doç. Dr. Yüksel Oğuz (Afyon Kocatepe Üniv.)..... 48

Elektrik Şebekeleri ve Afet

Yrd. Doç. Dr. Figen Özen (Haliç Üniversitesi)..... 53

Yerel Elektrik Santrallerinin Dağıtım Sistemine Yerleştirilmesinde Duyarlılık İndisinin YAK Algoritmasına Etkisinin İncelenmesi

Arş. Gör. Ayşe Aybike Şeker, Dr. Tubal Gözel, Prof. Dr. Mehmet Hakan Hocaoğlu (Gebze Teknik Üniv.)..... 59

Panel: ENDÜSTRİ 4.0

Panel Yöneticisi: Prof. Dr. Galip Cansever (YTÜ)..... 65

Sedat Sami Ömeroğlu (ENOSAD)..... 66

Mustafa Çelebi (SCHNEIDER ELECTRIC)..... 69

Yaşar Acar (ENOSAD)..... 73

Yrd. Doç Dr. Özgür Tunay Kaymakçı (YTÜ)..... 77

YABANCI ÇAĞRILI OTURUM

Oturum Yöneticisi: Prof. Dr. Galip Cansever (YTÜ)..... 83

Yeni Binalarda Yapısal Kablolama Sistemleri Tasarımı

Paul Cave (BICSI Avrupa Standart Komitesi Başkanı, İngiltere)..... 83

Rekabetçi Ortamda Avrupa Elektrik Tedarikçilerinin İncelenip İrdelenmesi

Dr. Andreas Luxa (T&D Europe-Vice President Industry Policy)..... 84

Eve Kadar Fiber Uygulamalarında Ortak Kablolama Platformu (FTTH)

Marc Van Heck (In Building Fiber Product Segment Leader, CommScope, Belçika)..... 87

Seismic Test and Analysis for 72.5kV GIS (Gas Insulated Switchgear)

Kwang-Jin Ko - Hae-eun Jung - Tae-young Lee - Je-uk Yeon - Hee-sub Ahn Seok-weon Park -Young-geun Kim (EKOSinerji Elektrik)..... 105

Panel: SAVUNMA SANAYİNİN BUGÜNÜ VE GELECEĞİ

Panel Yöneticisi: Dr. Erdener Ildız (EMO) 113
Yalçın Yılmazkaya (KALE) 114
Harun Solmaz (SAVRONİK) 129
Hv. Müh. Yb. Hakan Gürkan (Hava Kuvvetleri) 136

ELEKTRİK KONTROL MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU-III

Oturum Yöneticisi: Doç. Dr. Mehmet Timur Aydemir (Gazi Üniversitesi) 141
Düşük Maliyetli Bir Stewart Platformu Prototipi
Yunus Gençay, M. Atalay Yenibertiz, Prof. Dr. Ahmet Denker (Bilgi Üniversitesi) 142
Modern Elektrik Şebekeleri İçin PTP (IEEE 1588) Zaman Sunucusu
Elşan Kahraman (EKOSinerji Elektrik) 147
Kocaeli'de Yenilenebilir Hibrit Enerji Kaynakları ile Beslenen DC Konutlarda Akıllı Enerji Depolama ve Yönetim Sistemi
Atakan Alkan, Yrd. Doç. Dr. Mehmet Zeki Bilgin (Kocaeli Üniversitesi) 152
Yeni Nesil Uçak Elektroniği ve Modernizasyonu
Dr. Erdener Ildız (EMO) 161
Kaçak Akım Rölelerinin Hatalı Çalışmalarına Etki Eden Faktörlerin Simülasyonla İncelenmesi
Ensar Korkmaz (Gebze Teknik Üniversitesi) 169

ELEKTRİK KONTROL MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU-IV

Oturum Yöneticisi: Prof. Dr. Selim Şeker (Boğaziçi Üniv.) 187
Türkiye'de Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendislik Eğitimi
Prof. Dr. Hasan Dinçer (Beykent Üniversitesi) 188
Aşırı Öğrenme Makinesi ve Derin Boltzmann Makinesi Üzerine Bir İnceleme
Yrd. Doç. Dr. Bahadır Karasulu (Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi) 199
Kurşun-Asit Batarya Şarjı için DA-DA Buck Dönüştürücü Tasarımı ve Gerçeklenmesi
Yrd. Doç. Dr. Şule Kuşdoğan, Büşra Çeçen (Kocaeli Üniversitesi) 207
Simülasyonda Robotlu Uygulama
Senem Tanberk, Kerem İzgöl, Özgür Acar, Yrd. Doç. Dr. Dilek Tükel (Doğuş Üniv) 213

ELEKTRİK KONTROL MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU-V

Oturum Yöneticisi: Prof. Dr. Serdar Özoğuz (İTÜ) 225
Enerji Yatırım ve Verimlilik Projelerinin Sıfır Noktasında Karar Vermeye Dönük Mühendislik Değerlendirme Kriterlerinin İncelenmesi
Dr. Levent Kılıç, Gürhan Dural, Bülent Eren, M. Akif Gül, Hakan Aytuğ (ŞİŞECAM) 226
Yenilenebilir Enerji Üretiminde Gazlaştırma Teknolojisi ile Biyokütle Kullanımı
Mustafa Tolay (TOLAY Enerji), Adre Waterschoot (VARCO Yenilenebilir Enerji)
Luis Sanchez Angrill (EQTEC Iberia) 238
CNC Torna ve İşleme Merkezi Kontrol Sistem Tasarımı
Yrd. Doç Dr. Dilek Tükel, Özgür Acar (Doğuş Üniversitesi) 248
Yük Altında Kademe Değiştirici Transformatörler için Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı Tabanlı Kontrolör Tasarımı
Yrd. Doç. Dr. Kadir Abacı, Öğr. Gör. Zafer Özer (Mersin Üniversitesi) 253

SUNUŞ

Şubemizin, 19-20-21 Kasım 2015 tarihlerinde İstanbul Harbiye Askeri Müze Kültür Sitesi'nde düzenlediği "Elektrik Elektronik Mühendisliği Kongresi" yoğun bir katılımla gerçekleşti.

EEMKON 2015 Kongresi, sadece elektrik mühendislerine değil, elektronik, kontrol ve biyomedikal mühendislerine de yönelik bir dizi etkinliğin gerçekleştiği, üniversitelerin ve meslek alanımızdaki diğer kurum ve kuruluşların desteğini alan başarılı bir çalışma oldu.

Yedi ayrı sempozyumdan oluşan kongreye; TESİD, ENOSAD, İPYD, EMSAD, ETMD, ATMK gibi pek çok sektörel dernek ve kuruluş ile birlikte TSE, BTK, EÜAŞ gibi kamu kuruluşu ve aralarında İTÜ, İstanbul Üniversitesi, Boğaziçi Üniversitesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sabancı Üniversitesi, Işık Üniversitesi, Galatasaray Üniversitesi, Bingöl Üniversitesi, Hacettepe Üniversitesi ve Bilkent Üniversitesi olan 38 üniversite destek verdi. Üç günde 525 delege, 770 öğrenci ve 820 kayıtlı izleyici ve ayrıca sergi ziyaretçileri ve kayıtsız izleyicilerle birlikte 3.000'I aşkın katılımcının izlediği kongrede; 12 panel, 45 oturum düzenlendi ve dokuzu yurtdışından olmak üzere 245 konuşmacı sunum yaptı.

Kongrenin yedi sempozyumundan biri olan Elektrik ve Kontrol Sempozyumu, 26 davetli tarafından, 4'ü yurtdışından, 8 çağrılı bildiri ve 16 hakemli bildirinin sunulduğu 6 oturum ve 20 davetli konuşmacının katıldığı 4 panel şeklinde yapıldı. Elektrik ve Kontrol Sempozyum'u boyunca, 23'ü değişik üniversitelerden akademisyen, 2'si EMO'dan, 16'sı sektör, 3'ü dernek ve 3'ü de Avrupa Birliği komitelerinden 46 davetli konuşmacı,değerli çalışmalarını ve deneyimlerini katılımcılarla paylaştı.

Milattan önce III. yüzyıldan itibaren geri besleme kavramı ile geçmişin ihtiyaçlarını çözen; günümüzde ise elektrik, elektronik, mekanik ve bilgisayar kapsamlı endüstriyel üretim sistemlerinin, planlanan şekilde çalışmasını sağlayan teknolojileri üreten ve uygulayan mühendislik dalı; kontrol mühendisliği olarak yaşamımızda yer almıştır.

Meslek alanlarımız içinde önemli ve geniş bir yelpazeye sahip ölçme-izleme ve kontrol sistemlerinin yaratıcısı ve uygulayıcısı olan kontrol mühendisliğine yönelik olan bu sempozyumda; üniversitelerimizin, kamu temsilcilerinin, endüstri temsilcilerinin ve meslektaşlarımızın katkıları ile konuları anlama, irdeleme ve daha sonra gerçekleştireceğimiz Sempozyumlara da bu bilgi birikimlerinin aktarılması hedeflendi.

EEMKON 2015 Düzenleme Kurulu

ELEKTRİK KONTROL MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU-I

Oturum Yöneticisi: Prof. Dr. Ömer Usta (İTÜ)

Üretim Entegrasyonları ve Akıllı Şebekelerin Rolü
H. Basri Çetinkaya (SIEMENS), Mesut EFE (UEDAŞ)..... 4

Endüstriyel Tesislerin Elektrik Sistemlerinde Enerji Sürekliliğinin ve Güvenilirliğinin Sağlanması
Selahattin Küçük, İlyas Çelik, Gökçe Berrin Altınışık, Mustafa Ünaldı (TÜPRAŞ)..... 7

Küçük Ölçekli Bir Rüzgar Türbününün Gerçekleştirilmesi
Prof. Dr. Hasan Dinçer (Beykent Üniv.), Arma Anıl Kersü (İstanbul Kültür Üniv.)..... 19

Üretim Entegrasyonları ve Akıllı Şebekelerin Rolü
Generation Integrations and the Role of Smart Grid

Hasan Basri ÇETİNKAYA[1], Mesut EFE[2]

[1]SIEMENS A.Ş.
hasan.cetinkaya@siemens.com

[2]Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş.
mefe@uedas.com.tr

Özet

Günümüzün enerji yapısında elektrik enerjisinin sürekliliği çok kritik bir duruma gelmiştir. İletişim, sağlık, finans, ısıtma/soğutma gibi birçok hayati fonksiyon elektrik enerjisine ihtiyaç duymakta ve yokluğunda ciddi problemler oluşabilmektedir. Enerjinin sürekliliği, sürekliliğe sahip enerji kaynaklarına ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle dünya döndükçe varlığını sürdürecek yenilenebilir kaynaklardan elde edilecek enerjinin önemi çok yüksektir. Bununla birlikte yenilenebilir üretimin kaynak yapısı, alternatif akımın karakteristiği ve mevcut dağıtım şebekesinin yapısı, üretim entegrasyonunun güvenirliliği ile ilgili bazı soruların oluşmasına neden olmaktadır. Bu sorunların etkisinin minimize edilmesi ve güvenilir/sürdürülebilir bir enerji yapısı için, daha çok izlenebilir ve kontrol edilebilir bir sisteme ihtiyaç olacaktır. Bu bildirinin amacı, üretim entegrasyonlarının gerçekleşmeye başlaması ile birlikte ortaya çıkabilecek potansiyel riskleri tanımlamak ve bu risklerin minimize edilebilmesi için hangi Akıllı Şebeke bileşenlerinin nasıl kullanılabileceğini açıklamaktır.

Abstract

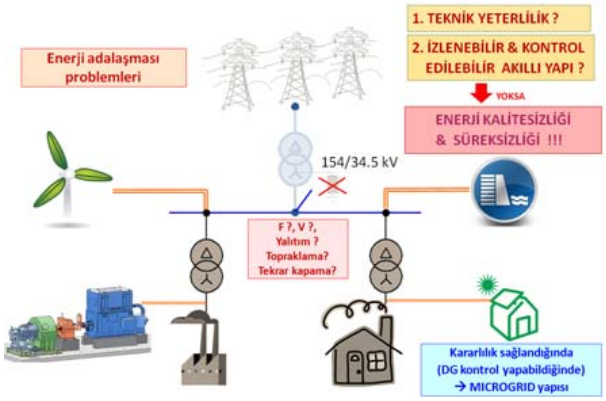
In today's world, the sustainability of electricity is very critical. Vital functions like communication, health, finance, heating/cooling requires electricity and at the time of blackouts serious problems may occur. Hence, the importance of renewables is very high. They will be producing electrical energy while the world turns. However, the source structure of renewable energy production as well as the characteristic of alternating current and the today's structure of distribution network, leads to the formation of some questions about the reliability of these generation integrations. In order to minimize the impact of this issue and in order to have a more reliable and sustainable energy infrastructure, more controllable and monitorable system is required. The purpose of this paper is to identify the potential risks that may arise with the start of the realization of generation integration and explains how to use the Smart Grid components to minimize these risks.

1. Giriş

Günümüzde özellikle lisanssız üretim yönetmeliğinin de etkisi ile dağıtım sisteminden oldukça önemli miktarda yenilenebilir enerji entegrasyon talebi bulunmaktadır. Enerji sisteminin orta gerilim ve alçak gerilim seviyesinden gerçekleşecek bu entegrasyonlar her geçen gün miktar olarak artacaktır. Kaynak yapısının değişken olması ve homojen dağılamaması, sistem güvenirliliğini ve sürekliliğini sağlamak adına, yenilenebilir kaynaklardan üretilecek gücün bazı durumlarda kontrol edilerek dengelenmesi gerekebilecektir. Bu dengeleme Akıllı Şebeke bileşenleri ile yapılabilmekte ve gerçek zamanlı dinamik olarak kontrol edilebilmektedir [1]. Üretim entegrasyonlarında bilinmesi gereken en önemli konu ise dağıtım şebekesinin üretim entegrasyonlarına göre dizayn edilememiş olması ve yanlış planlanacak üretim entegrasyonlarının, sağlanan enerjinin kalitesinde, güvenirliliğinde ve sürdürülebilirliğinde önemli problemler oluşturabileceğidir.

Üretim entegrasyonları konusunda gerek üreticilerin, gerek dağıtım şirketlerinin, gerekse tüketicilerin birçok sorusu oluşmaktadır. Bir üretim santrali sahibi için kurulacak santralin, kaynak olduğu sürece üreteceği enerjinin tümünü şebekeye aktarıp aktaramayacağı önemlidir. Bir dağıtım şirketi açısından üretim santrallerinin enerji kalitesine etkileri ve dağıtım sisteminde oluşturabileceği etkiler kritiktir. Kullanıcı tarafında ise alacağı enerjinin kalitesi ve sürekliliği çok önemlidir. Teknik uygunluğa bakılmadan gerçekleşecek entegrasyonlarda, ciddi enerji kalite problemleriyle karşılaşılabilmekte ve yukarıda tanımlanan soruların cevapları olumsuz olabilmektedir.

Bununla birlikte üretim entegrasyonları doğru planlandığında dağıtım şebekesi ve kullanıcılar için ciddi avantajlar da oluşturmaktadır. Doğru planlandıklarında, kaynak ve yük arasındaki mesafe azaldığından kayıpları azaltmakta, hat/transformatör yüklenmelerini azalttığından sistem yeterliliğini geliştirmektedirler. Yeterli miktarda entegrasyon oluştuğunda ve depolama sistemleri geliştirildiğinde, şebekede sorun yaşansa da kendi kendine çalışmayı sürdürebilecek enerji adacıklarını (MicroGrid) oluşturabilirler. Bu avantajlar sonucu lokal gerilimleri destekleyebilir, aşırı yüklenmeleri engelleyebilir, sistem ekipmanlarının ömrünü uzatır ve kesintilerin önüne geçebilirler.



Şekil 2:Üretim entegrasyonları sonrasında, olası bir "adalaşma" durumunda yaşanabilecek problemler

Kontrolsüz enerji birimleri ile adalaşma durumlarında izlenebilecek problemlerden en önemlisi gerilim ve frekans'ta yaşanabilecek sapmalar olacaktır. Bu durumda ilgili üretim birimi çok hızlı bir şekilde sistemden ayrılmalıdır. Bunun için koruma rölelerinde gerekli fonksiyonlar olmalı ve muhakkak aktif durumda tutulmalıdır. Geleceğin yapısında üretim entegrasyonları arttığında ve ilgili üretim birimlerinin enerji kalitesini kontrol etme yetenekleri oluşturulduğunda, "Microgrid" olarak adlandırılan enerji adacıkları oluşabilecek ve üretim birimlerinin devre dışı kalma zorunluluğu ortadan kalkacaktır. Ancak günümüz yapısında, herhangi bir adalaşma durumunda muhakkak sistemden ayrılmaları gerekmektedir.

Adalaşma konumunda yaşanabilecek diğer bir sorun da ani gerilim yükselmesine bağlı oluşabilecek bir yalıtım problemidir. Bu durum da adalaşma sonrası sistemin toprak referansını kaybetmesinden ileri gelebilmektedir (Orta gerilim sisteminde toprak referansı, iletim sistemi transformatörünün sekonder yıldız noktasındaki direnç üzerinden sağlanmaktadır. Bu besleme devre dışı kaldığında oluşan adada bir toprak referansı bulunmamaktadır). Özellikle bir fiderde yaşanabilecek faz-toprak arızası sonrası iletim transformatörü açma oluşturduğunda bu durum ile karşılaşılabilir.

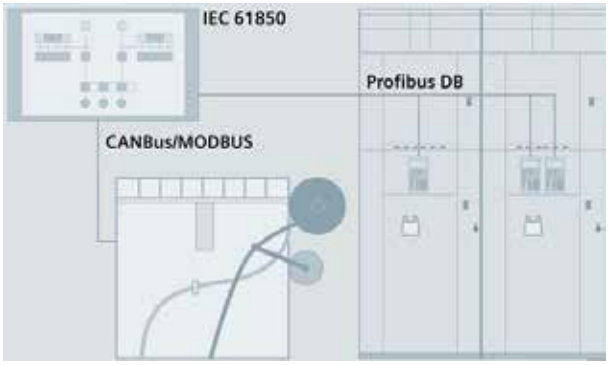
Bu noktada dağıtım sisteminde bulunabilecek tekrar kapama yapılarına da dikkat edilmelidir. Fiderde oluşan bir açmada, üretim birimleri ile yükler adalaşıyorsa, tekrar kapama yapacak bir sistem senkron olmayan bir kapamaya neden olup üretim birimlerine zarar verebilir. Bu durum, yaşanacak açma sonrası üretim birimleri devre dışı kalmadan tekrar kapama gerçekleşirse yaşanabilecektir. Bu nedenle gerekiyorsa tekrar kapama zamanları ile üretim birimlerinin devre dışı kalma zamanları koordineli olmalı ya da tekrar kapamalar iptal edilmelidir.

Yukarıda tanımlanan sorunlar sadece tasarımsal sorunlar değildir. Aynı zamanda işletmede oluşabilecek değişiklikler sonucu da ortaya çıkabilmektedir. Üretim entegrasyonları arttıkça karşılaşılaşılabilecek sorunların sıklığı da artacaktır. Bu nedenle şebekelerde yer alan üretim birimlerinin, dağıtım sistemi operatörü tarafından sadece izlenmesi değil, kontrol edilebilmesi de zorunlu olmalıdır.

3. Düzenleyici "AKILLI" Yapılar

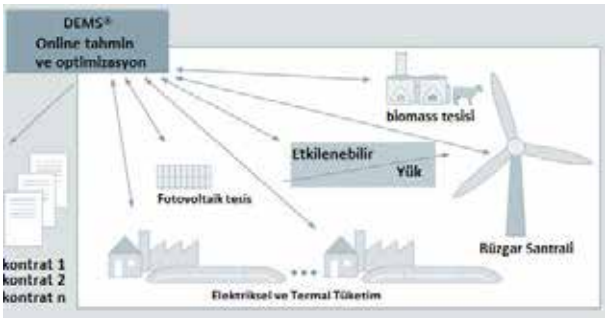
Yukarıdaki bölümde tanımlanan nedenlerden dolayı iletim ve özellikle dağıtım sisteminin uygun kontrol ve kumanda önlemleri alan akıllı bir yapı formatında olması gerekmektedir. [4]

Akıllı bir enerji yapısında, tüm sistemi izleyebilen, koşullara göre kendi kendine karar alabilen ve anahtarlama yapabilmek için çok hızlı iletişim kurabilen yapılar bulunmaktadır. Akıllı şalt merkezleri otomasyonu, enerji kesintisini önleme, arıza sonrası hızlı toparlanabilme, üretim entegrasyonlarına akıllı uyum, akıllı bir sistemin en büyük özelliklerindendir.



Şekil 3: IEC 61850 haberleşme sistemi ile donatılmış, programlanabilir, izleme kabiliyetine sahip hücreler

Dağınık bir enerji üretim sisteminde sistem güvenirliliği en önemli konudur. Sistem güvenirliği sağlandıktan sonra ise enerji üretiminin optimizasyonu ve verimliliği söz konusu olacaktır [5, 6]. Bu optimizasyonu ve verimliliği sağlayacak yapıların temelleri günümüzde atılmaktadır. Bu anlamda geleceğin enerji yapısında, sanal enerji santralleri olarak ifade edilen, aslında birçok küçük santrali tek bir santral gibi tanımlayan ve yöneten yapıların da bulunması beklenmektedir (DEMS-Distributed Energy Management System). Bu sistemler enerji piyasası koşullarına ve sistem yapısında oluşabilecek olumsuz koşullarda kendine bağlı sistemleri düzenleyerek, enerjinin kesintisiz, kaliteli ve ekonomik olmasını sağlayabilecektir [7].



Şekil 4: Dağınık Üretim Yönetim Sistemi (DEMS)

Dağıtım şebekesinden gerçekleşen yenilenebilir enerji üretim entegrasyonlarının oluşturduğu yük akışı ve gerilim dalgalanmalarının kontrolü, üretim miktarı arttıkça zorlaşacaktır. Kontrol edilemeyen yapılarda da enerji

kalitesindeki bu dalgalanma, sistemin kendisinde ve tüketici ürünlerinde zararlar oluşturabilecektir. Bu nedenle dağıtım şebekelerinin sürekli izlenmesi ve kritik durumların oluşma riski görüldüğünde gerekli kontrol ve kumanda önlemlerinin alınması gerekecektir. Bununla ilgili, "Orta Gerilim Şebeke Düzenleyici" yapıların da dağıtım şebekesinde kullanımı söz konusu olacaktır.

Şekil 5: *Orta Gerilim Şebekesi Düzenleyicisi*

Bu düzenleyici yapılar şebekeyi izleyerek, manüel ya da otomatik olarak gerilimi, aktif gücü ve reaktif gücü kontrol edebilmektedir. Bu kontrolü sağlarken, üretim sistemlerini, transformatör yapılarını ve kapasitörleri kullanmaktadır. Bu tür yapılar ile güç akış miktarı ve yönleri izlenebilmekte, sınır aşımları hızlı ve doğru olarak tespit edilebilmektedir. Bu tespitlerin yardımı ile şebeke kararlılığının korunması için gerekli önlemler alınabilmektedir. Ayrıca izlenen sonuçlar şebeke kayıpları açısından da değerlendirilmektedir. Mevcut yapı ile uyum açısından, ilave edilebilecek üretim miktarına teknik uygunluğa göre karar verilmesi gerekmektedir. Sistem konfigürasyonundaki olası değişimlerde de kontrol edilebilir bir yapıya ihtiyaç olacaktır. Dağıtım sistemin, üretim entegrasyonlarına izin verecek, izleyecek ve karar alacak akıllı bir yapıda olması çok önemlidir.

4. Sonuçlar

Günümüzde gerçekleştirilen yenilenebilir enerji entegrasyonları ve Türkiye'nin 2023 yılına ait strateji belgesi düşünüldüğünde, geleceğin enerji yapısının bugünden farklı olacağı açıktır. Günümüzde hemen hemen her şeyin enerjiye bağımlı olduğu düşünüldüğünde, mevcut sistemde sağlanan güvenirlilik ve sürdürülebilirliğin, gelecek enerji yapısında da devam ettirilmesi çok önemlidir. Özellikle dağıtım sisteminden gerçekleşecek üretim entegrasyonları enerji yapısında önemli değişimler oluşturacaktır. Bu sistemlerin dizaynı, kurulumdan sonra izlenmesi ve kontrolü, enerjinin kalitesi ve sürdürülebilirliği açısından kritik olacaktır. Bunu başaracak teknoloji günümüzde mevcuttur. Önemli olan hangi teknolojinin, hangi noktada, hangi yapılara uygulanması gerektiğini iyi projelendirebilmek ve bazı pilot projeler ile bunu test edebilmektir. Bununla ilgili Türkiye'de de birçok çalışma yürütülmektedir [8, 9]. Bu çalışmalarda, güç sistemleri analiz programları yardımıyla gerçek lokasyon ve veriler ile kurulan dağıtım şebekesi yapısına, planlanan üretim birimleri eklenerek etkileri incelenmektedir. Ayrıca kurulan santrallerden de ölçümler alınarak yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırılmaktadır.

Üretim entegrasyonlarının ilk aşamasında izlenecek problemin gerilim yükselmesi olacağı görülmektedir. Gerilimde meydana gelen dalgalanma fliker şiddetini de değiştirmektedir. Üretim entegrasyonları arttıkça, sürekli halde gerilim değişimini sınırlamak için, ilgili güç transformatörlerinin sekonderindeki gerilimin otomatik olarak kademe değiştiriciler ile kontrol edilmesi gerekebilecektir. Ayrıca dağıtım şebekesindeki anahtarlama yapısı çok değişkenlik gösterebildiğinden, acil durumlarda gücün sadece izlenmesi değil, kontrol edilebiliyor olması çok önemlidir. Gerektiğinde güç sınırlanabilmelidir.

Üretim entegrasyonlarında yaşanabilecek en önemli sorunlardan birinin de reaktif güç kontrolü olduğu izlenmektedir. Üretim birimlerinin sisteme entegre olması durumunda fiderden çekilen aktif güç ciddi biçimde değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenlik reaktif yükümlülükleri oldukça zorlaştırmakta, yüksek güçlü entegrasyonlarda imkansız hale getirmektedir. Kendi enerjisini üreten endüstriyel tesislerde bu nedenden dolayı reaktif yükümlülüğün olmadığı bilinmektedir. Üretim entegrasyonları ile birlikte, dağıtım şebekesinin yapısının da bu yapıya dönüşmesi beklenmektedir.

Dağıtım şebekelerinde üretim entegrasyonu nedeniyle yaşanabilecek en önemli problemlerden birinin adalaşma olacağı görülmektedir. Özellikle gerilim ve frekans kontrolüne sahip olmayan üretim birimlerinin, adalaşma olduğunda elektriksel parametreleri, kullanıcılar için tehlikeli boyuta çıkarabilecekleri bilinmektedir. Bu nedenle adalaşma durumunu anlayacak lojiklerin kurulması, frekansa ve gerilime bağlı pasif korumaların kullanılması oldukça önemlidir. Adalaşma durumunda mevcut sistemde kullanılan tekrar kapama yapılarının da sistemde zarar oluşturmaması için, üretim birimlerinin devre dışı kalma süreleri ile koordineli olmaları gerekmektedir. Gelecekte adalaşma yapısının, enerjinin sürekliliğini sağlayacak çok önemli bir yapı olacağı bilinmektedir. Ancak bunun gerçekleşebilmesi için önemli miktarda üretim entegrasyonunun gerçekleşmesi, üretim birimlerinin frekansı ve gerilimi kontrol eden yapılara sahip olması gerekmektedir. Bu sağlandığında ve enerji depolama sistemleri de yapıya entegre edildiğinde, "MICROGRID" olarak adlandırılan enerji adaları oluşabilecektir.

5. Kaynaklar

[1] Çetinkaya H.B. "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Entegrasyonunda ve Uluslararası Enerji Bağlantılarında Akıllı Şebekeye Duyulacak İhtiyaç", *3E*, Kasım 2009.

[2] Çetinkaya H.B., Dumlu F. "Dağıtık Üretim Tesislerinin Şebeke Entegrasyonunda Yaşanabilecek Olası Problemler ve Entegrasyon Analizleri", *Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu*, Ankara, 2013.

[3] Bacalao N. (SIEMENS US PTI), "Technical Losses Evaluation Methodologies Distributed Generation Issues, Conversations with ELDER", 2014

[4] Çetinkaya H.B., "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Şebekeye Entegrasyonu*", 2nd International Istanbul Smart Grid Congress and Fair, ICSG Istanbul*, 2014.

[5] Çetinkaya H.B. "Enerji Yönetimi ve Enerji Verimliliği Açısından, Akıllı Şebekeler & SCADA Uygulamaları", *3. Ulusal Enerji Verimliliği Forumu ve Fuarı*, Istanbul, 2012

[6] Çetinkaya H.B., Uzun S., Virlan H.G., Altay C., "The Importance of Diversity for Renewables and Their Control in Future Electrical Infrastructure*", 4th International 100% Renewable Energy Conference (IRENEC)*, Istanbul, 2014

[7] Taşpınar M. "Akıllı Şebekeler" Sunum, SIEMENS, 2010

[8] UEDAŞ Dağıtım Şebekesine Bağlı Enerji Santrallerinin Şebekeye Bozucu Etkilerinin Modellenmesi ve Analizi, Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. - SIEMENS, 2015

[9] MEDAŞ Dağıtık Üretim Tesislerinin Şebekeye Entegrasyonu ve Etkisinin Değerlendirilmesi, Meram Elektrik Dağıtım A.Ş. - SIEMENS, 2015.

EEMKON 2015 19-20-21 Kasım 2015

ENDÜSTRİYEL TESİSLERİN ELEKTRİK SİSTEMLERİNDE ENERJİ SÜREKLİLİĞİNİN VE GÜVENLİĞİNİN SAĞLANMASI

Çalışma Grubu – TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi

Selahattin Küçük *İlyas Çelik* *Gökçe Berrin Altınışık* *Mustafa Ünaldı*

EEMKON 2015 19-20-21 Kasım 2015

ENDÜSTRİYEL TESİSLERİN ELEKTRİK SİSTEMLERİNDE ENERJİ SÜREKLİLİĞİNİN VE GÜVENLİĞİNİN SAĞLANMASI

Sunum
Mustafa Ünaldı
TÜPRAŞ – İzmit Rafinerisi

EEMKON 2015 19-20-21 Kasım 2015

SUNUMUN İÇERİĞİ

- GİRİŞ
- ELEKTRİK SİSTEMİNİN YÖNETİMİ,
- ELEKTRİK SİSTEMİNİN KONTROL, DENETİM VE İZLENMESİ,
  - SCADA,
  - YÜK ATMA SİSTEMİ,
    - YÜK ATMA,
    - GENERATÖR MOD SEÇİMİ,
  - YÜK KONTROL SİSTEMİ,
  - SENKRONİZASYON SİSTEMİ,
  - ARIZA KAYIT SİSTEMİ,
  - TRANSFORMATÖRLERİN YILDIZ NOKTASININ KONTROLÜ,

Tüpraş

EEMKON 2015 19-20-21 Kasım 2015

GİRİŞ

RAFİNERİ GİBİ ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE;

- ENERJİ SÜREKLİLİĞİNİN ÖNEMİ (En az N – 1 olmalı),
- ŞEBEKE İŞLETİM OPERATÖRÜNÜN BEKLENTİLERİNİN KARŞILANMASI,

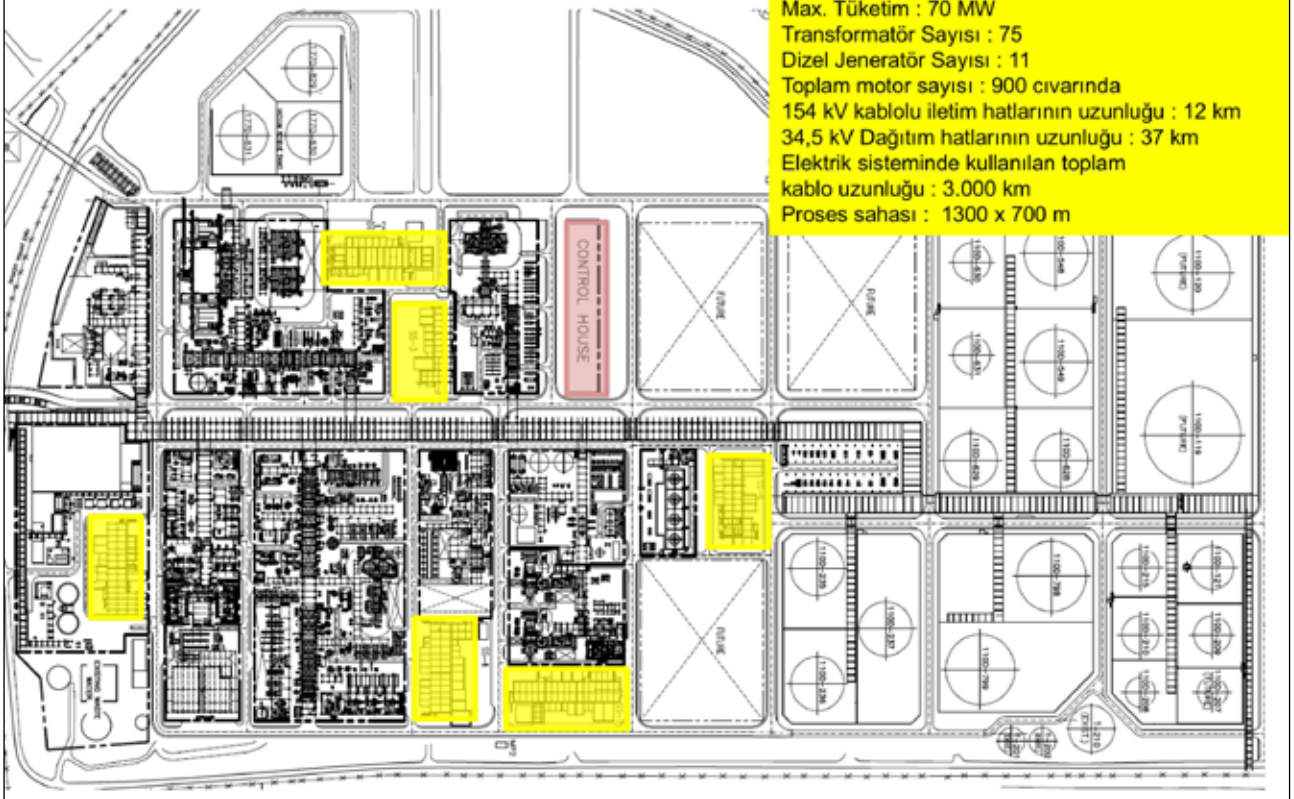
Tüpraş

EEMKON 2015 19-20-21 Kasım 2015

ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE ELEKTRİK SİSTEMİNİN YÖNETİMİ,

- ÜRETİM KAYNAKLARI (Elektrik ve Buhar),
- İLETİM VE DAĞITIM SİSTEMLERİ,
- TESİS ELEMANLARI,
- ELEKTRİK SİSTEMİNİN TAMAMLAYICILARI;
  - DİZEL GENERATÖRLER,
  - AC, DC KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAKLARI,

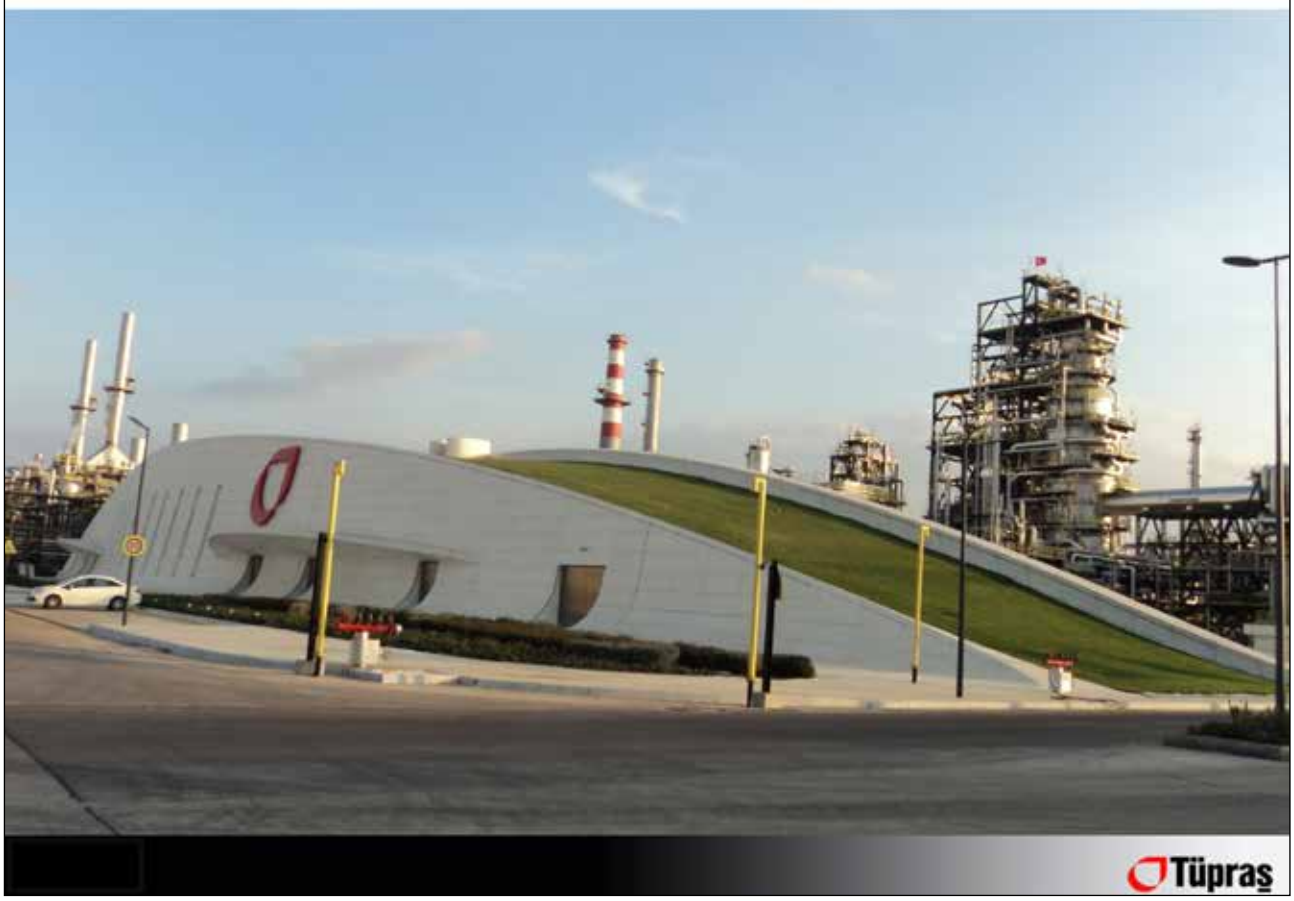
Tüpraş



Kurulu Güç (2 GT, 1 ST) : 120 MW
Max. Tüketim : 70 MW
Transformatör Sayısı : 75
Dizel Jeneratör Sayısı : 11
Toplam motor sayısı : 900 cıvarında
154 kV kablolu iletim hatlarının uzunluğu : 12 km
34,5 kV Dağıtım hatlarının uzunluğu : 37 km
Elektrik sisteminde kullanılan toplam
kablo uzunluğu : 3.000 km
Proses sahası : 1300 x 700 m

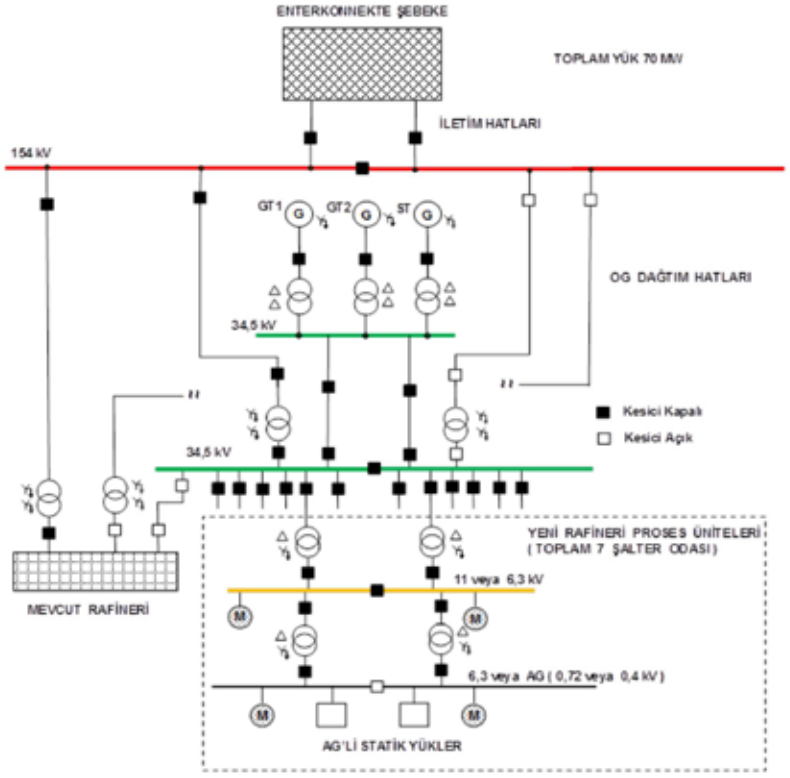
Tüpraş

MERKEZİ KONTROL BİNASI



Tüpraş

EEMKON 2015 19-20-21 Kasım 2015



Tüpraş

EEMKON 2015 19-20-21 Kasım 2015

SCADA

- **ÜRETİM, İLETİM VE DAĞITIM SİSTEMLERİ İLE YÜKLERİN,**
  - ŞALTER POZİSYONLARININ,
  - ELEKTRİKSEL BÜYÜKLÜKLERİNİN,
  - ENERJİ,
  - TRİP VE ALARM,

  BİLGİLERİNİN İZLENMESİ, KONTROLÜ, KAYIT ALTINA ALINMASI VE RAPORLANMASI

Tüpraş

EEMKON 2015 19-20-21 Kasım 2015

SCADA

- **SAHA BİLGİLERİNİN TOPLANMASI – SAHADAKİ İLK SENSÖR**
  - IEC-61850 HABERLEŞME PROTOKOLÜ (GENELDE RÖLELER)
  - MODBUS HABERLEŞME PROTOKOLÜ (UPS, DG, VFD, TR OLTC Panel)
  - KURU KONTAK BİLGİSİ (ŞALTER POZİSYONLARI, TR ALARM VE TRİP BİLGİLERİ)
  - ANALOG (TRANSDUCERLER İLE, 4 -20 mA) BİLGİLER
- **BİLGİNİN İŞLENMESİ**
  - SAHA TERMİNAL BİRİMİ (RTU)
- **MAKİNE ARA YÜZÜ (HMI)**
  - GÖRSEL
  - YAZICILARA GÖNDERİLMESİ
  - KAYIT VE RAPORLAMA
  - OPERATÖR KOMUTLARININ ÜRETİLMESİ (AÇMA, KAPAMA, SENKRONLAMA)

Tüpraş

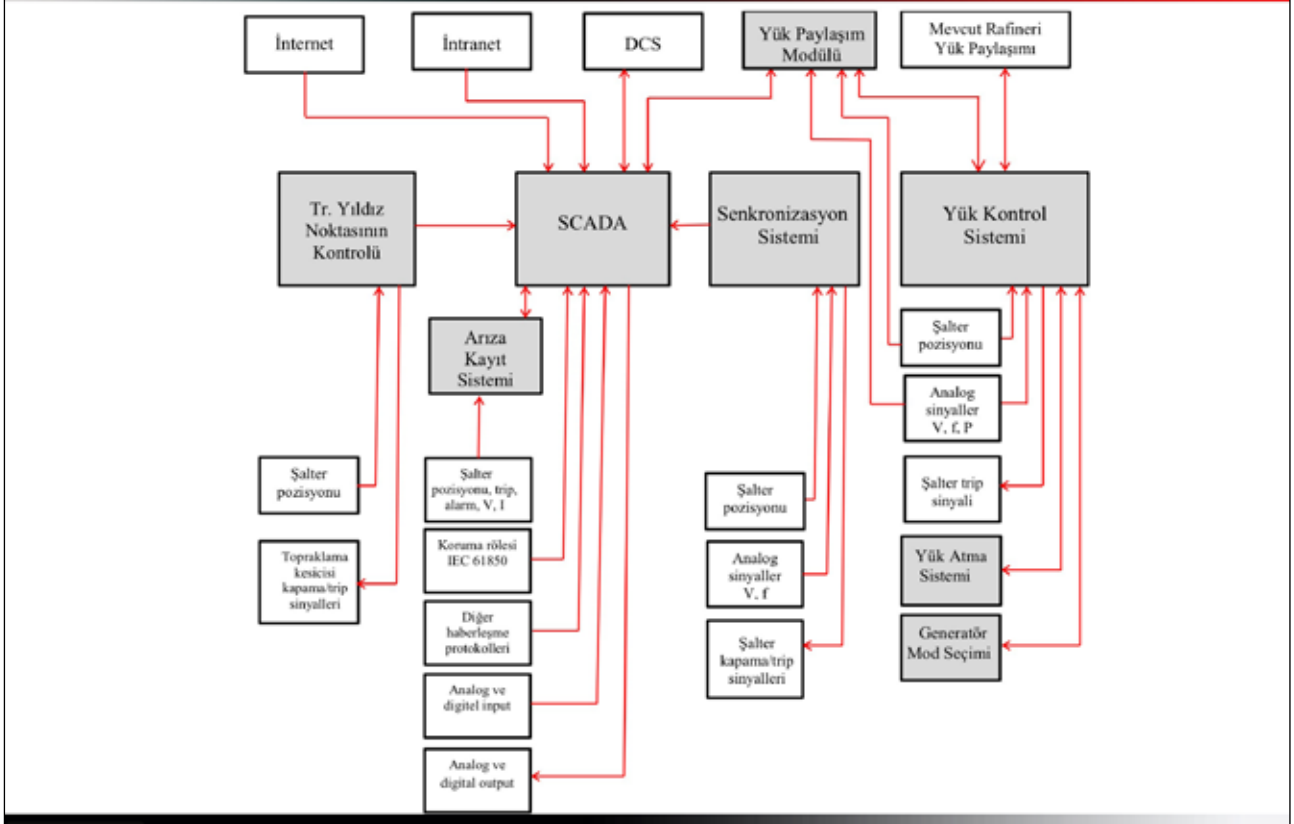
EEMKON 2015 19-20-21 Kasım 2015

SCADA

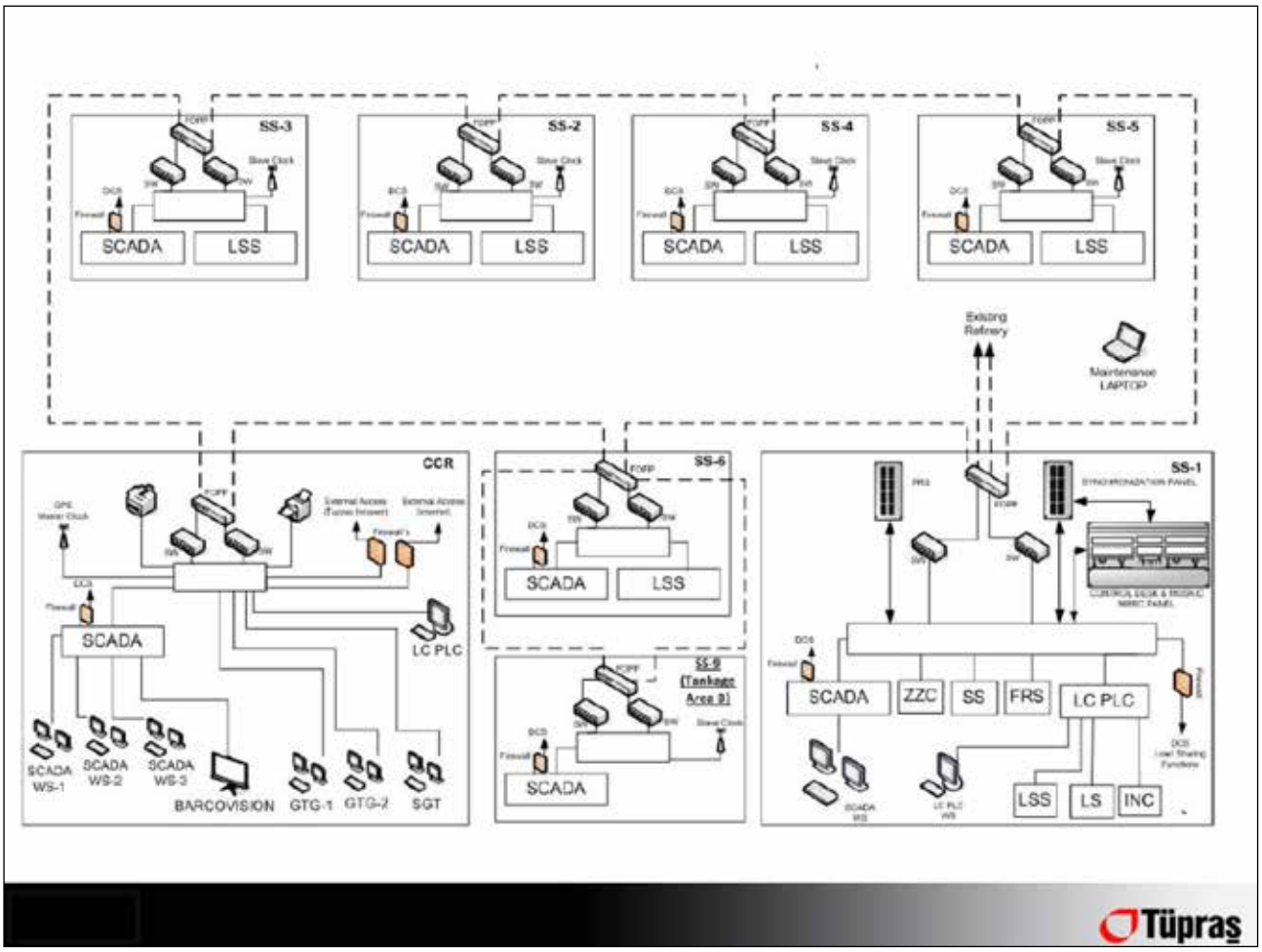
- **HARİCİ BAĞLANTILAR**
  - DCS HABERLEŞMESİ (MODBUS TCP - IP)
  - YÜK KONTROL MODÜLÜ (LCU) İLE HABERLEŞME (IEC – 104)
  - ARIZA KAYIT SİSTEMİ (FRS) İLE HABERLEŞME (IEC – 105)
  - SENKRONİZASYON PLC İLE HABERLEŞME (IEC – 104)
  - INTRANET HABERLEŞMESİ(WEB SERVER)

Tüpraş

EEMKON 2015 19-20-21 Kasım 2015



Tüpraş

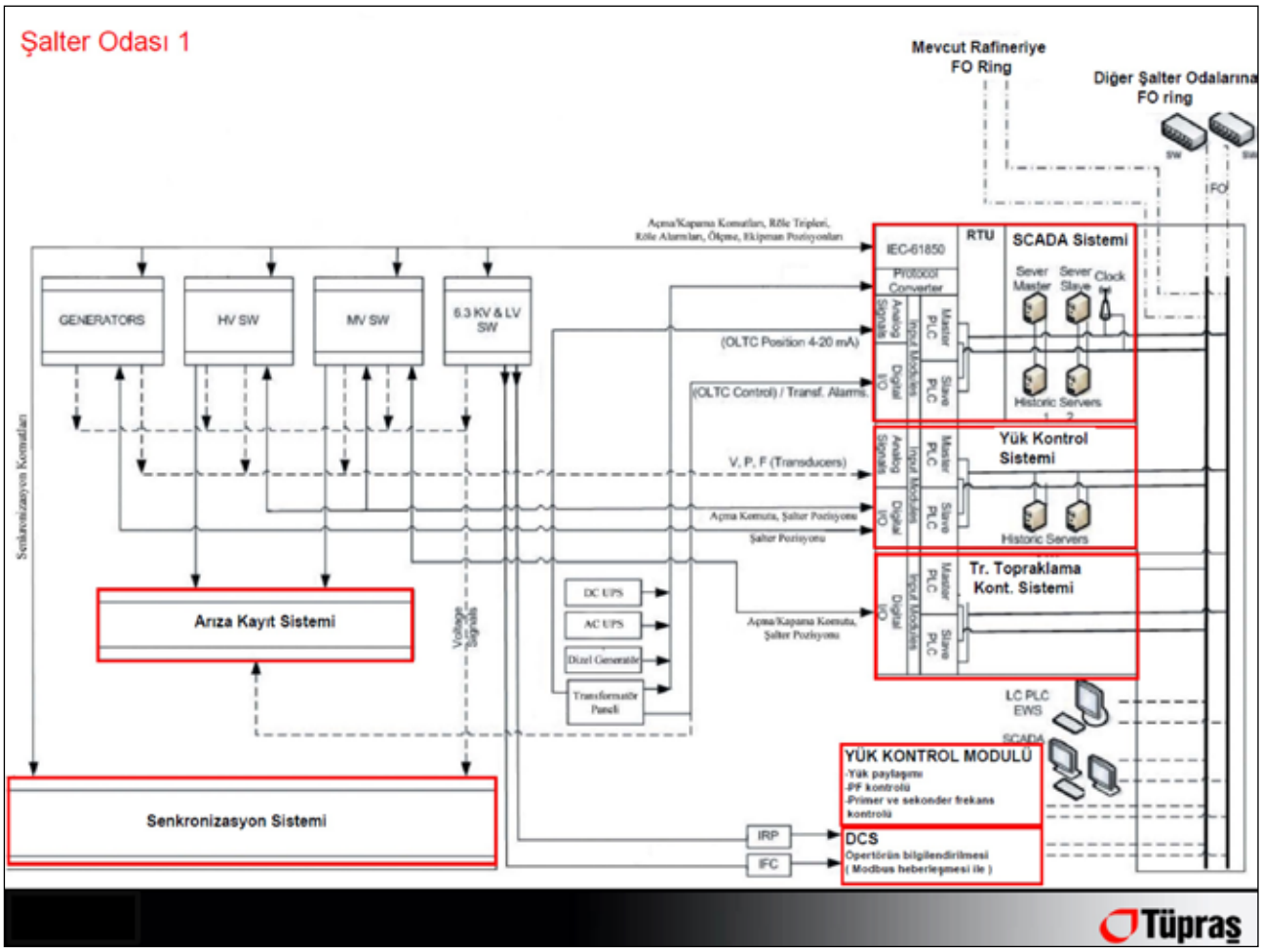


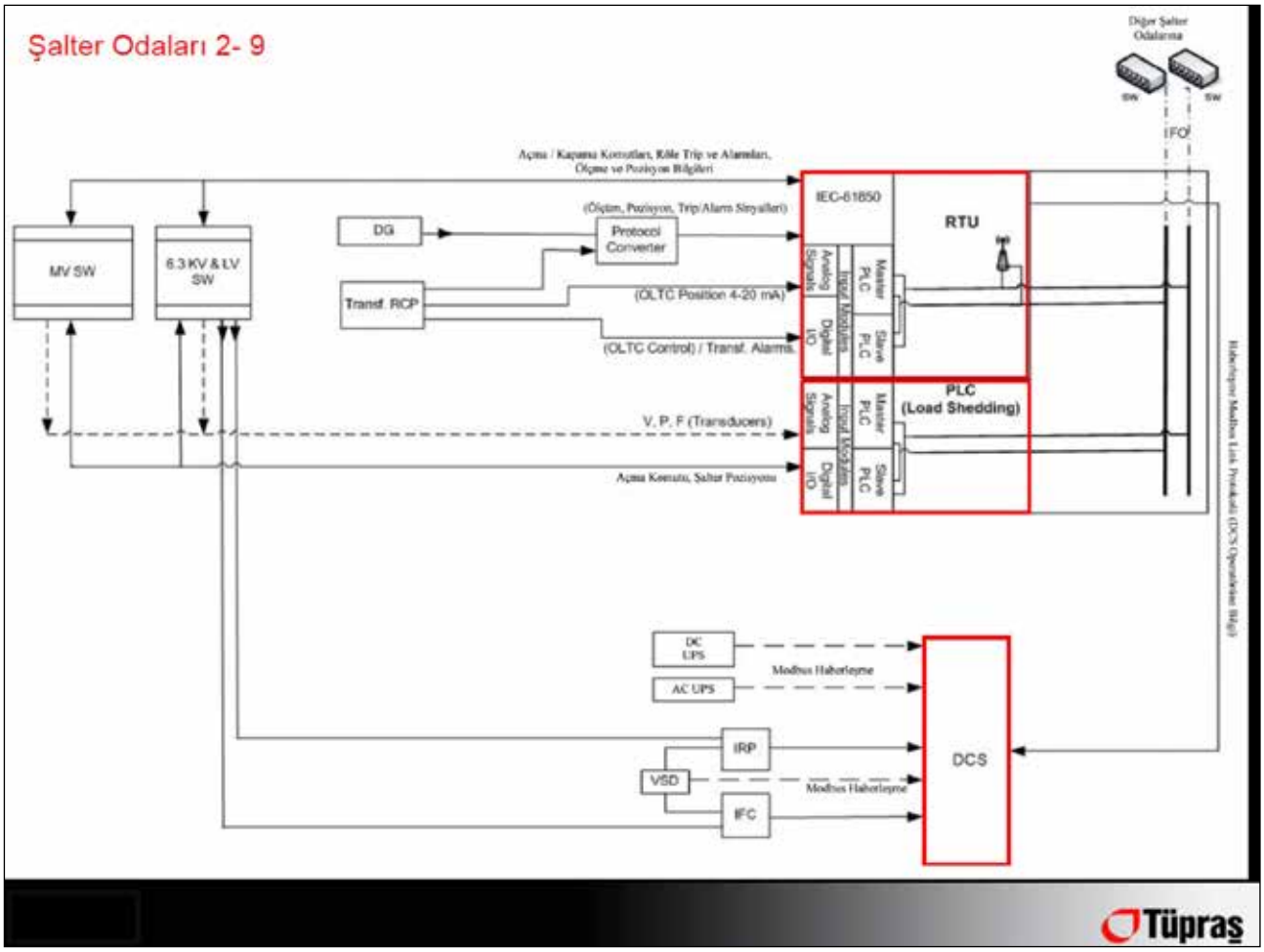
Tüpraş

EEMKON 2015 19-20-21 Kasım 2015

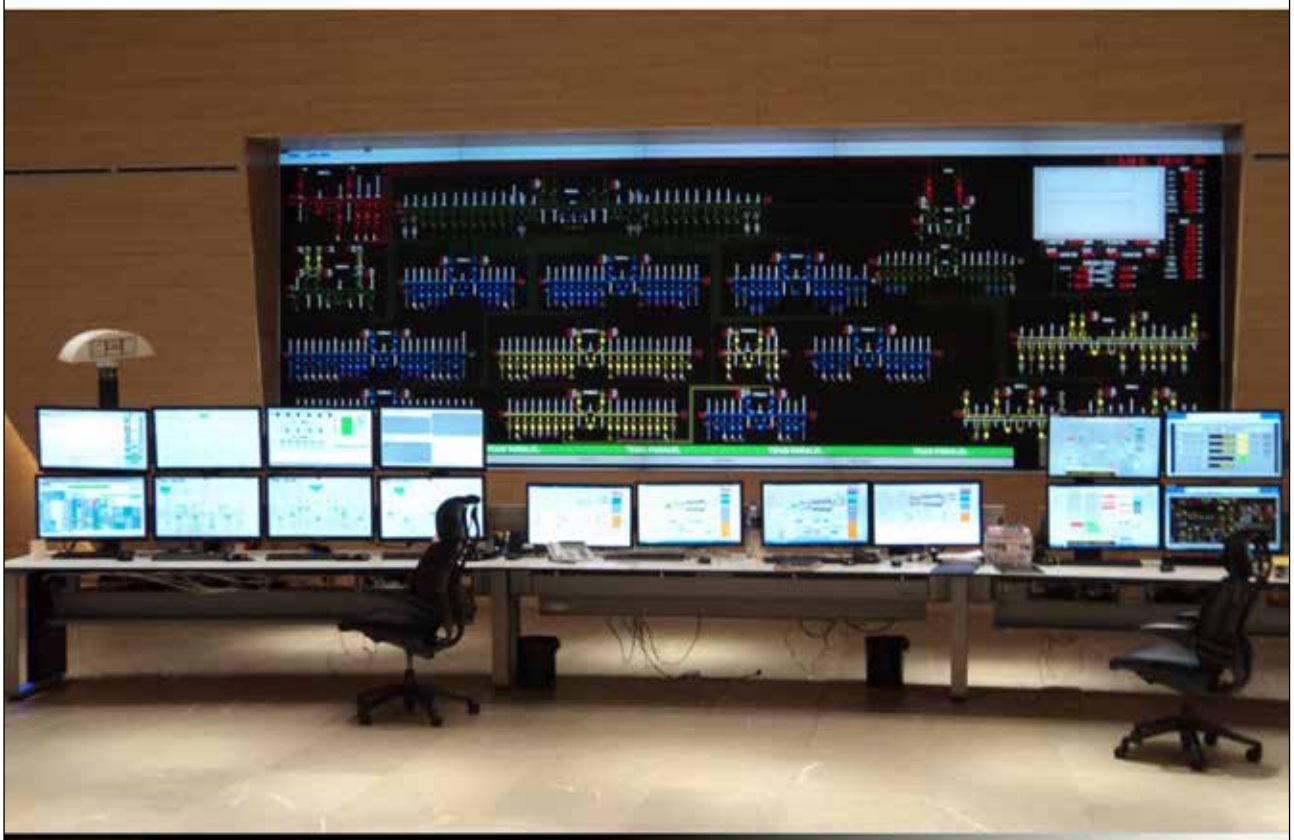
Şalter Odası	Sistem	DI	DO	AI	AO	Toplam sinyal sayısı	Seri sinyal (Haberleşme ile)	Doğrudan bağlı	Röle sayısı
Şalter odası -1	SCADA	4675	218	1374		6267	5920	347	155
	Yük atma sistemi	148	18	28		194	-	194	18
	Tr. yıldız Noktası topraklama kontrolü	40	16	-		56	-	56	8
	Senkronizasyon sistemi	200	100	60		360	-	360	20
	Arıza kayıt sistemi	152	-	133		285	-	285	19
	Toplam	5215	352	1595		7162	5920	1249	220
Şalter odası -2	SCADA	2500	1179	869		3488	3261	227	95
	Yük atma sistemi	32	16	-		48	-	48	16
	Toplam	2532	135	869		3536	3261	275	111
Şalter odası -3	SCADA	1454	53	502		2009	1879	130	57
	Yük atma sistemi	28	14	-		42	-	42	14
	Toplam	1482	67	502		2051	1879	172	71
Şalter odası -4	SCADA	2024	68	711		2803	2653	150	76
	Yük atma sistemi	64	32	-		96	-	96	16
	Toplam	2088	100	711		2899	2653	246	92
Şalter odası -5	SCADA	2024	68	711		2803	2653	150	76
	Yük atma sistemi	64	32	-		96	-	96	32
	Toplam	2088	100	711		2899	2653	246	108
Şalter odası - 6	SCADA	686	31	230		947	831	116	34
	Yük atma sistemi	48	24	-		72	-	72	24
	Toplam	734	55	230		1019	831	188	58
Şalter odası - 9	SCADA	46	1	16		63	54	9	1
	Yük atma sistemi	-	-	-		-	-	-	-
	Toplam	46	1	16		63	54	9	1
GENEL TOPLAM		14187	810	4634		19629	17251	2378	661

Tüpraş


Şalter Odası 1
Mevcut Rafineriye FO Ring
Diğer Şalter Odalarına FO ring
GENERATORS
HV SW
MV SW
6.3 KV & LV SW
Senkronizasyon Komutları
Arıza Kayıt Sistemi
Senkronizasyon Sistemi
Voltage Signals
DC UPS
AC UPS
Dizel Generatör
Transformatör Panoları
IEC-61850
Protocol Converter
RTU
SCADA Sistemi
Sever Master
Sever Slave
Clock
Historic Servers
Yük Kontrol Sistemi
Tr. Topraklama Kont. Sistemi
Analog Signals
Digital I/O
Input Modules
Master PLC
Slave PLC
(OLTC Position 4-20 mA)
(OLTC Control) / Transf. Alarms
V, P, F (Transducers)
Açma Komutu, Şalter Pozisyonu
LC PLC EWS
SCADA
YÜK KONTROL MODULÜ
-Yük paylaşımı
-PF kontrolü
-Primer ve sekonder frekans kontrolü
DCS
Operatörün bilgilendirilmesi
(Modbus haberleşmesi ile)
IRP
IFC
Tüpraş


Şalter Odaları 2- 9
Diğer Şalter Odalarına
SW
FO
MV SW
6.3 KV & LV SW
DG
Transf. RCP
Protocol Converter
IEC-61850
RTU
PLC (Load Shedding)
(OLTC Position 4-20 mA)
(OLTC Control) / Transf. Alarms
V, P, F (Transducers)
Açma Komutu, Şalter Pozisyonu
DC UPS
AC UPS
Modbus Haberleşme
IRP
VSD
IFC
DCS
Tüpraş

SCADA BARKOVİZYON



Tüpraş

EEMKON 2015 19-20-21 Kasım 2015

YÜK ATMA SİSTEMİ

PLC TEMELLİ BİR SİSTEMDİR. YÜK ATMA FONKSİYONU İÇERDİĞİNDEN ELEKTRİK SİTEMİNE AİT POZİSYON BİLGİLERİNİ DOĞRUDAN ALIR, OLUŞACAK DEVRE DIŞI ETME KOMUTLARINI DOĞRUDAN ŞALTERLERE İLETİR.

ELEKTRİKSEL BİLGİLER TRANSDUCERLER ARACILIĞI İLE ALINIR.

- YÜK ATMA,
  - ENTERKONNEKTE SİSTEM İLE PARELEL ÇALIŞMA
  - ADA MODUNDA ÇALIŞMA
- GENERATÖR MOD SEÇİMİ
  - ENTERKONNEKTE SİSTEM İLE PARELEL ÇALIŞMA
    - BÜTÜN GENERATÖRLER YÜK (DROOP) MODUNDA
  - ADA MODUNDA ÇALIŞMA
    - BİR GENERATÖR HIZ (SPEED, ISOCHRONOUS), DİĞERLERİ YÜK MODUNDA

Tüpraş

EEMKON 2015 19-20-21 Kasım 2015

YÜK KONTROL SİSTEMİ

DSC TEMELLİ BİR SİSTEMDİR. ÜRETİM KAYNAKLARI VE/VEYA ENTERKONNEKTE ŞEBEKEDEKİ YÜK PAYLAŞIMINI VERİLEN KOMUTLARA GÖRE AYARLAR.

- YÜK PAYLAŞIMI,
- GÜÇ FAKTÖRÜ KONTROLÜ,
- PFK RAPORLAMA,
- YÜK FREKANS KONTROLÜ,
  - PRİMER FREKANS KONTROLÜ,
  - SEKONDER FREKANS KONTROLÜ

Tüpraş

EEMKON 2015 19-20-21 Kasım 2015

SENKRONİZASYON SİSTEMİ

GENERATÖRLER ARASINDA VEYA GENERÖRLER İLE ENTERKONNEKTE ŞEBEKE ARASINDA PARELEL ÇALIŞILACAK İSE,

- TAMAMEN OTOMATİK,
- OPERATÖR KONTROLÜNDE,
- BY-PASS SENKRONİZASYON,

Tüpraş

EEMKON 2015 19-20-21 Kasım 2015

ARIZA KAYIT SİSTEMLERİ

ALARM VEYA TRİP ŞEKLİNDE OLUŞAN BİR OLAYI DAHA SONRA ANALİZ ETMEK İÇİN KULLANILAN SİSTEMLERDİR.

- RÖLE SEVİYESİNDE ARIZA KAYIT
  - KAYIT, ARIZA ANINDA BAŞLAR VE HER PERİYOTDA 16 ÖRNEKLEME ALINIR
- SİSTEM BAZINDA ARIZA KAYIT,
  - ELEKTRİK SİTEMİ SÜREKLİ İZLENİR. HER PERİYOTDA 256 ÖRENEKLEME ALINIR.

Tüpraş

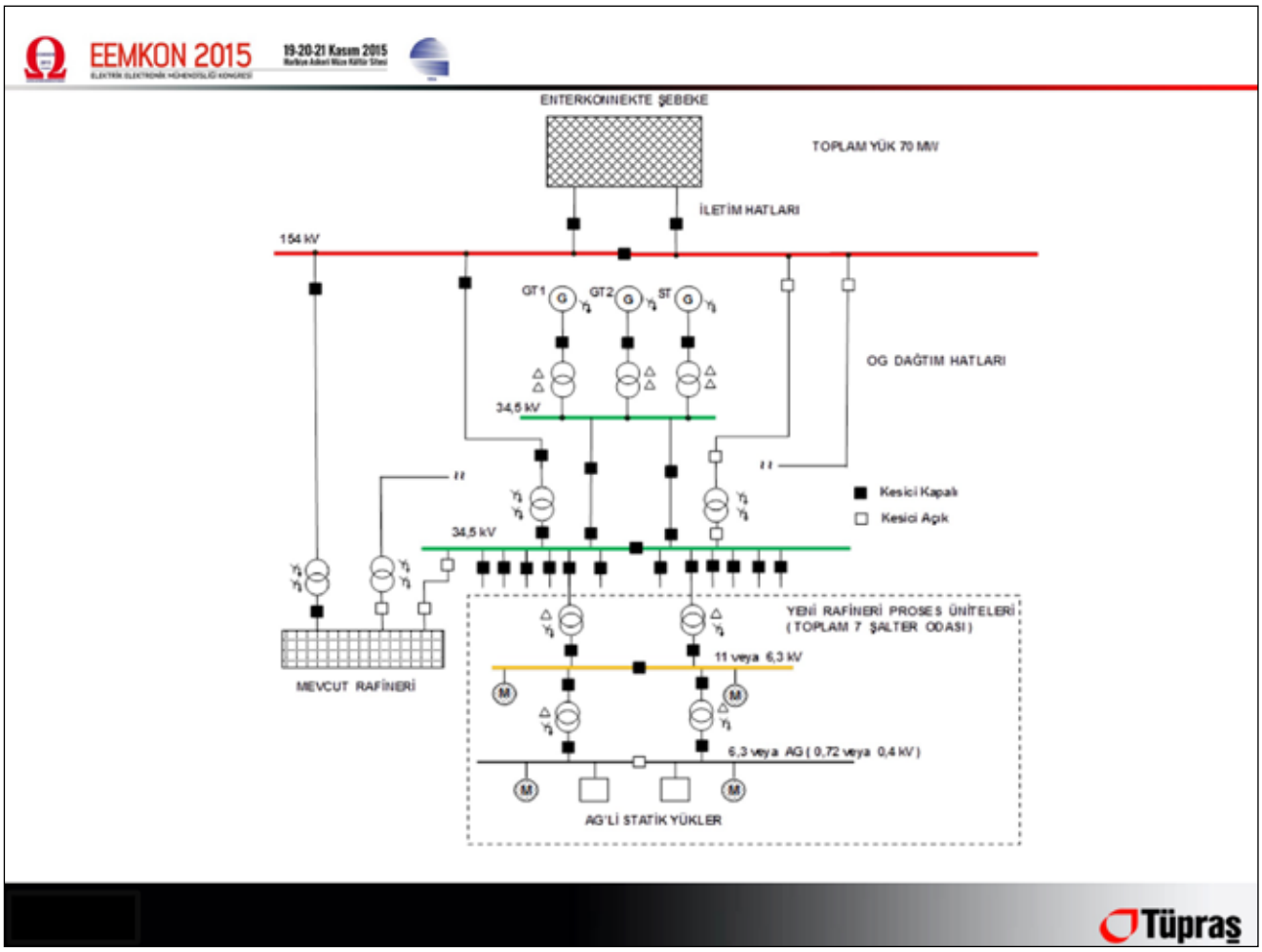
EEMKON 2015 19-20-21 Kasım 2015

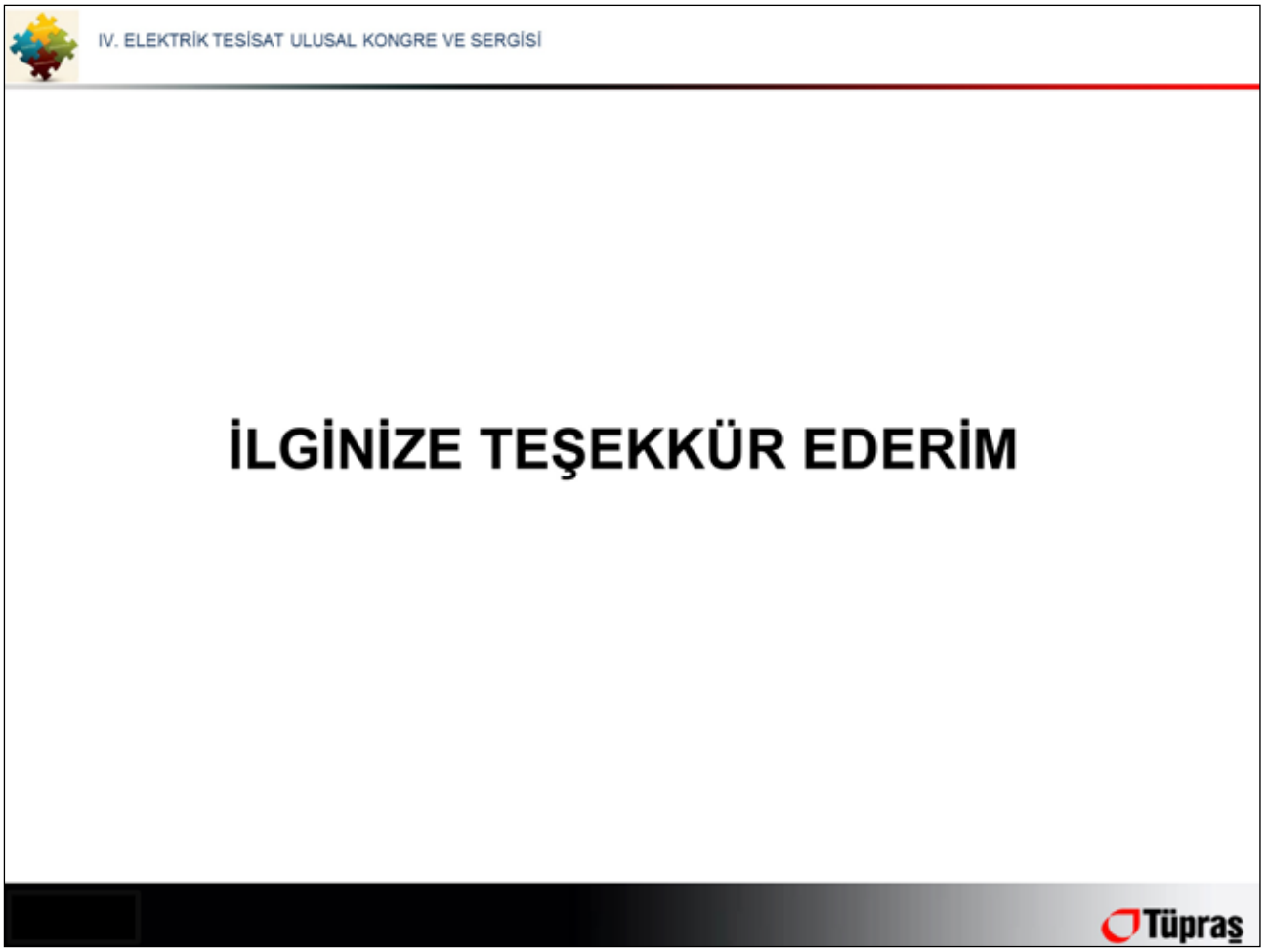
TRANSFORMATÖRLERİN YILDIZ NOKTASININ KONTROLÜ

ENDÜSTRİYEL TESİSİN ORTA GERİLİMLİ ELEKTRİK SİSTEMİNİN TEK BİR NOKTADAN TOPRAKLAMASINI SAĞLAYAN PLC TEMELLİ BİR KONTROL MODÜLÜDÜR.

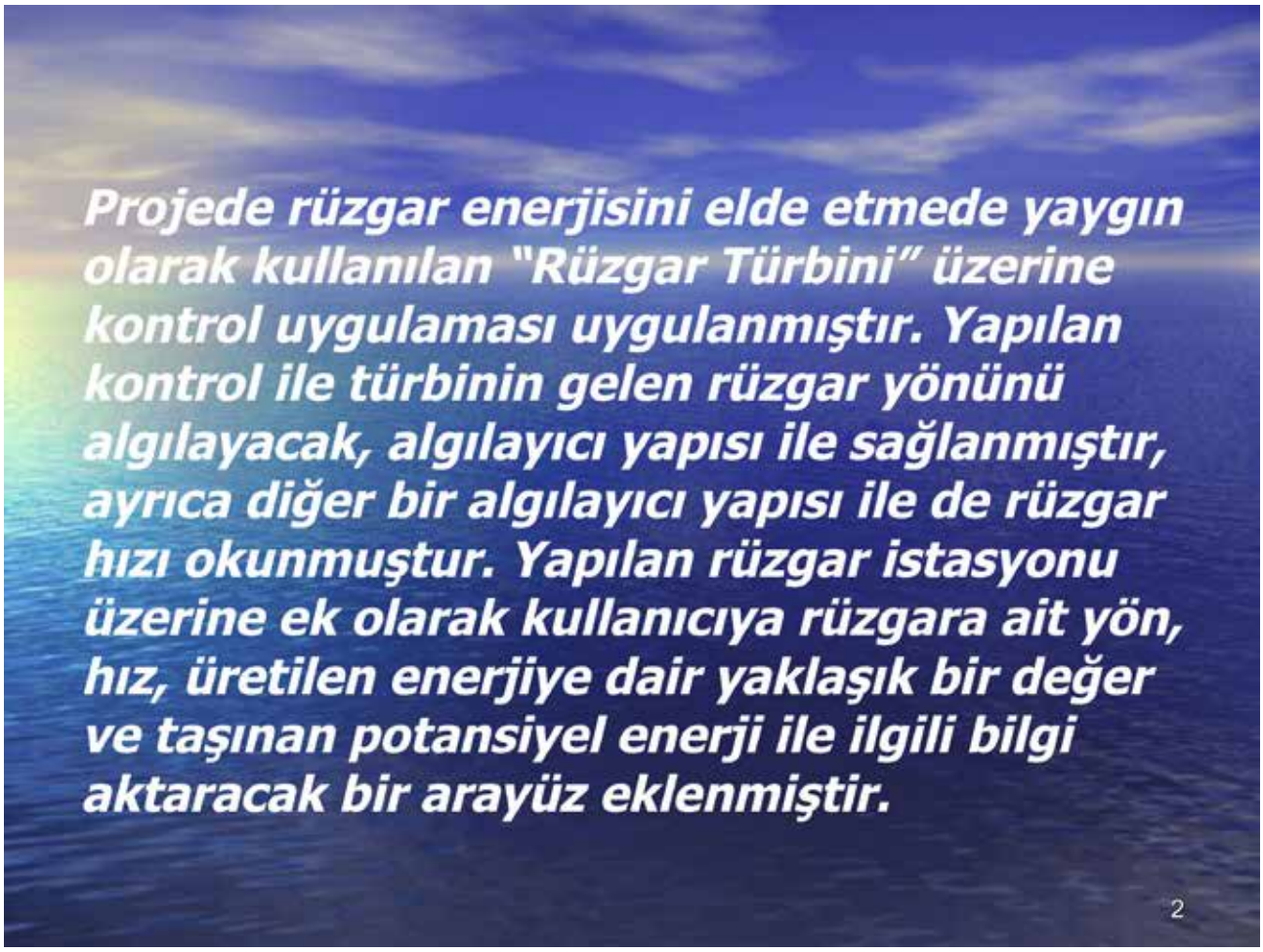
- ENTERKONNEKTE ŞEBEKE İLE PARALEL ÇALIŞMA,
- ADA MODUNDA ÇALIŞMA

Tüpraş

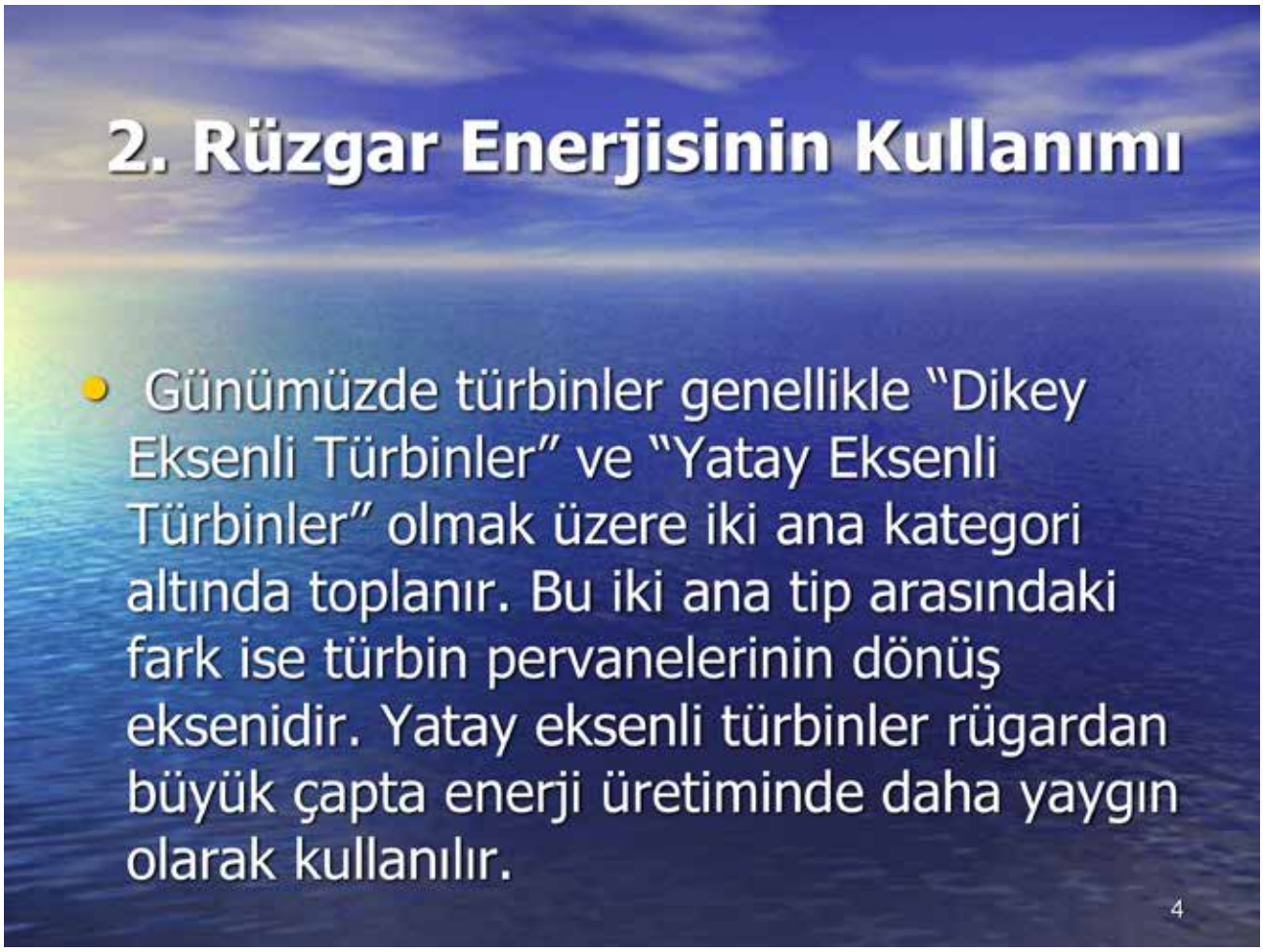

EEMKON 2015
19-20-21 Kasım 2015
ENTERKONNEKTE ŞEBEKE
TOPLAM YÜK 70 MW
İLETİM HATLARI
154 kV
GT1
GT2
ST
OG DAĞITIM HATLARI
34,5 kV
Kesici Kapalı
Kesici Açık
34,5 kV
YENİ RAFİNERİ PROSES ÜNİTELERİ
(TOPLAM 7 ŞALTER ODASI)
11 veya 6,3 kV
MEVCUT RAFİNERİ
6,3 veya AG (0,72 veya 0,4 kV)
AG'Lİ STATİK YÜKLER
Tüpraş


IV. ELEKTRİK TESİSAT ULUSAL KONGRE VE SERGİSİ
İLGİNİZE TEŞEKKÜR EDERİM
Tüpraş

EEMKON2015
ELEKTRİK VE KONTROL MÜHENDİSLİĞİ
Küçük Ölçekli Bir Rüzgar Türbinin Gerçekleştirilmesi
Arma Anıl Kersü iku
Prof. Dr. Hasan DİNÇER
Beykent Üniversitesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
21.11.2015
1


Projede rüzgar enerjisini elde etmede yaygın olarak kullanılan "Rüzgar Türbini" üzerine kontrol uygulaması uygulanmıştır. Yapılan kontrol ile türbinin gelen rüzgar yönünü algılayacak, algılayıcı yapısı ile sağlanmıştır, ayrıca diğer bir algılayıcı yapısı ile de rüzgar hızı okunmuştur. Yapılan rüzgar istasyonu üzerine ek olarak kullanıcıya rüzgara ait yön, hız, üretilen enerjiye dair yaklaşık bir değer ve taşınan potansiyel enerji ile ilgili bilgi aktaracak bir arayüz eklenmiştir.
2

1. Giriş
Rüzgarın enerjisi geçmişten günümüze denizcilikten tarıma pek çok alanda kullanılagelmiştir. Rüzgardan elektrik elde edilmesi ise 1800'lü yılların sonuna doğru gerçekleştirilmiştir. Bunun üzerine rüzgardan mümkün olduğunca etkili biçimde elektrik enerjisi üretmek amacı ile zaman içerisinde farklı boyut ve tasarımlarda "Rüzgar Türbin" leri üretilmiştir.
3


2. Rüzgar Enerjisinin Kullanımı
Günümüzde türbinler genellikle "Dikey Eksenli Türbinler" ve "Yatay Eksenli Türbinler" olmak üzere iki ana kategori altında toplanır. Bu iki ana tip arasındaki fark ise türbin pervanelerinin dönüş eksenidir. Yatay eksenli türbinler rügardan büyük çapta enerji üretiminde daha yaygın olarak kullanılır.
4

Her iki tür türbin de rüzgarın "Taşıma" kuvvetini mümkün olduğunca etkin bir şekilde kullanmaya çalışır. Taşıma kuvveti rüzgarın herhangi bir cisim üzerine uyguladığı iki ana kuvvetten biridir. Uygulanan diğer kuvvet ise "Sürükleme" kuvvetidir. Sürükleme kuvveti, kuvveti uygulayan rüzgar ile aynı yönlüdür, taşıma ise rüzgarın yönüne dik olarak etki eder. Taşıma kuvvetini oluşturmak için ise rüzgarın etki ettiği cismin yüzeyleri arasında basınç farkı oluşturulması ile sağlanır. Bu basınç farkı da cismin yüzeyleri üzerinde akan havanın hızında değişikliklere sebep olur. Aynı şekilde yüzeydeki hız farkları da basınç farklarının korunmasına yardımcı olur.

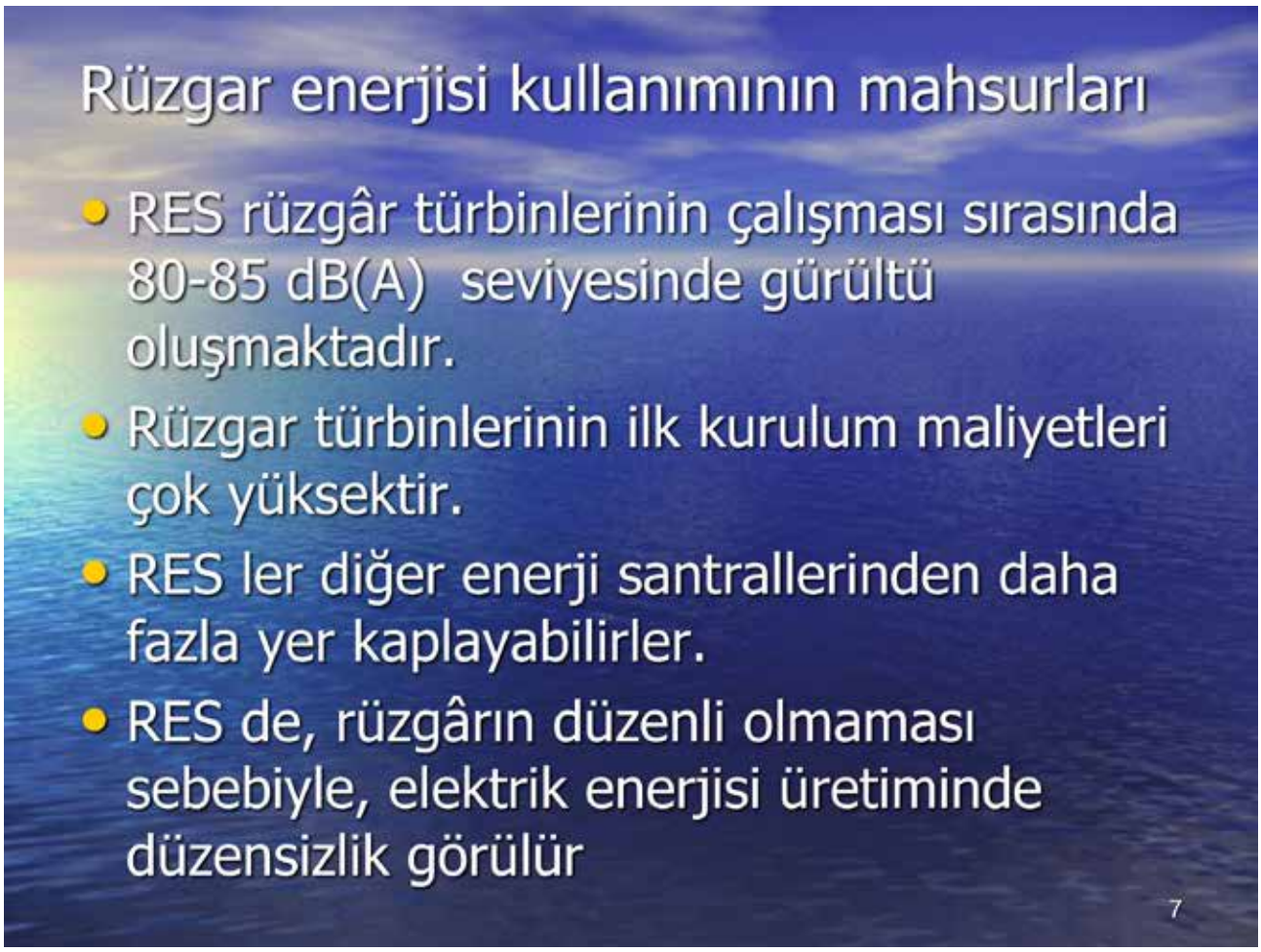
5

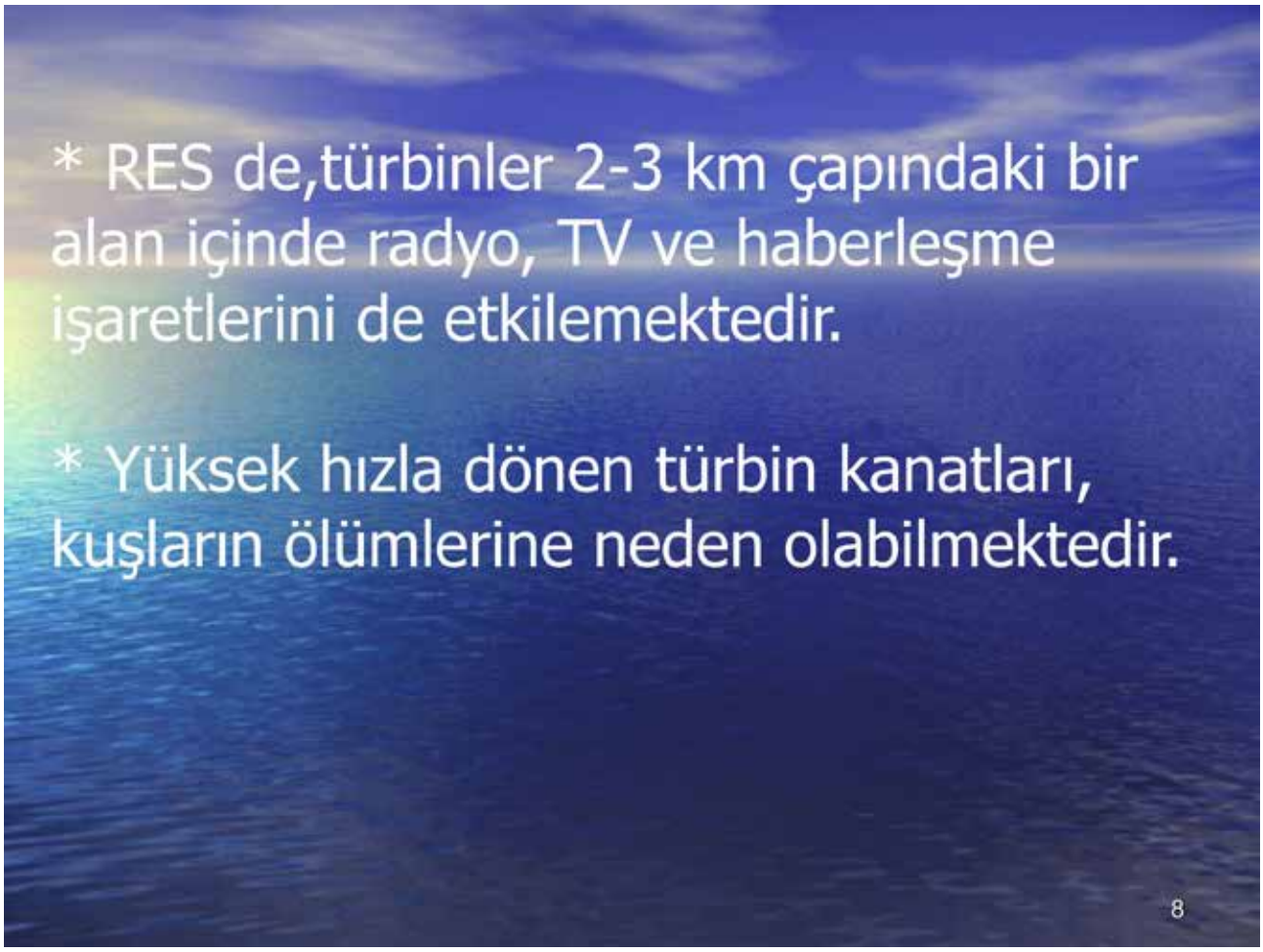
2.1. Rüzgar Enerjisinin Üstünlükleri Mahsurları

Rüzgar enerjisi kullanımının üstünlükleri

- Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir yerli, dışa bağımlı olmayan bir enerji kaynağıdır.
- Rüzgâr türbinleri doğal dengeyi bozmayan çevreci santrallerdir.
- Bir türbinin maliyeti yaklaşık 1500-2000 $/kW' dır. [5]. Rekabetten dolayı , fiyatlar 1000 $/kW ' ın altına düşmektedir.

6


Rüzgar enerjisi kullanımının mahsurları
• RES rüzgâr türbinlerinin çalışması sırasında 80-85 dB(A) seviyesinde gürültü oluşmaktadır.
• Rüzgar türbinlerinin ilk kurulum maliyetleri çok yüksektir.
• RES ler diğer enerji santrallerinden daha fazla yer kaplayabilirler.
• RES de, rüzgârın düzenli olmaması sebebiyle, elektrik enerjisi üretiminde düzensizlik görülür
7


* RES de,türbinler 2-3 km çapındaki bir alan içinde radyo, TV ve haberleşme işaretlerini de etkilemektedir.
* Yüksek hızla dönen türbin kanatları, kuşların ölümlerine neden olabilmektedir.
8

2.2. Rüzgar Türbinlerinde Güç bağıntısı Betz Limiti

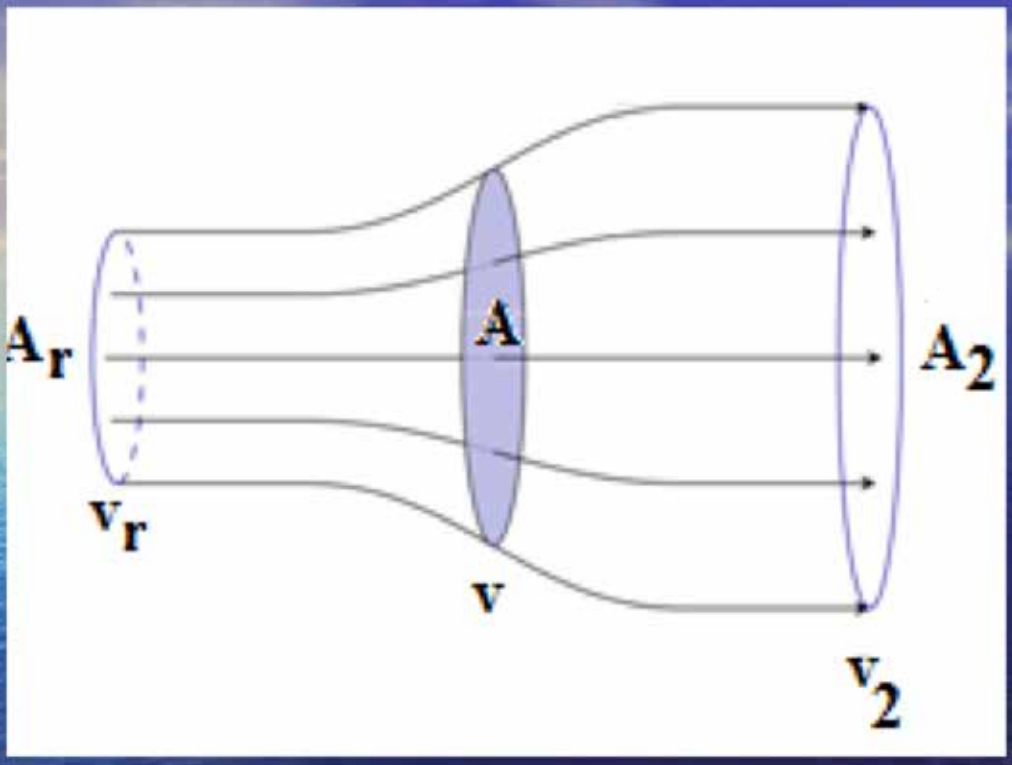
- Türbinler, pervanelerinde kullanılan "Kanat Profili" sayesinde hız/basınç farkına sebep olur ve rüzgardan taşma kuvveti elde etmeyi amaçlarlar.
- Kanat profili kanatların uç kısımlarının rüzgarın hızına göre daha hızlı dönmesine de yardımcı olur. Bu da enerjinin etkin elde edilmesinde önemli bir etkendir.

9

Eğer kanatların uç hızlarının oranı rüzgara göre düşük ise rüzgar kanatların arasından kanatlara hareket vermeden geçer. Aynı şekilde bu oran çok yüksek ise kanatlar gelen rüzgarın karşısında tıpkı katı bir cisim gibi davranır ve rüzgarın geçişini engeller.

Bir rüzgar türbinde, türbine uygulanan rüzgarın bileşenleri Şekil 1 de verilmiştir.

10



Şekil 1 : Türbine uygulanan rüzgarın bileşenleri

11

Burada

- v_r rotorun önündeki rüzgarın hızını, v türbindeki rüzgarın hızını ve v_2 rotordan çıkan rüzgarın hızını, p akışkanın yoğunluğunu, ve A_r türbinin yüzey alanını, Ar ve A_2 ise türbine ulaşmadan ve ulaştıktan sonraki akışkanın kesit alanlarını göstermektedir.

12

havanın kinetik enerjisi Ek, $E_{hk} = \frac{1}{2} m_r v_r^2$

- Rüzgarın sahip olduğu güç ise

$$P_r = \frac{dE_{hk}}{dt} = \frac{d(\frac{1}{2} m_r v_r^2)}{dt} = \frac{1}{2} m_r v_r^2$$

- şeklinde verilebilir. Kütlelerin korunumu ilkesini rüzgar türbininde akışkana uygulayarak

13

kk $\dot{m}_r = \rho A_r v_r = \rho A v = \rho A_2 v_2$

- elde ederiz . Bu bağıntı akışkan yoğunluğunun, akışkan kesiti ve akışkan hızı ile çarpımının; akışkanın türbinin girişindeki, türbinin içerisinde ve türbinden sonraki bölgelerin her birinde birbirine eşit olması gerektiğini belirtiyor. Rüzgar tarafından rotor üzerine uygulanan kuvvet aşağıdaki gibi verilebilir.

14

$$F = ma = m\frac{dv}{dt} = m\&dv \cong m\&\Delta v = \rho Av(v_r - v_2) \quad (4)$$

Rüzgarın gücü

$$P_r = \frac{dw_{is}}{dt} = \frac{Fdx}{dt} = Fv \quad (5)$$

şeklindedir. Denk. (4) deki kuvvet bağıntısını denk. (5) yerine yerleştirirsek

15

$$v = \frac{1}{2}(v_r + v_2)$$

bulunur. Bu sonuç rotora uygulanan rüzgarın hızının, girişteki rüzgar hızı ile rotorun çıkışındaki rüzgar hızının ortalamasına eşit olduğunu belirtiyor.

16

$$P_{r,enbüyük}\left(z=\frac{1}{3}\right)=\frac{1}{4}\rho A v_r^3\frac{32}{27}=\frac{16}{27}\frac{1}{2}\rho A v_r^3$$

$$P_{r,enbüyük}=\frac{1}{2}C_P\rho A v_r^3$$

17

Beltz sabiti (güç katsayısı)

$$C_P=\left(\frac{P_2}{P_r}\right)$$

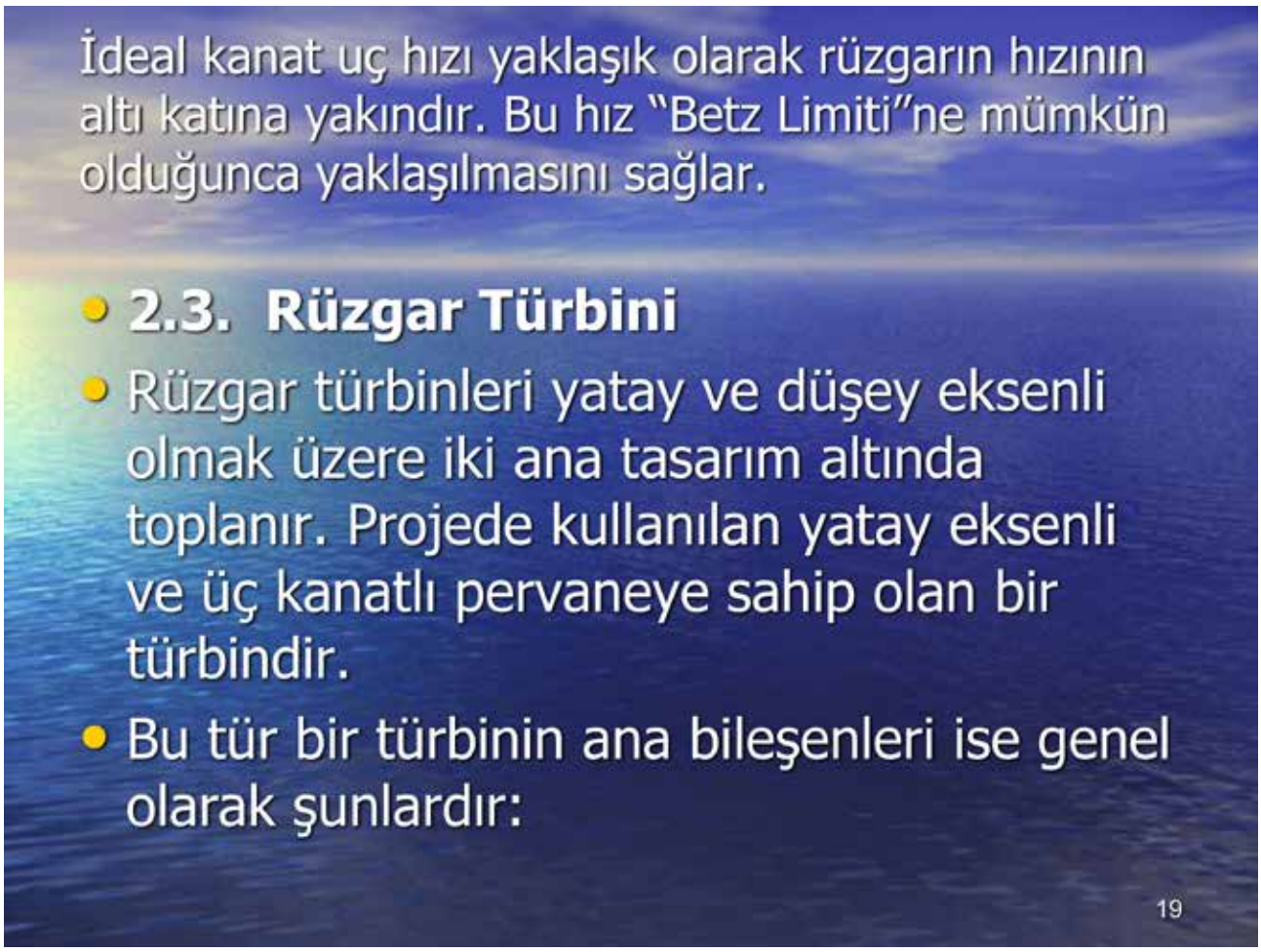
olarak bilinir.

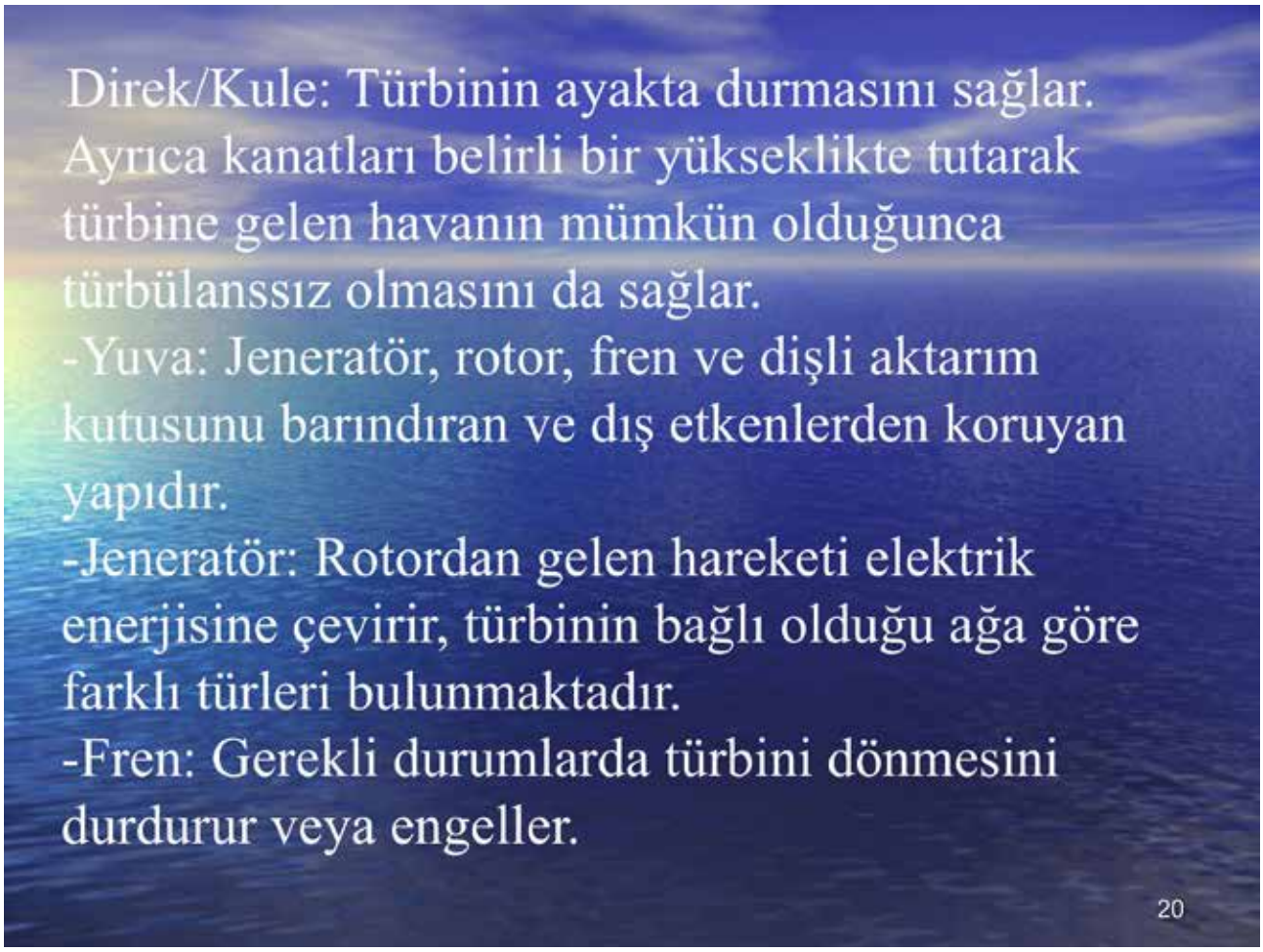
C_P nin enbüyük değeri,

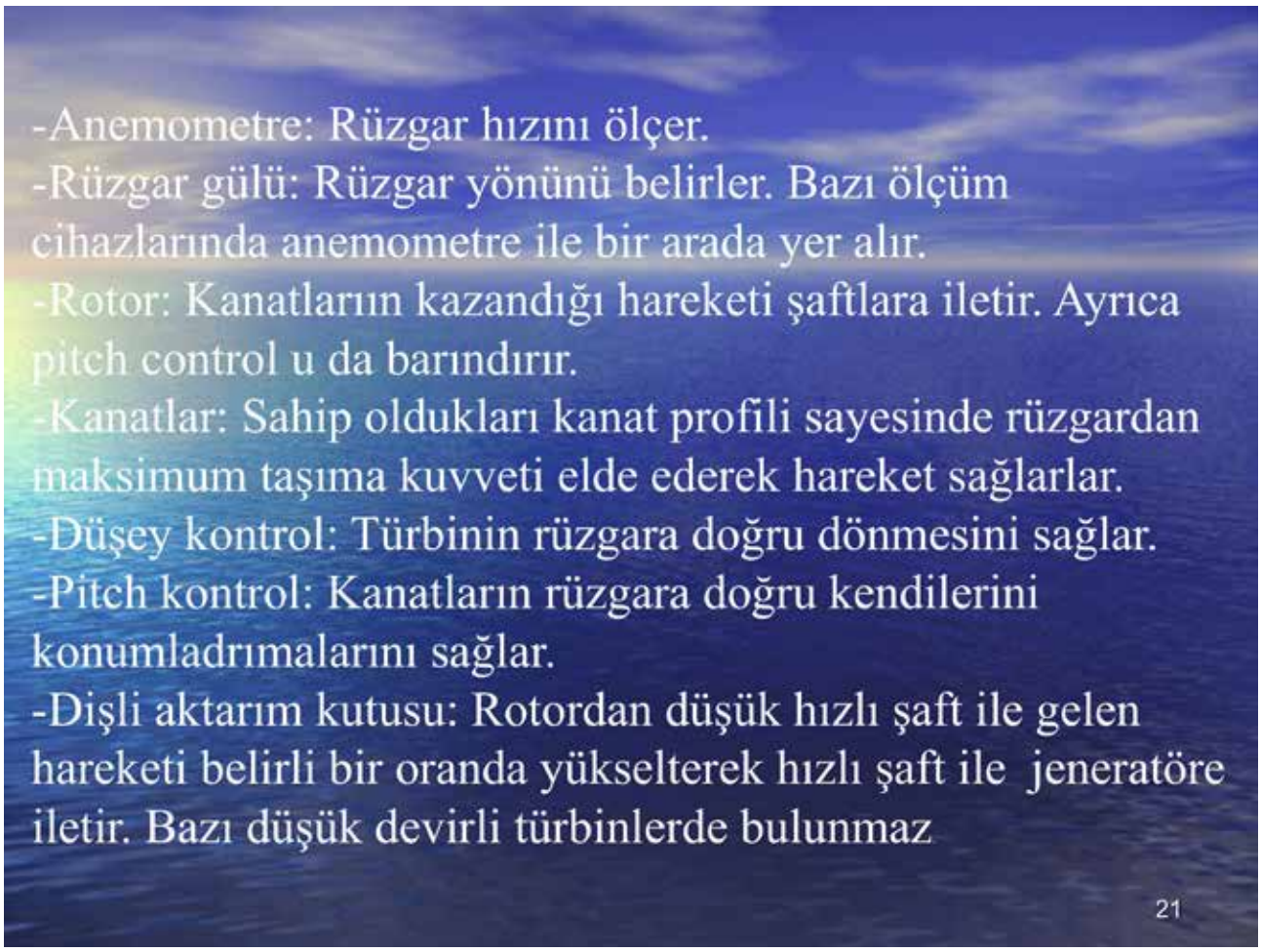
$$C_{P,eb}=\left(\frac{P_2}{P_r}\right)_{eb}=\frac{16}{27}=0.593$$

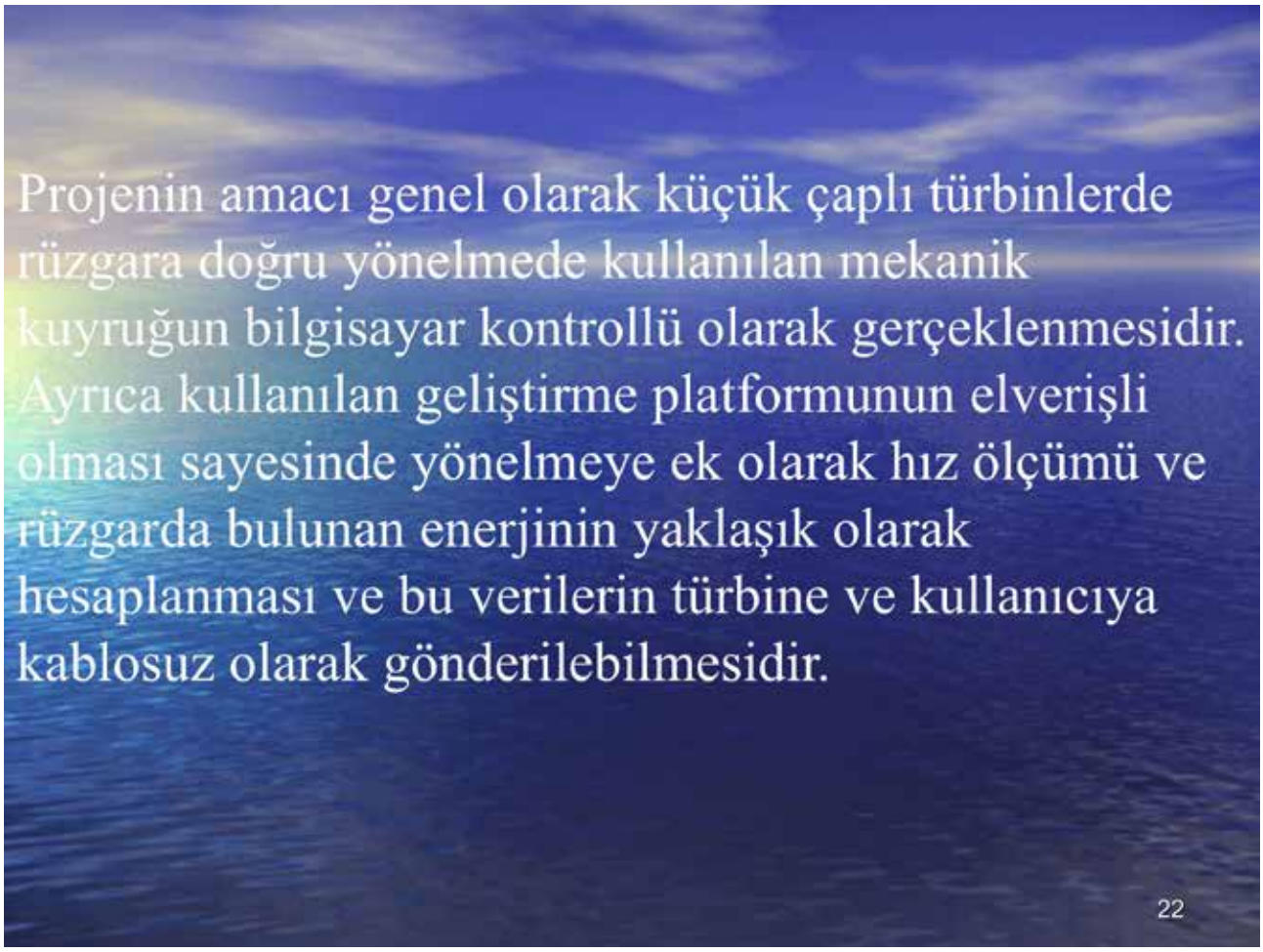
olarak bulunur.

18


İdeal kanat uç hızı yaklaşık olarak rüzgarın hızının altı katına yakındır. Bu hız "Betz Limiti"ne mümkün olduğunca yaklaşılmasını sağlar.
2.3. Rüzgar Türbini
Rüzgar türbinleri yatay ve düşey eksenli olmak üzere iki ana tasarım altında toplanır. Projede kullanılan yatay eksenli ve üç kanatlı pervaneye sahip olan bir türbindir.
Bu tür bir türbinin ana bileşenleri ise genel olarak şunlardır:
19


Direk/Kule: Türbinin ayakta durmasını sağlar. Ayrıca kanatları belirli bir yükseklikte tutarak türbine gelen havanın mümkün olduğunca türbülanssız olmasını da sağlar.
-Yuva: Jeneratör, rotor, fren ve dişli aktarım kutusunu barındıran ve dış etkenlerden koruyan yapıdır.
-Jeneratör: Rotordan gelen hareketi elektrik enerjisine çevirir, türbinin bağlı olduğu ağa göre farklı türleri bulunmaktadır.
-Fren: Gerekli durumlarda türbini dönmesini durdurur veya engeller.
20


-Anemometre: Rüzgar hızını ölçer.
-Rüzgar gülü: Rüzgar yönünü belirler. Bazı ölçüm cihazlarında anemometre ile bir arada yer alır.
-Rotor: Kanatların kazandığı hareketi şaftlara iletir. Ayrıca pitch control u da barındırır.
-Kanatlar: Sahip oldukları kanat profili sayesinde rüzgardan maksimum taşıma kuvveti elde ederek hareket sağlarlar.
-Düşey kontrol: Türbinin rüzgara doğru dönmesini sağlar.
-Pitch kontrol: Kanatların rüzgara doğru kendilerini konumladırmalarını sağlar.
-Dişli aktarım kutusu: Rotordan düşük hızlı şaft ile gelen hareketi belirli bir oranda yükselterek hızlı şaft ile jeneratöre iletir. Bazı düşük devirli türbinlerde bulunmaz
21


Projenin amacı genel olarak küçük çaplı türbinlerde rüzgara doğru yönelmede kullanılan mekanik kuyruğun bilgisayar kontrollü olarak gerçeklenmesidir. Ayrıca kullanılan geliştirme platformunun elverişli olması sayesinde yönelmeye ek olarak hız ölçümü ve rüzgarda bulunan enerjinin yaklaşık olarak hesaplanması ve bu verilerin türbine ve kullanıcıya kablosuz olarak gönderilebilmesidir.
22

Bu doğrultuda projeyi üç ana bölüme ayırmak mümkündür. Rüzgarın akış hızı ve yönünü içinde bulundurduğu sensörler ile algılayacak olan hava istasyonu bölümü, gelen bilgilere göre türbini yönlendirecek olan türbin istasyonu ve türbin istasyonundaki bilgilere göre gerekli hesaplamaları yaparak kullanıcıya rüzgarın hızını, yönünü ve enerjisini gösterecek olan kullancı arayüzü.

23

2.4. Geçekleştirilen Küçük Ölçekli Rüzgar Türbini

- ***2.4.1. Yazılım***
- Arduino IDE (Version 1.6.3): Arduino kartlarına kod yazmak ve yüklemek için.
- Maniacbug's RF24 Library: Kablosuz haberleşmeyi kolaylaştırmak için gereken altyapı kütüphanesi.
- Microsoft Visual Studio 2010: Projenin kullanıcı arayüzünü gerçeklemek için.
- Fritzing (Version 0.9): Projenin kablo diyagramlarını oluşturmak için. (Şekil-4 ve Şekil-5)

24

2.4.2.Donanım

- 2 adet model bot şaftı: Rüzgar gülü ve anemometrenin kendi eksenleri etrafında dönebilen ana direklerinde kullanılmıştır.Projede kullanılan şaftların uzunluğu 20cm dir.
- 4 adet kap: Anemometrede üç adet kap rüzgar toplayıcı olarak, bir tanesi ise tepe kısmında sensöre ve mıknatısa ev sahipliği yapar.Kapların çapı 6cm dir.
- UGN3503 Linear Hall Effect Sensor: Mıknatıs ile birlikte anemometrede dönüş sayısını ölçer.

25

2.4.3. Hava İstasyonu

- Hava istasyonu bir rüzgar gülü ve anemometreden oluşmaktadır. Her iki yapı da kendi içerisindeki sensörlerden topladıkları bilgileri türbin istasyonuna aktarılmak üzere Arduino kartına gönderir.
- Anemometre düşey eksen etrafında dönebilen bir direk ve üzerine yerleştirilmiş ve herbiri arasında 120^0 açı olan üç koldan oluşur.

26

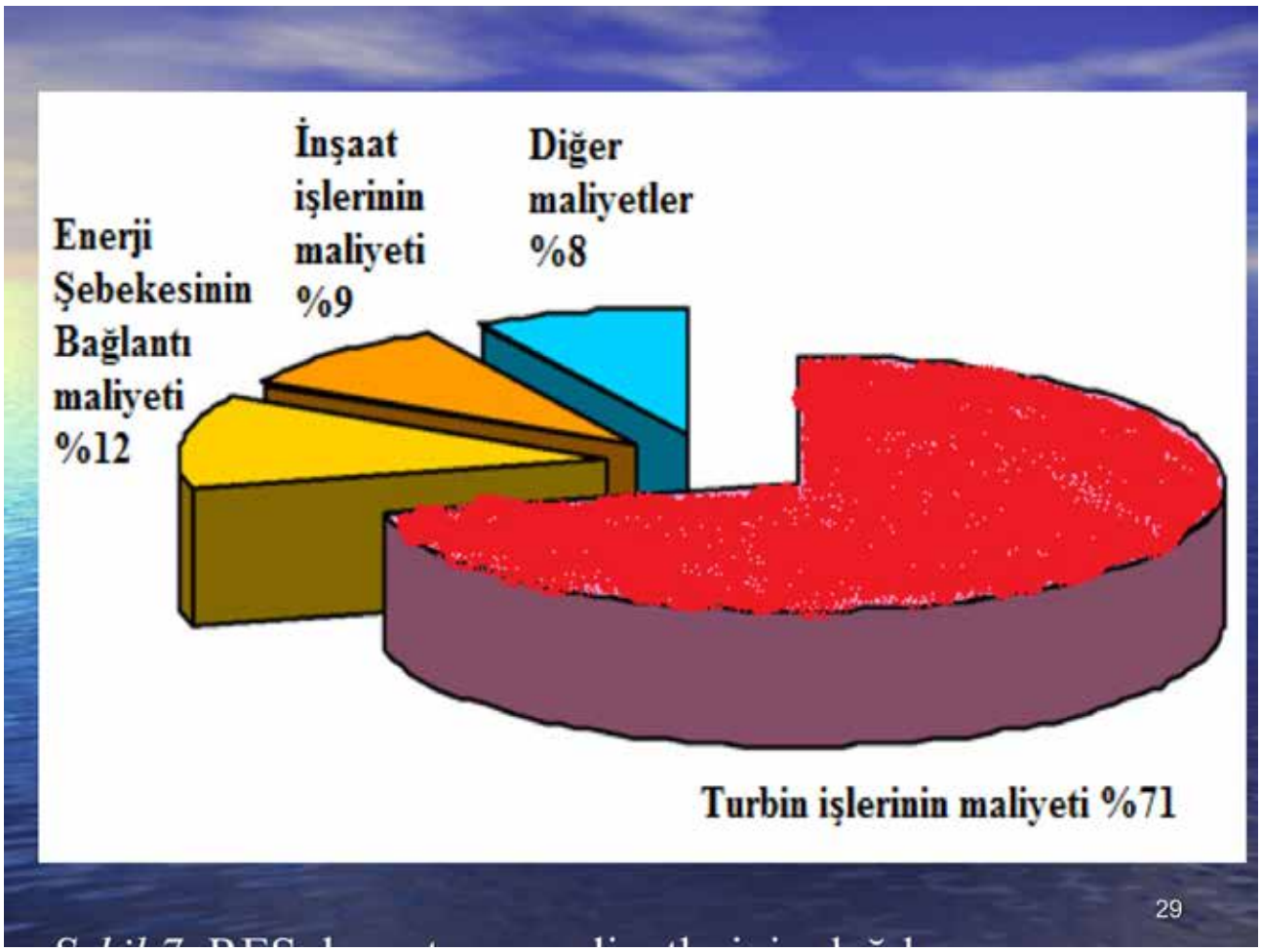
Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi, yatırım giderleri açısından yüksek sermaye gerektirmesine rağmen; yakıt ve işletme giderleri açısından oldukça düşük sermayeye ihtiyaç duymaktadır. Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretim maliyeti; yatırım maliyetleri ve değişken maliyetlerden oluşmaktadır

Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretim maliyeti; yatırım maliyetleri ve değişken maliyetlerden oluşmaktadır.

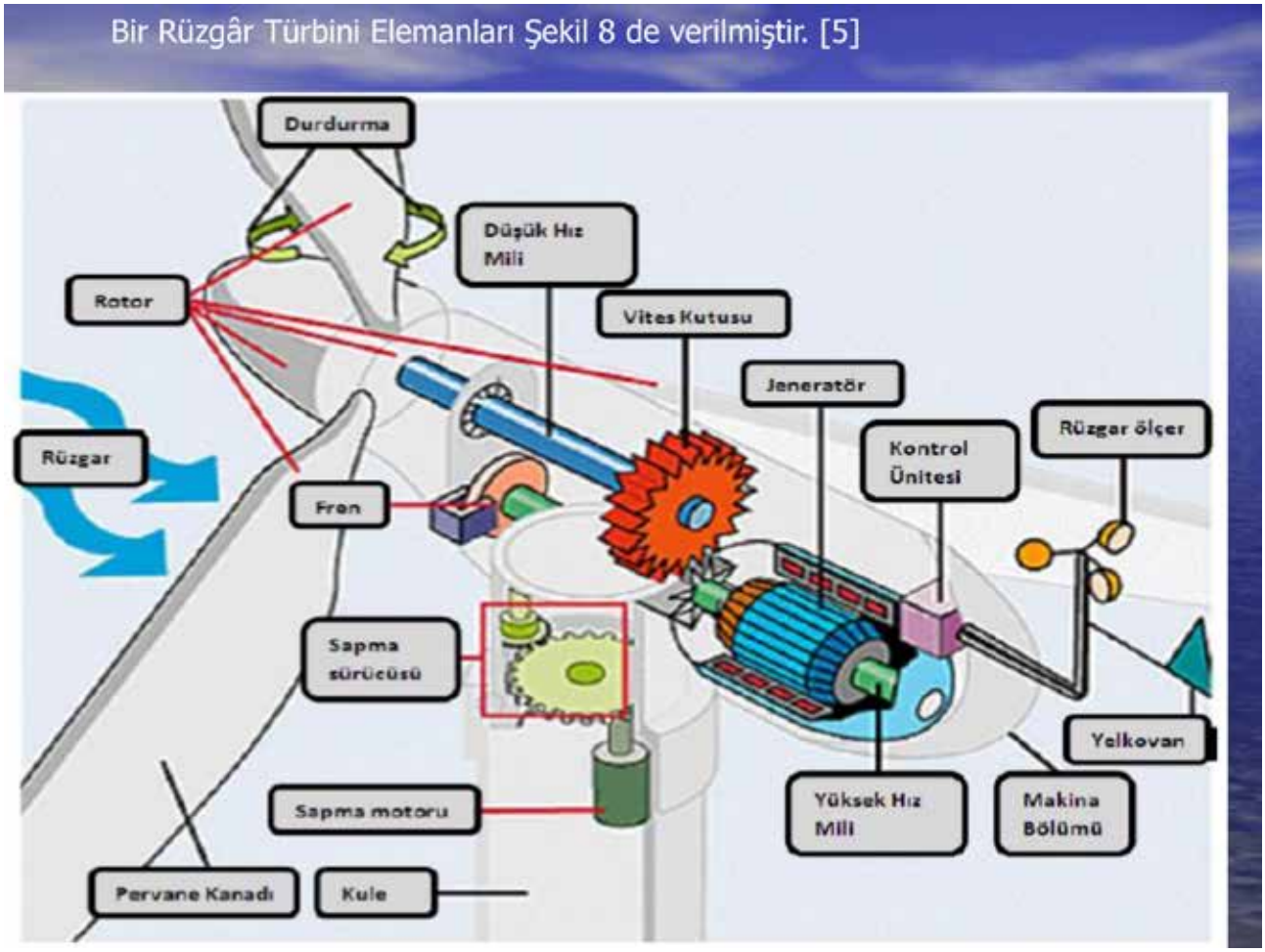
27

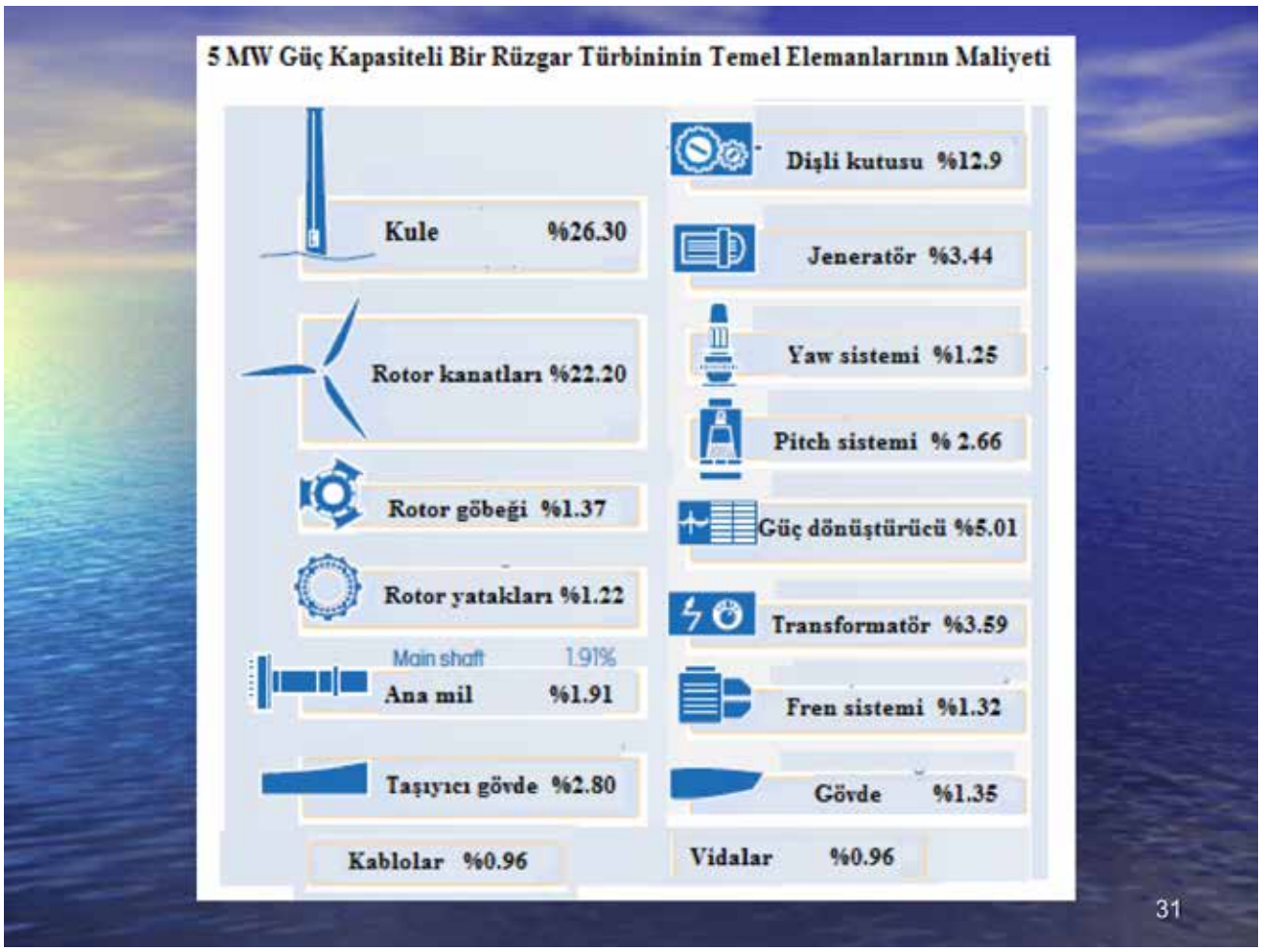
Rüzgâr türbinlerinin yatırım maliyetleri tüm elemanlarının sağlanması, bu elemanların türbinin kurulacağı bölgeye taşınması ve kurulumlarının yapılması gibi giderleri içermektedir. Ayrıca sistemin elektrik şebekesine bağlantısı, binaların, yolların ve çevre düzenlemesinin yapılması, lisans alma ve danışmanlık hizmetleri, veri izleme ve denetim sisteminin maliyetlerini oluşturmaktadır. Tüm maliyetin yaklaşık olarak %80'ini yatırım maliyetleri oluşturmaktadır. Yatırım maliyetleri içerisinde en büyük maliyeti, Şekil 8'den görülebileceği üzere %71'le türbinle ilgili işler (türbin elemanlarının temini ve taşınması, türbinin kurulumu) oluşturmaktadır. [5]

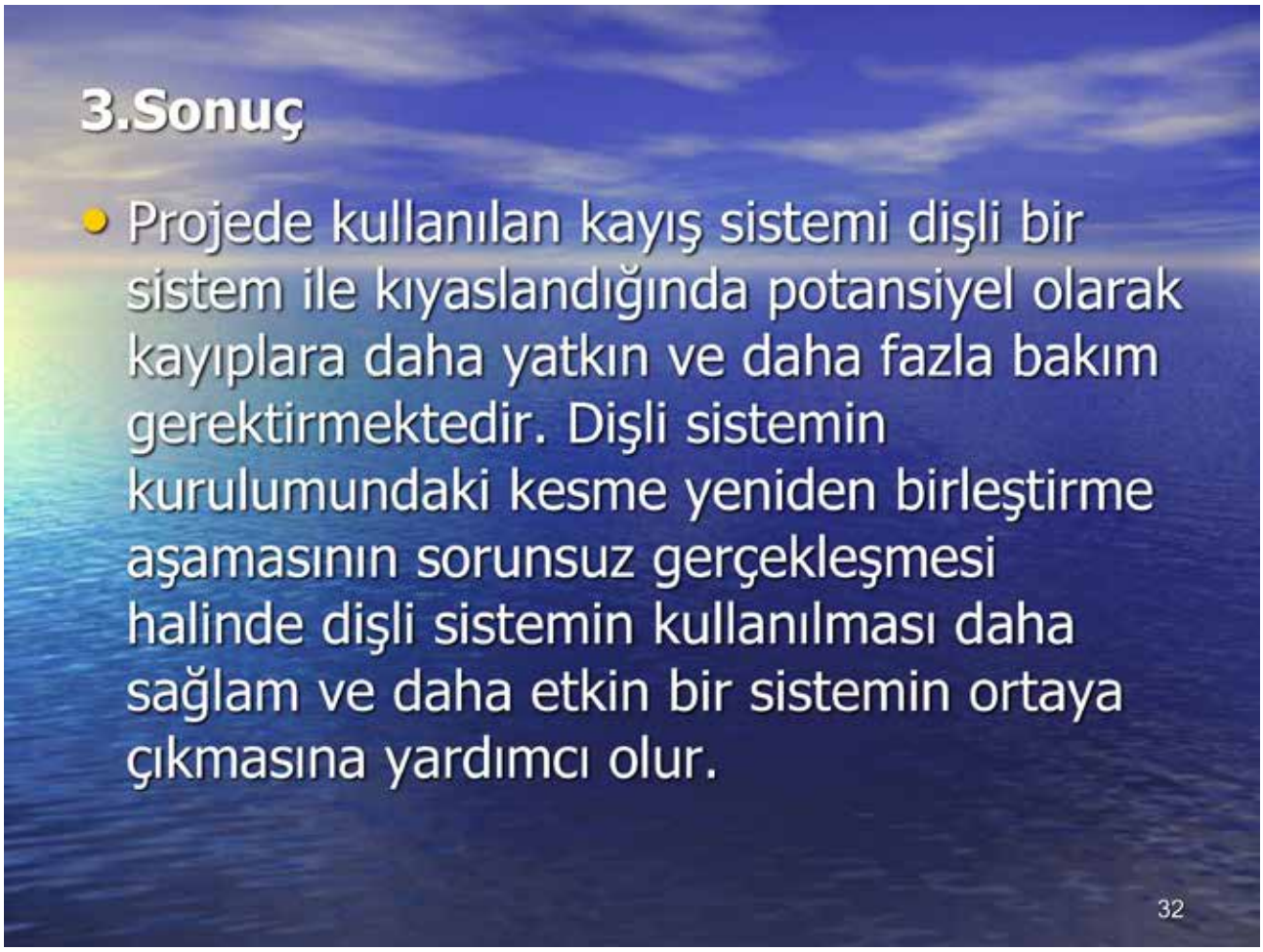
28

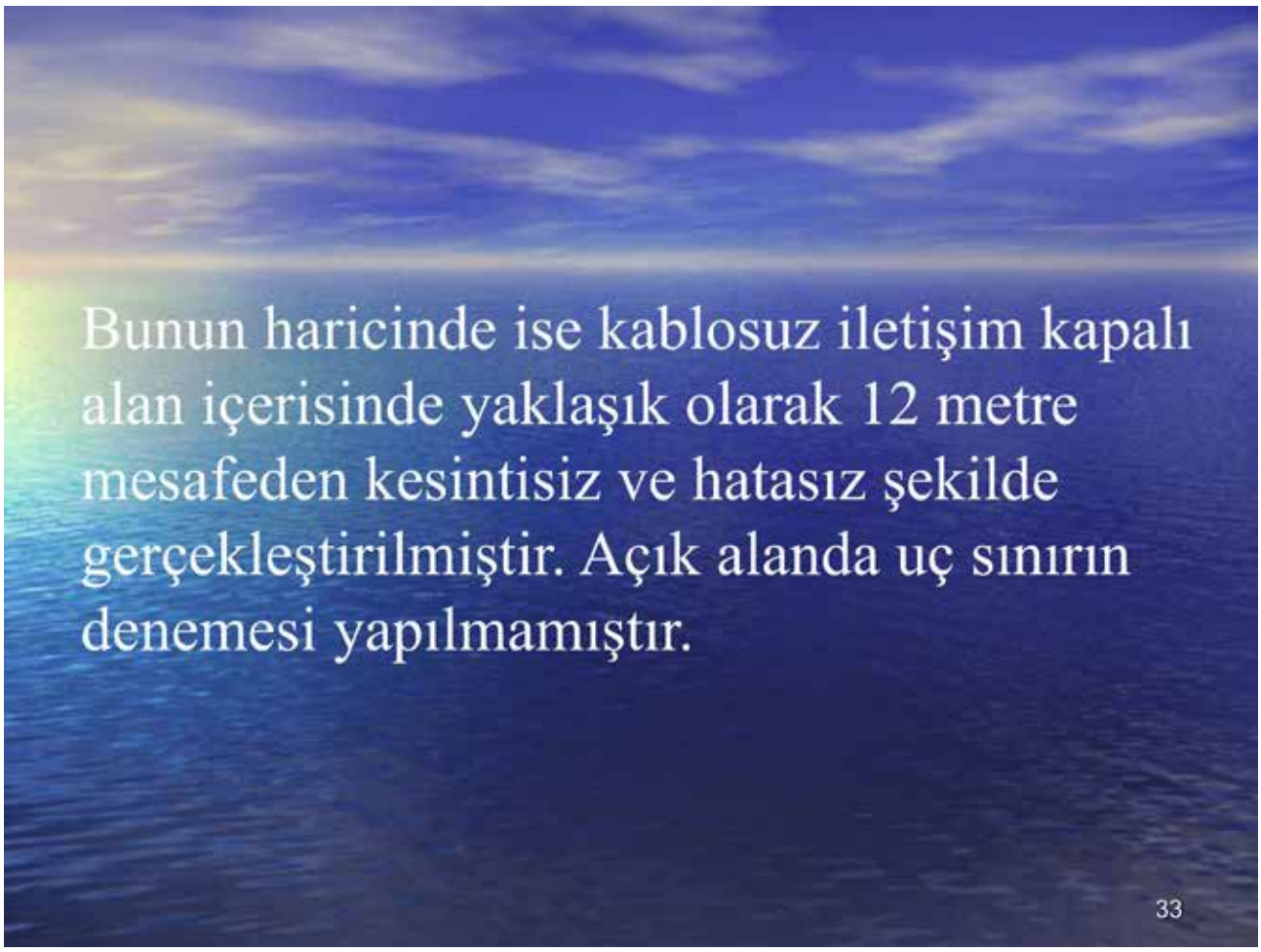


Bir Rüzgâr Türbini Elemanları Şekil 8 de verilmiştir. [5]

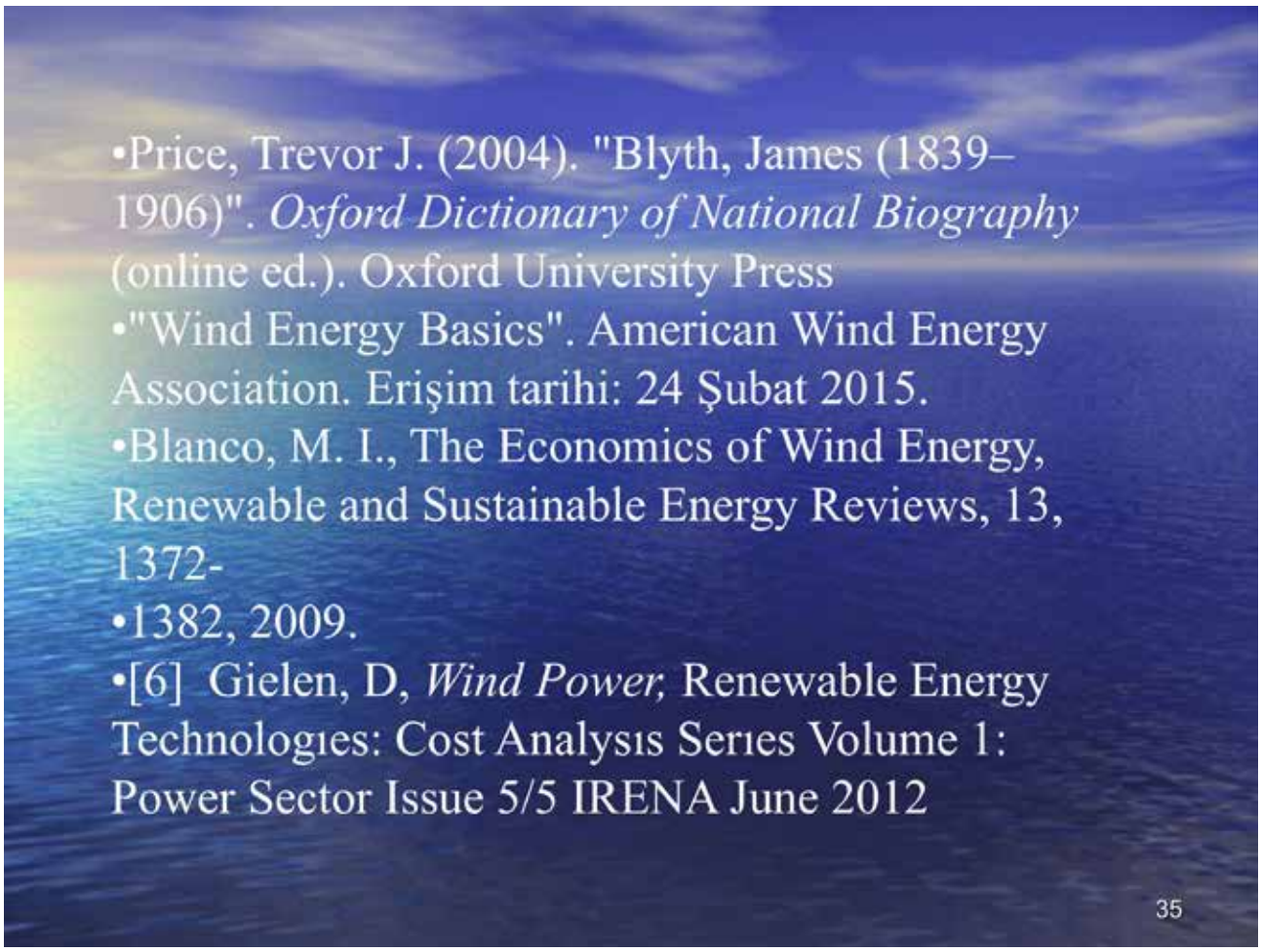



5 MW Güç Kapasiteli Bir Rüzgar Türbininin Temel Elemanlarının Maliyeti
Kule %26.30
Rotor kanatları %22.20
Rotor göbeği %1.37
Rotor yatakları %1.22
Main shaft 1.91%
Ana mil %1.91
Taşıyıcı gövde %2.80
Kablolar %0.96
Dişli kutusu %12.9
Jeneratör %3.44
Yaw sistemi %1.25
Pitch sistemi % 2.66
Güç dönüştürücü %5.01
Transformatör %3.59
Fren sistemi %1.32
Gövde %1.35
Vidalar %0.96
31


3.Sonuç
• Projede kullanılan kayış sistemi dişli bir sistem ile kıyaslandığında potansiyel olarak kayıplara daha yatkın ve daha fazla bakım gerektirmektedir. Dişli sistemin kurulumundaki kesme yeniden birleştirme aşamasının sorunsuz gerçekleşmesi halinde dişli sistemin kullanılması daha sağlam ve daha etkin bir sistemin ortaya çıkmasına yardımcı olur.
32


Bunun haricinde ise kablosuz iletişim kapalı alan içerisinde yaklaşık olarak 12 metre mesafeden kesintisiz ve hatasız şekilde gerçekleştirilmiştir. Açık alanda uç sınırın denemesi yapılmamıştır.
33

4. Kaynaklar
Muljadi E, Butterfield C, Chacon J, Romanowitz H. Power quality aspects in a wind power plant. 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting. 2006. doi:10.1109/pes.2006.1709244.
Raeng.org.uk.2015.Availableat:http://www.raeng.org.uk/publications/other/23-wind-turbine. Erişim tarihi: 20 Şubat 2015
34


•Price, Trevor J. (2004). "Blyth, James (1839–
1906)". *Oxford Dictionary of National Biography*
(online ed.). Oxford University Press
•"Wind Energy Basics". American Wind Energy
Association. Erişim tarihi: 24 Şubat 2015.
•Blanco, M. I., The Economics of Wind Energy,
Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13,
1372-
•1382, 2009.
•[6] Gielen, D, *Wind Power,* Renewable Energy
Technologies: Cost Analysis Series Volume 1:
Power Sector Issue 5/5 IRENA June 2012
35

ELEKTRİK KONTROL MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU-II

Oturum Yöneticisi: Mehmet Mak (EMO)

Transformatörlerin Sinüzoidal Olmayan Şartlarda Azami Yüklenme Oranı Hesabı
Emrah Arslan, Öğr. Gör. Şevket Cantürk, Yrd. Doç. Dr. Murat Erhan Balcı (Balıkesir Üniv.)..... 38

İki Dağıtım Transformatörünün Kayıplarının Analizi Ve Karşılaştırılması
Öznur Doğdu, Niyazi Güçlü, Doç. Dr. Yüksel Oğuz (Afyon Kocatepe Üniv.)..... 48

Elektrik Şebekeleri ve Afet
Yrd. Doç. Dr. Figen Özen (Haliç Üniversitesi)..... 53

Yerel Elektrik Santrallerinin Dağıtım Sistemine Yerleştirilmesinde Duyarlılık İndisinin YAK Algoritmasına Etkisinin İncelenmesi
Arş. Gör. Ayşe Aybike Şeker, Dr. Tubal Gözel, Prof. Dr. Mehmet Hakan Hocaoğlu (Gebze Teknik Üniv.)..... 59

Transformatörlerin Sinüzoidal Olmayan Şartlarda Azami Yüklenme Oranı Hesabı Kısım 1: Geliştirilen Algoritma

[1]Emrah ARSLAN *[2]Şevket CANTÜRK* *[3]Murat Erhan BALCI*

[1,2,3]Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Balıkesir Üniversitesi

[1]earslan, [2]scanturk, [3]mbalci@balikesir.edu.tr

Özet: *Gerilimin toplam harmonik bozulmasının ihmal edilebilir seviyelerde olduğu kabul edilerek doğrusal olmayan yüklerin karakteristik akım harmoniklerine göre yapılan azami yüklenme oranı hesapları, transformatörlerin tüketici tesisinin içinde yer aldığı dolayısıyla gerilim harmonik bozulmasının sınırlama altına alınmadığı durumlarda hatalı sonuçlar verebilir. Bu durumda, azami yüklenme oranının hesabında meydana gelebilecek hatanın büyüklüğü öncelikle; gerilim harmoniklerinin yük akımı harmoniklerine etkisine ve dolaylı olarak sargı kayıplarına etkisine bağlıdır. Ayrıca, gerilim harmoniklerinin çekirdek kayıplarına etkisi önemli değerlerde olabilir. Bu çalışmasının birinci kısmında, sinüzoidal olmayan gerilimler ve akımlar altında transformatörlerin azami yüklenme oranının belirlenmesi için bir algoritma geliştirmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında [1] ise; bu algoritmayla yapılacak analiz sonuçlarını referans alarak, gerilim ile akıma ait farklı harmonik kirlilik seviyelerinde maliyet-performans bakımından en uygun transformatör tasarımları belirlenmiştir.*

Anahtar Kelimeler: *Transformatör, sinüzoidal olmayan şartlar, harmonikler, azami yüklenme oranı, deratasyon*.

Abstract: *The transformer maximum loading rate calculation, found according to the characteristics of the current harmonics of the nonlinear load by assuming voltage total harmonic distortion at negligible levels, can give incorrect results where the transformer is located in the customer's system, which is not taken under the limitations of the voltage harmonic distortion. In this case, the error that may occur in the calculation of the maximum loading rate mainly depends on the effects of the voltage harmonics over load current harmonics and indirectly winding losses. Also, the effect of voltage harmonics on the core loss can be significant values. In the first part of this study, an algorithm was developed to determine the maximum load ratio of the transformers under non-sinusoidal voltages and currents. In the second part of this study [1]; with reference to the results of the analysis to be performed by this algorithm, optimal designs of transformers have been determined by regarding their cost-performance at different levels of harmonic pollution from the current and voltage.*

Keywords: *Transformer, non-sinusoidal conditions, harmonics, maximum loading rate, the derating.*

I.SEMBOLLER

DF: Azami yüklenme oranı veya deratasyon faktörü.
F_{HL}: Harmonik kayıp faktörü.
$F_{HL\text{-}STR}$: Harmonik kaçak kayıp faktörü.
I_{azami}: Transormatörün sinüzoidal olmayan şartlarda besleyebileceği azami akım değeri.
I_R: Transformatör anma akımı.
R_{EC}: Transformatör sargılarının girdap akımı kayıplarıyla alakalı direncinin primer taraftan görünen değeri.
R_{DC}: Transformatör sargılarının doğru akım direncinin primere indirgenmiş değeri.
R_{OSL}: Transformatör sargılarının diğer kaçak kayıplarıyla alakalı direncinin primere indirgenmiş değeri.
R_{pDC} : Transformatör primer sargısının doğru akım direnci.
R_{pEC} : Transformatör primer sargısının girdap akımı kayıplarıyla alakalı direnci.
R_{pOSL} : Transformatör primer sargısının diğer kaçak kayıplarıyla alakalı direnci.
R_{sDC} : Transformatör sekonder sargısının doğru akım direncinin primere indirgenmiş değeri.
R_{sEC} : Transformatör sekonder sargısının girdap akımı kayıplarıyla alakalı direncinin primere indirgenmiş değeri.
R_{sOSL} : Transformatör sekonder sargısının diğer kaçak kayıplarıyla alakalı direncinin primere indirgenmiş değeri.
P_{FEh} : Transformatörün demir (veya çekirdek) kayıplarının h. harmonik değeri.
P_{OSLh} : Transformatörün diğer kaçak kayıplarının h. harmonik değeri.
P_{FE-R} : Transformatörün anma demir kaybı.
P_{OSL-R} : Transformatörün anma diğer kaçak kaybı.
X_{ph} : Transformatörün primer sargısının h. harmonik reaktansı.
X_{sh} : Transformatörün sekonder sargısının h. harmonik reaktansının primere indirgenmiş değeri.

II.GİRİŞ

Günümüz güç sistemlerinde, sinüzoidal olmayan akım çeken (doğrusal olmayan) yüklerin yaygın kullanılması sebebiyle ortak bağlantı noktalarındaki akım ve gerilim dalga şekilleri sinüzoidal

formdan uzaklaşmıştır [2]-[5]. Sinüzoidal olmayan gerilim ve akım dalga şekilleri temel frekans ve diğer frekanslarda sinüzoidal dalgalara (harmonik bileşenlere) sahip olup temel frekans dışındaki gerilim ve akım harmoniklerinin güç sistemlerinde yeralan elemanlara birçok olumsuz etkileri vardır [4]-[6]. Bu olumsuz etkilerin en önemlilerinden biri frekansla artış gösteren ek kayıplardır.

Transformatörlerde, çekirdekteki histeresiz kaybı frekans ile doğru orantılıdır [7]. Çekirdek ve sargılardaki fuko (girdap akımı) kayıpları ise frekansın karesiyle doğru orantılı kayıplardır [8]-[11]. Bu sebeple transformatörler anma güçlerine eşit güçte doğrusal olmayan yükleri beslerken anma kayıplarına göre daha yüksek kayıplara sahip olurlar ve aşırı ısınırlar. Aşırı ısınma, transformatörlerin zarar görmesine veya ömürlerinin kısalmasına yol açar. Harmoniklere bağlı sargılardaki aşırı ısınmayı önlemek amacıyla literatürde "deratasyon (derating)" olarak isimlendirilen bir metot uygulanmıştır [12]-[21]. Deratasyon metodu, "transformatörlerin sinüzoidal olmayan şartlardaki kaybının anma kaybını geçmemesi için sinüzoidal olmayan şartlarda yüklenme kapasitesinin düşürülmesi" biçiminde kısaca tarif edilebilir. Buna göre, transformatörlerin sinüzoidal olmayan şartlarda transfer edebileceği azami gücün anma gücüne oranı deratasyon faktörü (veya azami yüklenme oranı) olarak tanımlanmıştır.

Ulaşılabilen literatürde, transformatörlerin sinüzoidal olmayan şartlarda azami yüklenme oranı dört farklı yol ile belirlenmektedir. Bunlar sırasıyla; (i) IEEE C.57.100 standardında kuru ve yağlı tip transformatörler için tanımlı harmonik kayıp faktörü (FHL) metodu [9], [10], (ii) UL 1562 standardında kuru tip transformatörler için tanımlı K-faktör metodu [11], (iii) harmoniklere bağlı kayıpların ölçümüne dayalı metotlar [12], [13] ve (iv) harmoniklere bağlı kayıpların transformatör modelleriyle hesabına dayanan metotlardır [14]-[19].

IEEE C.57.110 ve UL 1562 standartlarında sunulan metotlar azami yüklenme oranının doğrudan hesabı için oluşturulmuş F_{HL} ve K-faktör cinsinden kapalı ifadelerdir. Diğer iki metot temelli çalışmalarda ise; transformatörlerin sinüzoidal olmayan test şartlarındaki kayıpları anma kayıp değerleriyle karşılaştırılmış ve anma kayıp değerinin aşılmadığı yüklenme oranı azami yüklenme oranı olarak tespit edilmiştir.

IEEE C.57.110 ve UL 1562 standartlarında sunulan metotlar, gerilim harmonik bozulmasının standartlarda belirtilen harmonik bozulma sınırlamalarına uygun olduğu, dolayısıyla gerilim harmonik bozulmasına bağlı kayıp artışının ihmal edilebilir olduğu kabul edilmiştir. Böylece bu standartlarda azami yüklenme oranının hesabında sadece akım harmoniklerine bağlı sargı kayıp artışları dikkate alınmıştır. Ancak bu iki metoda ait ifadeler, bazı çalışmalarda gerilim harmoniklerine bağlı çekirdek kayıplarındaki artışı da kapsayacak biçimde genel bir forma getirilmiştir [20], [21]. Yine bu çalışmalarda ölçüm verileri kullanılarak bu genel ifadeler azami yüklenme oranının tespiti için uygulanmıştır.

Genel hatlarıyla özetlenen çalışmalara ek olarak, literatürde ulaşılabilen bazı çalışmalarda transformatörlerin harmonikli gerilimler altında kayıpları analiz edilmiştir. Bunlardan [22] ve [23]'de gerilim harmoniklerinin hem genliğinin hem de faz açısının transformatörlerin boşta kayıplarına etki ettiği görülmüştür. Ayrıca boşta kayıplar üzerinde düşük frekanslı gerilim harmoniklerinin yüksek frekanslı gerilim harmoniklerine göre daha büyük etkisinin olduğu işaret edilmiştir. Literatürdeki [7], [24] ve [25] no'lu referanslarda ise gerilimin harmonik bozulmasındaki artışla transformatörlerin boşta kayıplarının önemli miktarda arttığı görülmüştür. Bu durum [25]'de transformatörlerin günün her saatinde yükte çalışmadığı belirtilip enerji verimliliği bakımından önemli bir olumsuzluk olarak yorumlanmıştır. Fakat, gerilim için IEEE 519 [26] standardında belirtilen %5 toplam harmonik bozulma sınırının altında olduğu durumlarda transformatörlerin azami yüklenme oranına önemli bir etkisinin olmadığı bir başka çalışmada [27] ölçüm temelli analizler ile işaret edilmiştir.

Buraya kadar özetlenen çalışmalar; sinüzoidal olmayan gerilim ve akımların, transformatörlere etkileri üzerine literatürün halen gelişim sürecinde olduğunu göstermektedir. Özellikle gerilimin toplam harmonik bozulmasının ihmal edilebilir seviyelerde olduğu kabul edilerek doğrusal olmayan yüklerin karakteristik akım harmoniklerine göre yapılan azami yüklenme oranı hesapları, transformatörlerin işletme içinde yer aldığı dolayısıyla gerilim harmonik bozulmasının sınırlama altına alınmadığı durumlarda hatalı sonuçlar verebilir. Örnek verilen durumda, azami yüklenme oranının hesabında meydana gelebilecek hatanın büyüklüğü öncelikle; sistemde yer alan doğrusal olmayan yüklerin akım harmoniklerinin ilgili gerilim harmonik şartlarından etkilenme miktarına bağlıdır. Bir başka ifadeyle; gerilim harmoniklerinin yük akımı harmoniklerine ve dolaylı olarak sargı kayıplarına etkisine bağlıdır. Buna ek olarak, gerilim harmoniklerinin çekirdek kayıplarına etkisi önemli değerlerde olabilir. Bu etkiler dikkate alınarak transformatörlerin tasarım aşamasında analiz edilmesi gerekir.

Ayrıca, UL 1562 standardında ve literatürde ulaşılabilen çalışmalarda [30], [31] doğrusal olmayan yükleri beslemek üzere üretilecek transformatörlerin sargılarında çaprazlanmış çok katlı yassı iletkenlerin (drilleiter iletken) kullanılması ve bu transformatörlerin çekirdeklerinde kayıpları düşük malzeme kullanılması tavsiye edilmektedir. Fakat, drilleiter iletkenlerin tek parça yassı (profil) iletkenlere göre maliyetleri yüksektir. Günümüzde, transformatör çekirdeklerinin yapımında düşük kayıplı M5, MOH ve AMORF gibi çeşitli malzeme seçenekleri olmakla birlikte, yine bu malzemeler arasında önemli maliyet farkları vardır. Dolayısıyla, farklı harmonik bozulma seviyeleri için maliyet-performans bakımından en iyi (optimal) tasarımların belirlenmesi önem kazanmaktadır. Bu konuda yapılmış bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır.

Yukarıda belirtilenler doğrultusunda, bu çalışmasının ilk kısmında, sinüzoidal olmayan gerilimler ve akımlar altında transformatörlerin azami yüklenme oranının belirlenmesi için bir algoritma geliştirmiştir. İkinci kısmında ise; bu algoritmayla yapılacak analiz sonuçlarını referans alarak, gerilim ile akıma ait farklı harmonik kirlilik seviyelerinde maliyet-performans bakımından en uygun transformatör tasarımları belirlenmiştir.

III.ÖNERİLEN ALGORİTMA

Önerilen algoritma, iki ana temele dayanmaktadır. Bu ana temellerden birincisi harmonikli şartlarda sargı kayıplarındaki artışın yanı sıra çekirdek ve diğer kaçak kayıplardaki artışı da dikkate alan transformatör azami yüklenme oranı ifadesidir. İkincisi ise; dikkate alınan azami yüklenme oranı ifadesinde yer alan F_{HL} ve $F_{HL\text{-}STR}$ indislerinin değerleri ile bozulmuş gerilim altında transformatöre ait çekirdek kaybının değerinin hesabı için oluşturulmuş transformatör modelidir. Deratasyon faktörü ifadesi, oluşturulan transformatör modeli ve algoritma akış diyagramı aşağıda detaylı bir şekilde verilmiştir.

A. Azami Yüklenme Oranı (Deratasyon Faktörü) İfadesi

IEEE C57.110 standardı harmonik akımlarına bağlı yük kayıplarındaki (P_{LL}) artışı transformatör azami yüklenme oranı hesabı ($DF = I_{azami}/I_R$) için dikkate almıştır. Buna göre, aynı standartta kuru tip transformatörlerin sinüzoidal olmayan akım şartlarında transfer edilebileceği azami yüklenme oranı, harmonik kayıp faktörü (F_{HL}) cinsinden,

$$F_{HL} = \frac{\sum_{h\geq 1} h^2 \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2}{\sum_{h\geq 1} \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2} \tag{1}$$

(2)'de verilen biçimde ifade edilmiştir:

$$DF = \frac{I_{azami}}{I_R} = \sqrt{\frac{P_{LL-R}(pu)}{1 + F_{HL} P_{EC-R}(pu)}} \tag{2}$$

Buna ilaveten aynı standartta yağlı tip transformatörler için F_{HL} indisinin yanında denklem (3)'de ifadesi verilen $F_{HL\text{-}STR}$ indisi tanımlanmıştır:

$$F_{HL-STR} = \frac{\sum_{h\geq 1} \left[\frac{I_h}{I_1}\right]^2 h^{0.8}}{\sum_{h\geq 1} \left[\frac{I_h}{I_1}\right]^2} \tag{3}$$

Böylece, F_{HL} ve $F_{HL\text{-}STR}$ indisleri cinsinden sinüzoidal olmayan akımlar için yağlı tip transformatörlere ait azami yüklenme oranı aşağıda verilen biçimde ifade edilmiştir:

$$DF = \frac{I_{azami}}{I_R} = \sqrt{\frac{P_{LL-R}(pu)}{1 + F_{HL} P_{EC-R}(pu) + F_{HL-STR} P_{OSL-R}(pu)}} \tag{4}$$

Diğer taraftan, [20]'da kuru tip transformatörler için azami yüklenme oranı ifadesi (5)'de verilen biçimde çıkarılmıştır:

$$DF = \frac{I_{azami}}{I_R} = \sqrt{\frac{R_{DC} + R_{EC} - \frac{\Delta P_{FE} + \Delta P_{OSL}}{I_R^2}}{R_{DC} + F_{HL} R_{EC}}} \tag{5}$$

Bu ifadede, ΔP_{FE} ve ΔP_{OSL} terimleri;

$$\Delta P_{FE} = \sum_h P_{FEh} - P_{FE-R},\ \Delta P_{OSL} = \sum_h P_{OSLh} - P_{OSL-R} \tag{6}$$

biçiminde hesaplanabilir. IEEE C.57.110 standardında sunulan azami yüklenme oranı sadece sargı kayıplarındaki artışı dikkate alırken, yukarıda özetlenen azami yüklenme oranı ifadesi sargı kaybı, çekirdek kaybı ve diğer kaçak kayıplardaki artışı dikkate almıştır.

Bu çalışmada ise; [20]'da sunulan ifadenin simülasyon temelli analizlerde kullanıma uygun olması maksadıyla düzenlenmiş hali [32] azami yüklenme oranı hesabında kullanılmıştır:

$$DF = \frac{I_{azami}}{I_R} = \sqrt{\frac{R_{DC} + R_{EC} + R_{OSL} - \frac{\left(\sum_h P_{FEh} - P_{FE-R}\right)}{I_R^2}}{R_{DC} + F_{HL} R_{EC} + F_{HL-STR} R_{OSL}}} \tag{7}$$

B. Oluşturulan Transformatör Modeli

Bu ifadede verilen ifadede yer alan F_{HL}, $F_{HL\text{-}STR}$ ve ΔP_{FE} parametrelerinin hesabı için oluşturulan transformatör modelinin yapısı Şekil 1'de verilmiştir. Algoritmada yer alan ve bu çalışmada oluşturulan transformatör modeli, elektriksel eşdeğer devre ve FEM hesabı temelli bir hibrit modeldir. Bu modelin elektriksel eşdeğer devresinde, primer ve primere indirgenmiş sekonder sargı dirençlerinin harmoniklere bağımlılığı [33] ve [34]'de sunulan modelleme çalışmalarına uygun olarak,

$$R_{ph} = R_{pDC} + h^2 R_{pEC} + h^{0.8} R_{pOSL} \tag{8}$$

$$R_{sh} = R_{sDC} + h^2 R_{sEC} + h^{0.8} R_{sOSL} \tag{9}$$

biçiminde kabul edilmiştir.

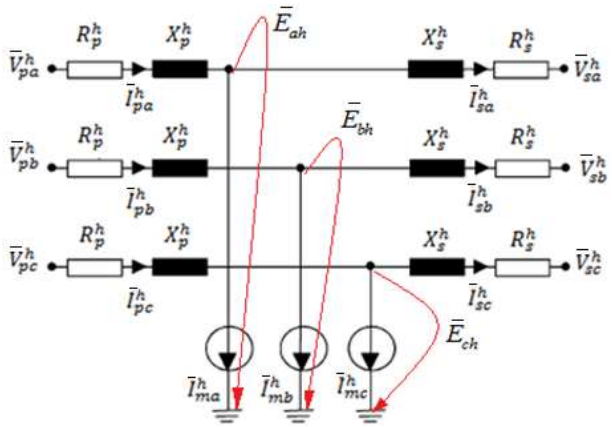
Transformatörün h. harmonik primer ve primere indirgenmiş sekonder sargı reaktansları ise; güç sistem elemanlarının harmonikli şartlar için modellenmesiyle alakalı diğer çalışmalar [35], [36] göz önünde bulundurularak denklem (10) ve (11)'de verilen biçimde transformatör modeline dahil edilmiştir:

$$X_{ph} = hX_{p1} \tag{10}$$

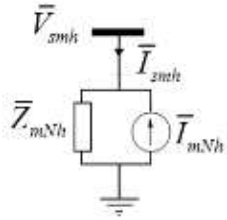
$$X_{sh} = hX_{s1} \tag{11}$$

Geliştirilen azami yüklenme oranı hesap algoritmasında, transformatör elektriksel eşdeğer devresinin sekonder tarafına harmonik üreten yükün Norton eşdeğer devresinin (N) primere indirgenmiş hali mevcut olacaktır. N yük modelinin devre yapısı Şekil 2'de verilmiş olup elde edilişi [37] çalışmasında detaylı olarak verilmiştir. Bu modelin, geliştirilen azami yüklenme oranı hesap algoritmasında yer almasının sebebi; gerilim harmoniklerinin yük akımı harmoniklerine etkisinin görülmesine diğer bir deyişle F_{HL} ve $F_{HL\text{-}STR}$ oranlarına etkisinin görülmesine imkan tanımasıdır.

THDV değeri %10'a kadar olan ve temel frekansın tam katı frekanslarda harmoniklere sahip gerilimlerin, transformatörde herhangi bir doyma durumuna sebep olmadığı ve uyartım akımında anma akımına göre ihmal edilebilecek bir değişim meydana geldiği sonucuna [32]'de ulaşılmıştır. Buna göre; IEEE C.57.110'da sunulan geleneksel yöntemde olduğu gibi transformatör için oluşturulan modelde primer akımının primere indirgenmiş sekonder akımına eşit olduğu ($\bar{I}_{pmh} \approx \bar{I}_{smh}$) kabul edilebilir.



Şekil 1: Oluşturulan transformatör modeli.



Şekil 2: m=a, b, c fazları için yükün Norton eşdeğer devre modeli.

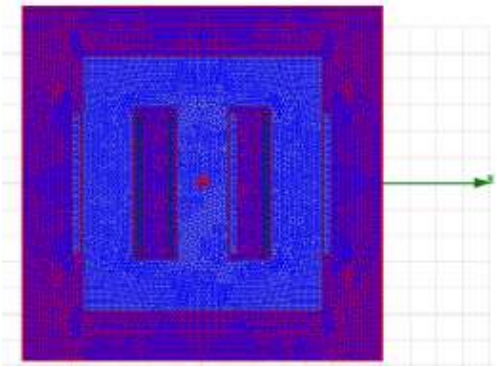
Böylece, h. harmonik primer tarafı faz akımları; yükün N modeli ve transformatörün kısa devre empedansı dikkate alınarak hesap edilir.

Hesaplanan her bir faza ait primer sargı h. harmonik akımları ile her bir faza ait primer taraf h. harmonik gerilimleri (12)'deki ifadede yerine konularak; sargılarda indüklenen h. harmonik faz gerilimleri bulunur:

$$\bar{E}_{mh} = \bar{V}_{pmh} - \left(R_{ph} + jhX_{p1}\right)\bar{I}_{pmh} \qquad (12)$$

Sargılardan indüklenen dalga şekli bozuk faz gerilimleri için çekirdek kayıplarının ($\sum_h P_{FEh}$) hesabı ise, Maxwell Ansys programında [38] transformatörün iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi (SEY) analiziyle gerçekleştirilir.

SEY temelli analizlerde çekirdek kayıpları inceleneceği için Maxwell programında oluşturulan transformatör geometrisinde çekirdek haricinde primer faz sargılarının yer alması yeterlidir. Maxwell Ansys programında oluşturulan transformatör geometrisi Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3: Maxwell Ansys programında oluşturulan transformatör geometrisi.

C. Algoritmanın Akışı

Buraya kadar sunulan azami yüklenme oranı ifadesi ve modelleme esaslarına göre geliştirilen azami yüklenme oranı tespit algoritmasındaki işlem adımları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Adım: Primer tarafı faz gerilimlerinin harmonik bileşenleri ile yükün N modelinin harmonik bileşenleri tanıtılır,
2. Adım: Transformatör modeli ve transformatörün sekonder tarafına bağlı yükün N modelinden oluşan sistemde harmonik akımları hesaplanır,
3. Adım: Denklem (1) ve (3)'den F_{HL} ve $F_{HL\text{-}STR}$ değerleri hesaplanır,
4. Adım: Denklem (12)'den Maxwell Ansys. programında çekirdeğe uygulanacak m=a,b,c faz gerilimlerinin harmonik bileşenlerinin fazör değerleri ($\bar{E}_{mh}$) bulunur,
5. Adım: 4. adımda bulunan harmonikli faz gerilimleri için Maxwell Ansys. programında FEM analizi yapılarak çekirdek kaybı ($\sum_h P_{FEh}$) hesaplanır,
6. Adım: 3. adımda bulunan F_{HL} ve $F_{HL\text{-}STR}$ değerleri ile 5. adımda bulunan $\sum_h P_{FEh}$ değeri, (7)'de yerine konularak transformatörün azami yüklenme oranı bulunur.

IV.SONUÇ

Bu çalışmada sinüzoidal olmayan gerilim ve akım durumlarında transformatörlerin azami yüklenme oranlarının tespiti için bir algoritma geliştirilmiştir.

Algoritmanın uygulanmasında dikkate alınan transformatör modeli iki ayrı kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım sargıların elektriksel eşdeğeri ikinci kısım ise çekirdeğin SEY modelidir. Elektriksel eşdeğer devrede sargı dirençlerinin frekans bağımlılığı ihmal edilmemiştir. Ayrıca gerilim harmoniklerinin yük akımına etkisinin görülebilmesi için algoritmada yük modeli olarak Norton harmonik eşdeğer devre dikkate alınmıştır.

Bu çalışmanın ikinci kısmında [1], önerilen algoritma kullanılarak, gerilim ile akıma ait farklı harmonik kirlilik seviyelerinde maliyet-performans bakımından en uygun transformatör tasarımları belirlenecektir.

V.TEŞEKKÜR

Bu çalışma, T. C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ile Balıkesir Elektromekanik Sanayi A.Ş. tarafından 01008.STZ.2011.2 kodlu projeyle desteklenmiştir.

VI.REFERANSLAR

[1] Arslan, E., Cantürk, Ş., Balcı, M. E., "Transformatörlerin Sinüzoidal Olmayan Şartlarda Azami Yüklenme Oranı Hesabı. Kısım 2: Analiz Sonuçları", EEMKON 2015, (2015).

[2] Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A., Arıkan, O., Elektrik tesislerinde harmonikler, Ankara: Birsen Yayınevi (2003).

[3] Fuchs, E. F., Masoum, M. A. S., Power quality in power systems and electrical machines, Burlington, MA: Elsevier Academic Press (2008).

[4] Singh, G. K., "Power system harmonics research: A survey", Eur. Trans. Electr. Power, 19 (2), 151 -172, (2007).

[5] Henderson, R. D., Rose, P. J., "Harmonics: the effects on power quality and transformers", IEEE Trans. on Industry Appl., 10 (3), 528-532, (1994).

[6] Wagner, V. E., Balda, J. C., Griffith, D. C., McEachern, A., Barnes, T. M., Hartmann, D. P., Phileggi, D. J., Emannuel, A. E., Horton, W. F., Reid, W. E., Ferraro, R. J., Jewell, W. T., "Effects of Harmonics on Equipment", IEEE Trans. Power Deliv., 8 (2), 672 -680, (1993).

[7] Suechoey, B., Tadsuan, S., Thammarat, C., Leelajindakrairerk, M., "Estimation of core loss of transformer under non-sinusoidal voltage supply", IEEE Int. Conf. on Power Syst. Tech.-POWERCON 2004, 511 – 516, (2004).

[8] Elmoudi, A., Lehtonen, M., Nordman, H., "Effect of harmonics on transformers loss of life", IEEE conf. Electrical Insulation, 408 -411, (2006).

[9] IEEE Standard C57.110-1998, "IEEE Recommended Practice for Establishing Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents", IEEE standards, (1998).

[10] IEEE Standard C57.110-2008, "IEEE Recommended Practice for Establishing Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents", IEEE standards, (2008).

[11] UL 1562 Standard, "Dry-Type General Purpose and Power Transformers", Underwriters Laboratory standards, (1994).

[12] Fuchs, E. F., Yildirim, D., Batan, T., "Innovative procedure for measurement of losses of transformers supplying nonsinusoidal loads", Proc. Inst. Elect. Eng., Gen., Transm. Distrib., 146 (6), 617-625, (1999).

[13] Fuchs, E. F., Lin, D., Martynaitis, J., "Measurement of three-phase transformer derating and reactive power demand under nonlinear loading conditions", IEEE Trans. Power Deliv., 21 (2), 665 -672, (2006).

[14] Sharifian, M. B. B., Faiz, J., Fakheri, S. A., Zraatparvar, A., "Derating of distribution transformers for non-sinusoidal load currents using finite element method", 10th IEEE Int. Conf. Electronics, Circuits and Syst., 754 -757, (2003).

[15] Sharifian, M. B. B., Faiz, J., "Derating of a distribution transformer for non-linear loads", Eur. Trans. Elect. Power, 16 (2), 189 -203, (2006).

[16] Faiz, J., Ebrahimi, B. M., Ghofrani, M., "Mixed derating of distribution transformers under unbalanced supply voltage and nonlinear load conditions using TSFEM", IEEE Trans. Power Deliv., 25 (2), 780,789, (2010).

[17] Njafi, A., Iskender, I., Genc, N., "Evaluating and derating of three-phase distribution transformer under unbalanced voltage and unbalance load using finite element method," IEEE 8th International Power Eng. and Optim. Conf. (PEOCO) , 160-165, (2014).

[18] Moses, P. S., Masoum, M. A. S., "Three-phase asymmetric transformer aging considering voltage-current harmonic interactions, unbalanced nonlinear loading, magnetic couplings, and hysteresis", IEEE Trans. Energy Conv., 27 (2), 318 – 327, (2012).

[19] Masoum, M. A. S., Moses, P. S., Masoum, A. S., "Derating of asymmetric three-phase transformers serving unbalanced nonlinear loads", IEEE Trans. on Power Deliv., 23 (4), 2033 - 2041, (2008).

[20] Yildirim, D., Fuchs, E. F., "Measured transformer derating and comparison with Harmonic Loss factor (FHL) approach", IEEE Trans. Power Deliv., 15 (1), 186-191, (2000).

[21] Fuchs, E. E., Yildirim, D., Grady, W. M. "Measurement of eddycurrent loss coefficient PEC-R, derating of single-phase transformers, and comparison with K-factor approach.," IEEE Trans. Power Deliv., 15 (1), 148–154, (2000).

[22] Stensland, T., Fuchs, E. F., Grady, W. M., Diyle, M. T., "Modeling of magnetizing and core-loss currents in single-phase transformers with voltage harmonics for use in power flow", IEEE Trans. Power Del., 12 (2), 768 -774, (1997).

[23] Gaurdeau, A., Picher, P., Bolduc, L., Coutu, A., "No load losses in transformer under overexcitation/inrush current conditions: tests and a new model", IEEE Trans. Power Deliv., 17 (4), 1009 -1017, (2002).

[24] Kefalas, T. D., Kladas, A. G., "Harmonic impact on distribution transformer no-load loss", IEEE Trans. Ind. Electron., 57 (1), 193 -200, (2010).

[25] Yazdani-Asrami, M., Mirzaie, M., Akmal, A. A. S., "No-load loss calculation of distribution transformers supplied by nonsinusoidal voltage using three-dimensional finite element analysis", Energy, 50 (1), 205-219, (2013).

[26] IEEE Std. 519-1992; ''Recommended Practices and Requirements for Harrmonic Control in Electrical Power Systems'', IEEE standards, (1993).

[27] Shareghi, M., Phung, B. T., Naderi, M. S., Blackburn, T. R., Ambikairajah, E., "Effects of current and voltage harmonics on distribution transformer losses", Int. Conf. on Condition Monit. and Diag. (CMD) 2012, 633-636, (2012).

[28] Langella, R., Testa, A., Emanuel, A., "On the effects of subsynchronus interharmonic voltages on power transformers: single-phase units", IEEE Trans. Power Deliv., 23 (4), 2480-2487, (2008).

[29] Langella, R., Testa, A., Emanuel, A., "On the effects of subsynchronous interharmonic voltages on power transformers: Three-phase units," IEEE Trans. Power Del., 23 (4), 2461–2471, (2008).

[30] Frank, J. M., "Origin, development, and design of "K" factor transformers", Twenty-Ninth Industry Appl. Society Annual Meeting, 2273 -2274, (1994).

[31] Jayasinghe, N. R., Lucas, J. R., Perera, K. B. I. M., "Power system harmonic effects on distribution transformers and new design consideration for K factor transformers", IEE Sri Lanka Annual Conf., (2003).

[32] Arslan, E., "Sinüzoidal olmayan sistemler için güç transformatörü tasarımı", Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2014).

[33] Sadati, S. B., Tahani, A., Darvishi, B., Dargahi, M., Yousefi, H., "Comparison of distribution transformer losses and capacity under linear and harmonic loads", 2nd IEEE Int. Conf. on Power and Energy (PECon 08), 1265-1269, (2008).

[34] Sadati, S. B., Tahani, A., Jafari, M., Dargahi, M., "Derating of transformers under non-sinusoidal loads," 11th IEEE Int. Conf. on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM 2008), 263-268, (2008).

[35] Ranade, S. J., Xu, W., "An overview of harmonics modeling and simulation", IEEE Power Eng. Soc., TP-125-0, 1–7, (1998).

[36] Task force on Harmonics Modeling and Simulation, "The modeling and simulation of the propagation of harmonics in electric power networks Part I: concepts, models and simulation techniques," IEEE Trans. on Power Deliv., 11 (1), 452-465, (1996).

[37] Balcı, M. E., Karacasu, Ö., Hocaoğlu, M. H., "Çeşitli yük tipleri için harmonik üreten yük modellerinin hassasiyet analizi. kısım I: farklı gerilim seviyelerinde analiz", EVK 2011, 12-16, (2011).

[38] ANSYS Co. "Maxwell Electromagnetic Field Simulation Software Brochure",http://www.ansys.com/staticassets/ANSYS/staticassets/resourcelibrary/brochure/ansys-maxwell-brochure-14.0.pdf, En son erişim tarihi: Temmuz 2014.

Transformatörlerin Sinüzoidal Olmayan Şartlarda Azami Yüklenme Oranı Hesabı Kısım 2: Analiz Sonuçları

[1]*Emrah ARSLAN* [2]*Şevket CANTÜRK* [3]*Murat Erhan BALCI*

[1,2,3]Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Balıkesir Üniversitesi

[1]*earslan*, [2]*scanturk*, [3]*mbalci@balikesir.edu.tr*

Özet: *Bu çalışmanın ilk kısmında [1], sinüzoidal olmayan gerilimler ve akımlar altında transformatörlerin azami yüklenme oranının belirlenmesi için bir algoritma geliştirmiştir. Çalışmanın ikinci kısmı olan bu bildiride ise; çeşitli sargı ve çekirdek yapılarında transformatörlerin farklı gerilim ve akım harmonik kirlilik seviyelerinde azami yüklenme oranları geliştirilen algoritmayla hesaplanmıştır. Bununla birlikte, analizlerde dikkate alınan gerilim ve akım harmonik şartları altında maliyet-performans bakımından en uygun transformatör tasarımları belirlenmiştir.*

Anahtar Kelimeler: *Transformatör, sinüzoidal olmayan şartlar, harmonikler, azami yüklenme oranı, deratasyon.*

Abstract: *In the first part of the study [1], an algorithm has been developed to determine the maximum load rate of transformer under non-sinusoidal voltages and currents. In this paper as the second part of the study, by using the developed algorithm, the maximum loading rates of the transformers with various winding and core structures are found for the different voltage and current harmonic distortions. In addition, optimal designs of transformers have been determined by regarding their cost-performance at different levels of harmonic pollution from the current and voltage.*

Keywords: *Transformer, non-sinusoidal conditions, harmonics, maximum loading rate, derating.*

I. ARKA PLAN

Bu çalışmasının ilk kısmında [1], sinüzoidal olmayan gerilimler ve akımlar altında transformatörlerin azami yüklenme oranının belirlenmesi için bir algoritma geliştirmiştir.

Bu ikinci kısımda ise geliştirilen algoritma ile Şekil 1'de verilen test sisteminde, şebeke gerilimi ve yük akımına ait çeşitli harmonik kirlilik seviyeleri için Tablo 1'deki transformatör tasarımlarının azami yüklenme oranları hesaplanmıştır. Ayrıca, hesaplanan azami yüklenme oranları ve tasarım maliyetleri dikkate alınarak, farklı gerilim/akım harmonik kirlilik seviyeleri için maliyet-performans bakımından en uygun tasarımlar belirlenmiştir.

Tablo 1: Analizlerde dikkate alınan transformatör tasarımlarının çekirdek malzemesi ve sargı tipi durumları.

	Çekirdek Malzemesi	Sargı Tipi
1. Grup tasarım durumları	M5-0.30	a. Profil (Y.G.)-Profil(A.G.) b. Profil (Y.G.)-Drilleiter(A.G.) c. Drilleiter (Y.G.)-Drilleiter(A.G.)
2. Grup tasarım durumları	M0H-0.23	a. Profil (Y.G.)-Profil(A.G.) b. Profil (Y.G.)-Drilleiter(A.G.) c. Drilleiter (Y.G.)-Drilleiter(A.G.)
3. Grup tasarım durumları	Amorf	a. Profil (Y.G.)-Profil(A.G.) b. Profil (Y.G.)-Drilleiter(A.G.) c. Drilleiter (Y.G.)-Drilleiter(A.G.)

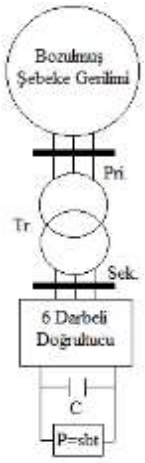
Yapılan analizlerde, şebeke geriliminin (transformatörün primer tarafı geriliminin) tek sayı harmonik numaralarından (GHŞ1) ve tüm harmonik numaralarından (GHŞ 2) oluşan iki farklı spektruma sahip olduğu kabul edilmiştir. GHŞ 1 ve GHŞ 2 durumları için bütün harmonik bileşenler dengeli olup faz-faz arası gerilim dalga şekilleri,

$$v_{ff}(t) = \hat{V}_R \sin(\omega t - \varphi) + \sum_{h=2}^{20} \frac{\hat{V}}{h} \sin(h\omega t - h\varphi) \qquad (1)$$

biçiminde ifade edilmiştir. Endüstriyel sistemlerde doğrusal olmayan yüklerin genellikle üç fazlı nötr bağlantısız yükler olması sebebiyle, bu yüklerin hatlarda meydana getirdiği gerilim düşümlerinin dolayısıyla bara gerilimlerinin 3 ve 3'ün katı harmonik bileşenlerinin olmadığı ($h \neq 3,6,9,12\cdots$) düşünülmüştür. Böylece 3 ve 3'ün katı harmonik numaraları (1)'de verilen ifadede dikkate alınmamıştır. Ayrıca, bütün harmonikli gerilim durumlarında şebeke temel frekans geriliminin tepe değeri, transformatörün anma geriliminin tepe değerine ($\hat{V}_R$) eşittir. Böylece, $\hat{V}$ ve h parametrelerine bağlı olarak şebeke geriliminin toplam harmonik bozulma değeri,

$$THDV = 100 \cdot \sqrt{\sum_{h=2}^{20} \left(\hat{V}/h\right)^2} \Big/ \hat{V}_R \qquad (2)$$

biçiminde ifade edilebilir.



Şekil 1: Simülasyon sistemi.

Test sisteminde, transformatörün sekonder tarafına 6 darbeli doğrultucu vasıtasıyla beslenen sabit güçlü (P=sbt) d.a. yük bağlıdır. Bu yükün Norton eşdeğer devre modeli [2] çıkarılmış ve analizlerde bu yük modeli dikkate alınmıştır.

Diğer taraftan, [1]'de önerilen algoritmada elektriksel eşdeğer devreden hesaplanan gerilim harmonikleri altında çekirdek kayıplarının Maxwell ansys programında [3] hesabı, her bir gerilim ve akım harmonik kirlilik durumu için yapılırsa büyük bir iş yükü meydana gelecektir. Bu iş yükünü azaltmak amacıyla bir eğri uydurma yöntemi olan Yanıt Yüzeyi (YY) Yöntemi [4, 5] algoritmaya dahil edilmiştir.

YY yöntemi algoritmayla birlikte uygulanırken, yöntemin giriş parametreleri (faktörleri); THDV (primer geriliminin toplam harmonik bozulması) ile F_{HLs} (yük akımının sinüzoidal gerilim altındaki harmonik kayıp faktörü)'dir.

Tablo 2: Analizlerde dikkate alınacak THDV ve F_{HLs} faktör düzeyleri.

Faktör Düzeyi	-1	0	1
THDV	0	5	10
F_{HLs}	4	12	20

YY yönteminin uygulamasında sistemin cevap parametresi tasarımların azami yüklenme oranı veya deratasyon faktörü (DF)'dür. Buna göre, Tablo 3'de sunulan 9 farklı THDV ve F_{HLs} kombinasyonu için önerilen algoritma vasıtasıyla tasarımların DF değerleri hesaplanır.

Elde edilen sonuçlar Minitab programında [6] işlenerek YY yöntemine göre (3)'de verilen kuadratik ifadenin katsayıları belirlenir:

$$DF = \mathrm{A}+\mathrm{B}\times THDV + C\times F_{HLs} + E\times THDV^2 + \mathrm{G}\times F_{HLs}^2 + H\times THDV\times F_{HLs} \quad (3)$$

Böylece sonraki bölümlerde sunulan analiz sonuçları hesap verimli bir şekilde elde edilmiştir.

Tablo 3: YY yöntemi için deney tasarımı tablosu.

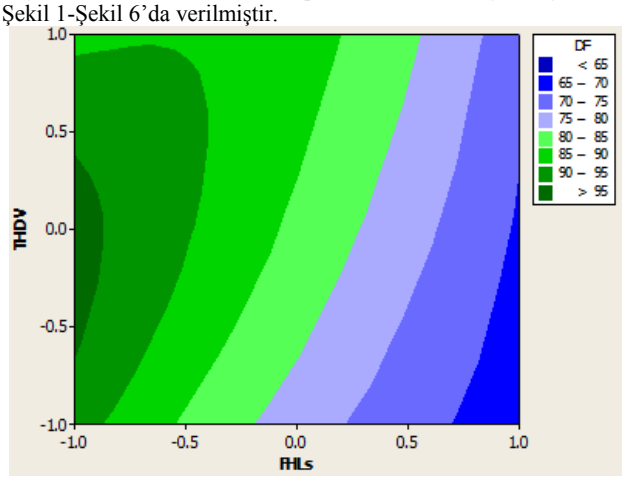
Deney No	THDV'nin Kod Değeri	F_{HLs}'nin Kod Değeri	DF
1	-1	-1	X
2	1	-1	X
3	-1	1	X
4	1	1	X
5	-1	0	X
6	1	0	X
7	0	-1	X
8	0	1	X
9	0	0	X

II. TASARIMLARIN AZAMİ YÜKLENME ORANLARININ ANALİZİ

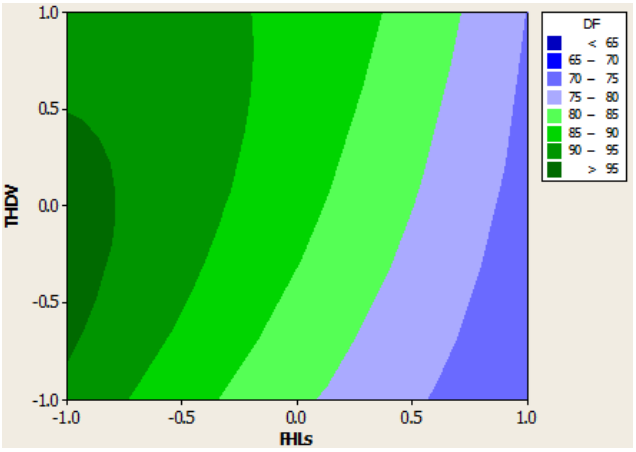
Bu bölümde Tablo 1'de verilen tasarımların azami yüklenme oranı (DF) bakımından karşılaştırmalı analizleri sunulmuştur.

A. Farklı Sargı Tiplerine Sahip Tasarımların Azami Yüklenme Oranlarının Karşılaştırmalı Analizi

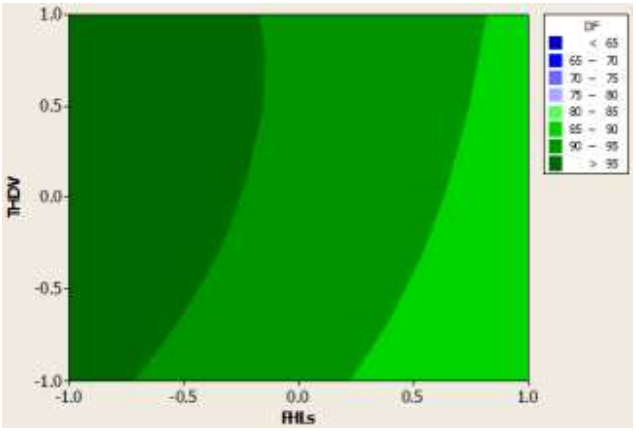
GHŞ1 ve GHŞ 2 şebeke gerilim bozulma şartları altında 6 darbeli doğrultucu yükünü besleyen tasarım 1.a, 1.b ve 1.c'nin DF değerlerinin, THDV ve F_{HLS} parametrelerine bağlı değişimleri Şekil 1-Şekil 6'da verilmiştir.



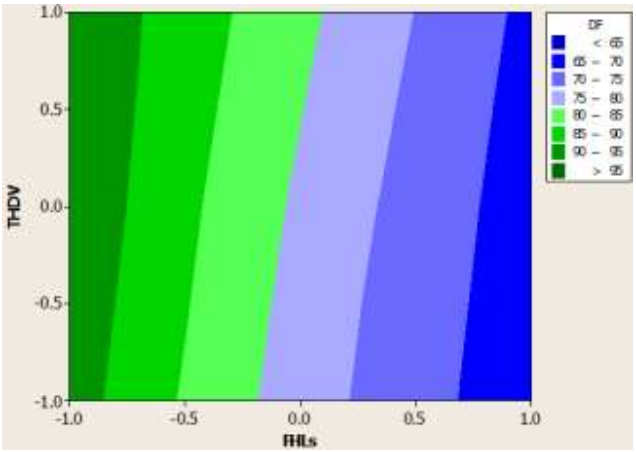
Şekil 1: Tasarım 1.a'ya ait DF'nin GHŞ 1 altında THDV ve F_{HLS} parametrelerine bağlı değişimi.



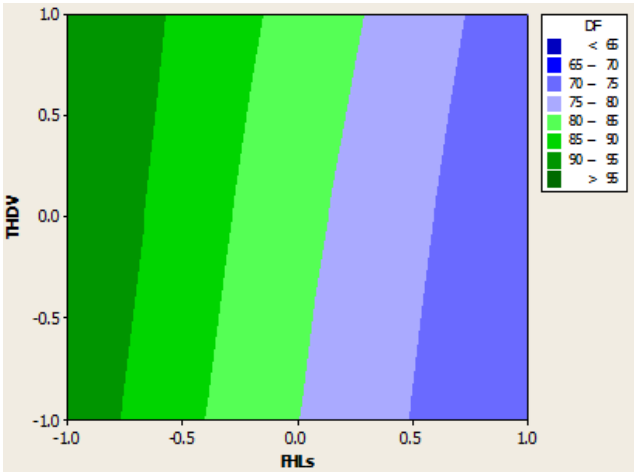
Şekil 2: Tasarım 1.b'ye ait DF'nin GHŞ 1 altında THDV ve F_{HLS} parametrelerine bağlı değişimi.



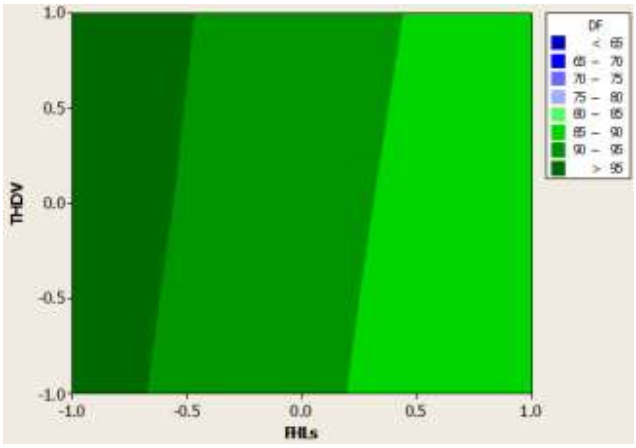
Şekil 3: Tasarım 1.c'ye ait DF'nin GHŞ 1 altında THDV ve F_{HLS} parametrelerine bağlı değişimi.



Şekil 4: Tasarım 1.a'ya ait DF'nin GHŞ 2 altında THDV ve F_{HLS} parametrelerine bağlı değişimi.



Şekil 5: Tasarım 1.b'ye ait DF'nin GHŞ 2 altında THDV ve F_{HLS} parametrelerine bağlı değişimi.



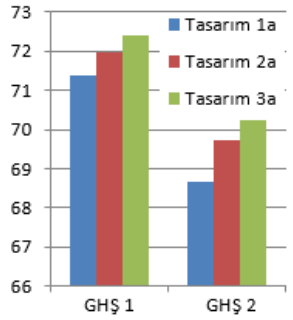
Şekil 6: Tasarım 1.c'ye ait DF'nin GHŞ 2 altında THDV ve F_{HLS} parametrelerine bağlı değişimi.

Bu grafikler, DF ile THDV, DF ile F_{HLS} arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğunu işaret etmektedir. Yine aynı şekillerden tasarım 1.a, 1.b ve 1.c için hesaplanan en küçük DF değerlerinin sırasıyla; %65, %70 ve %85 civarında olduğu ancak DF eğrilerinin trendlerinin diğer bir deyişle konturların GHŞ 1 ve GHŞ 2 için farklılık arz ettikleri görülmektedir.

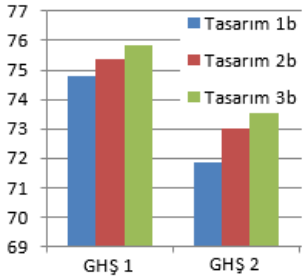
Ayrıca, bu şekillerden tasarım 1.a.'nın en kötü azami yüklenme performansına (en küçük DF değerlerine), tasarım 1.c.'nin ise en iyi azami yüklenme performansına (en büyük DF değerlerine) sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Analiz edilen tasarım seçeneklerinde (1.a, 1.b ve 1.c tasarımlarında) çekirdek malzemesi aynı olması sebebiyle, harmonik bozulmaya sahip gerilim/akım bulunan sistemler için deratasyon bakımından en iyiden en kötüye sargı seçeneklerinin sırasıyla; drilleiter-drilleiter, profil-drilleiter, profil-profil olduğu ifade edilebilir.

B. Farklı Çekirdek Malzemelerine Sahip Tasarımların Azami Yüklenme Oranlarının Karşılaştırmalı Analizi

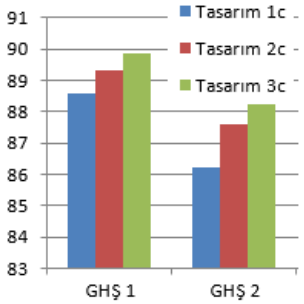
Bu kısımda aynı sargı tasarım tiplerinin M5-0.30, MOH-0.23 ve Amorf malzemelerden yapılmış çekirdekler için DF değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalı analizlerde iki farklı şebeke gerilim harmonik spektrumu (GHŞ 1/ GHŞ 2) ve 6 darbeli doğrultucu yük durumu dikkate alınmıştır. Buna göre THDV=%10 ve F_{HLS}=20 değerleri için M5-0.30, MOH-0.23 ve Amorf çekirdeklerin (i) profil-profil, (ii) profil-drilleiter ve (iii) drilleiter-drilleiter sargı tiplerine ait DF değerleri Şekil 7-Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 7: M5-0.30, MOH-0.23 ve Amorf çekirdeklerin profil-profil sargı tipinde DF değerleri.



Şekil 8: M5-0.30, MOH-0.23 ve Amorf çekirdeklerin profil-drilleiter sargı tipinde DF değerleri.



Şekil 9: M5-0.30, MOH-0.23 ve Amorf çekirdeklerin drilleiter-drilleiter sargı tipinde DF değerleri.

Bu şekillerden çekirdek malzemesinin DF üzerine büyük bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Bunun sebebi, M5-0.30, MOH-0.23 ve Amorf malzemeden yapılmış çekirdeklerin sinüzoidal olmayan gerilimlere bağlı kayıp artışının birbirine yakın değerlerde olması yanı sıra dikkate alınan transformatör tasarımlarında sargı kaybının çekirdek kaybına göre önemli ölçüde büyük olmasıdır [7]. Bu noktada azami yüklenme kapasitesi ile verimin farklı terimler olduğu bilinmelidir. Verim bakımından sinüzoidal şartlarda olduğu gibi sinüzoidal olmayan şartlarda da amorf en iyi, MOH-0.23 orta ve M5-0.30 en kötü seçenektir.

III. TASARIMLARINMALİYET-PERFORMANS BAKIMINDAN ANALİZİ

Bu kısımda, çeşitli THDV seviyelerinde iki farklı harmonik spektrumda gerilimler (GHŞ 1/ GHŞ 2) ile 6 darbeli doğrultucu yüküne ait çeşitli F_{HLS} seviyeleri için maliyet-performans bakımından en uygun tasarım/tasarımlar belirlenecektir.

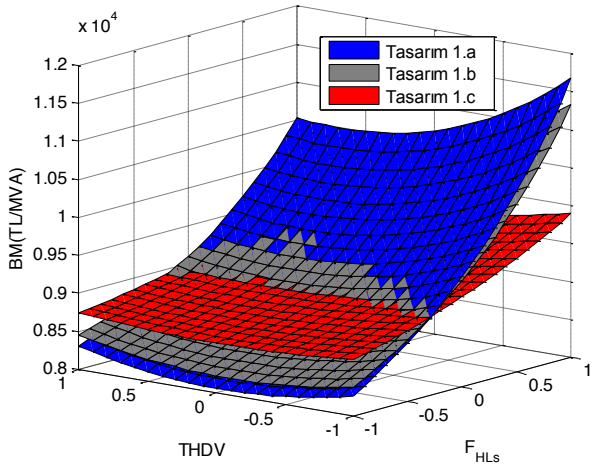
Bunun için tasarımların birim maliyeti (*BM*); tasarımın toplam maliyeti, ilgili harmonik bozulma seviyesindeki azami yüklenme oranı (*DF*) ve transformatörün sinüzoidal şartlardaki anma gücü (S_R) cinsinden aşağıda verilen ifade ile hesaplanmıştır:

$$BM(TL/MVA) = \frac{Tasarımın\ Maliyeti(TL)}{\frac{DF(\%)}{100} \cdot S_R(MVA)} \qquad (4)$$

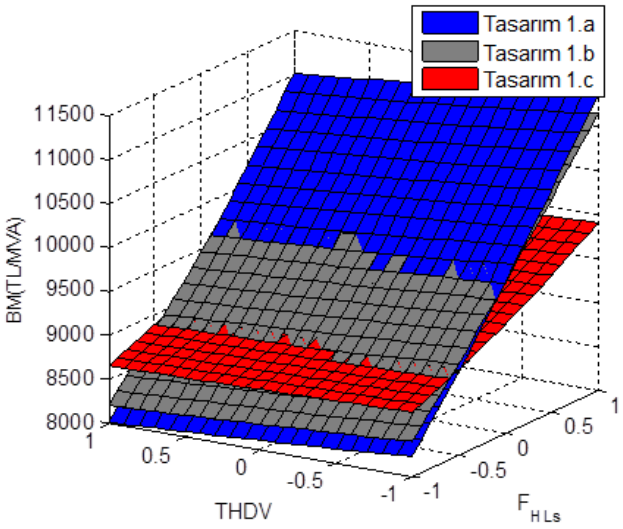
Bölüm II.B'de sunulan analiz çıktılarından, maliyeti çok daha yüksek olan MOH-0.23 ve Amorf çekirdek malzemesi seçeneklerinin M5-0.30 malzemesine göre azami yüklenme oranını önemli derecede arttırmadığı sonucuna ulaşılmıştı. Bu sebeple maliyet-performans bakımından en uygun tasarımın belirlenmesiyle alakalı analizlerde, M5-0.30 çekirdek ve profil-profil, profil-drilleiter ve drilleiter –drilleiter sargılara sahip üç farklı transformatör tasarımı (tasarım 1.a, 1.b ve 1.c) ele alınmıştır. Her üç transformatör tasarımının, şebekeye ait GHŞ 1 ve GHŞ 2 gerilim harmonik şartları ile 6 darbeli yük durumu altında *BM* eğrileri Şekil 10 ve Şekil 11'de verilmiştir. Bu sonuçlardan, sinüzoidal gerilim altında bir başka ifadeyle THDV'nin kod değerinin -1 olduğu durumda; 6 darbeli yüke ait F_{HLS}'nin -1 ile -0.5 kod değer aralığı (gerçek değer olarak 4 ile 8 aralığı) için tasarım 1.a'nın maliyet-performans bakımından en iyi seçenek olduğu görülmektedir. Sinüzoidal gerilim altında 6 darbeli yüke ait F_{HLS}'nin -0.5 ile 1 aralığı (gerçek değer olarak 8 ile 20 aralığı) için en iyi seçenek ise tasarım 1.c'dir. Ayrıca, bu şekillerde üç farklı tasarımın maliyet eğrilerinin bütün yüzey boyunca kesişme yerlerine dikkat edilirse,

- tasarım 1.b nin hiçbir THDV ve F_{HLS} aralığında maliyet-performans bakımından en iyi seçenek olmadığı,
- tasarım 1.a ve 1.c'nin maliyet-performans bakımından en iyi seçenek olduğu F_{HLS} aralıklarının gerilimin THDV'si ve harmonik içeriğinden etkilendiği,

açıkça görülmektedir.



Şekil 10: Tasarım 1.a, 1.b ve 1.c'ye ait DF'lerin THDV (GHŞ 1) ve F_{HLS} parametrelerine bağlı değişimi.



Şekil 11: Tasarım 1.a, 1.b ve 1.c'ye ait DF'lerin THDV (GHŞ 2) ve F_{HLS} parametrelerine bağlı değişimi.

IV. SONUÇ

Bu bildiride, farklı sargı ve çekirdek malzemesine sahip transformatör tasarımlarının, çeşitli gerilim/akım harmonik kirlilik seviyeleri için azami yüklenme kapasite eğrileri [1]'de sunulan algoritma kullanılarak elde edilmiştir.

Bu eğriler analiz edildiğinde;

- Azami yüklenme kapasitesi bakımından en iyiden en kötüye sargı seçeneklerinin sırasıyla; drilleiter-drilleiter, profil-drilleiter, profil-profil olduğu,
- Çekirdek malzemesinin, sinüzoidal olmayan şartlarda azami yüklenme kapasitesine önemli derecede etki etmediği,

görülmüştür.

Transformatör tasarımlarının maliyet-performans bakımından analizinden ise;

- M5-0.30 çekirdekli profil-profil sargılı tasarımın (tasarım 1.a) sinüzoidal gerilim altında yükün F_{HL}'sinin 4 ile 8 değerleri arasında maliyet-performans bakımından en uygun seçenek olduğu,
- M5-0.30 çekirdekli drilleiter-drilleiter sargılı tasarımın (tasarım 1.c) sinüzoidal gerilim altında yükün F_{HL}'sinin 8 ile 20 değerleri arasında maliyet-performans bakımından en uygun seçenek olduğu,
- Her iki tasarımın maliyet-performans bakımından en uygun olduğu F_{HL} aralıklarının gerilimin harmonik içeriği ve THDV seviyesine bağlı olarak değiştiği, dolayısıyla maliyet-performans bakımından en uygun tasarımın belirlenmesinde THDV'nin önemli rol oynadığı,

sonuçlarına varılmıştır.

V. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, T. C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ile Balıkesir Elektromekanik Sanayi A.Ş. tarafından 01008.STZ.2011.2 kodlu projeyle desteklenmiştir.

VI. REFERANSLAR

[1] Arslan, E., Cantürk, Ş., Balcı, M. E., "Transformatörlerin Sinüzoidal Olmayan Şartlarda Azami Yüklenme Oranı Hesabı. Kısım 1: Geliştirilen Algoritma", EEMKON 2015, (2015).

[2] Balcı, M. E., Karacasu, Ö., Hocaoğlu, M. H., "Çeşitli yük tipleri için harmonik üreten yük modellerinin hassasiyet analizi. kısım I: farklı gerilim seviyelerinde analiz", EVK 2011, 12-16, (2011).

[3] ANSYS Co. "Maxwell Electromagnetic Field Simulation Software Brochure",http://www.ansys.com/staticassets/ANSYS/staticassets/resourcelibrary/brochure/ansys-maxwell-brochure-14.0.pdf, En son erişim tarihi: Temmız 2014.

[4] D. C. Montgomery, 2001. Design and Analysis of Experiments, 5th Edition, John Wiley &Sons, Inc., New York.

[5] M. E. Balci, A. D. Karaoglan, "Optimal Design of C-type Passive Filters Based on Response Surface Methodology for Typical Industrial Power Systems", Electric Power Components and Systems, Vol. 41, No. 7, pp. 653–668, Apr. 2013.

[6] Minita Software, http://www.minitab.com/en-us/products/minitab/features/, En son erişim tarihi: 01.04.2015.

[7] E. Arslan, "Sinüzoidal olmayan sistemler için güç transformatörü tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Temmuz 2014.

İki Dağıtım Transformatörünün Kayıplarının Analizi ve Karşılaştırılması

Niyazi Güçlü[1], Öznur Doğdu[1], Yüksel Oğuz[1]

[1]Fen bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Afyon Kocatepe Üniversitesi
yukseloguz@aku.edu.tr

Özet

İhtiyaç duyulan enerjinin karşılanması için üretimin artırılması kadar mevcut enerjinin en yüksek verimle kullanılması büyük önem taşımaktadır. Bunu sağlamanın önemli yollarından birisi kayıpları azaltmak ile olur. Transformatör kayıplarının azaltılması başarılı ile uygulanması halinde iletim hatlarının kapasitesinde artış gelir ve gerilim düşümünde azalma meydana gelir. Bu çalışmada transformatör kayıplarının hesaplanmasıyla ilgili temel bilgiler verilmekte ve örnek iki adet dağıtım transformatörü analiz edilmektedir. Bu amaçla iki dağıtım transformatörünün kayıpları teorik olarak hesaplanmış ve pratik olarak elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. İki dağıtım transformatörünün histerisiz, bakır ve fuko kayıpları teorik olarak hesaplanmıştır ve pratik olarak ölçülen değerler ile karşılaştırılmıştır.

Abstract

The available energy as increasing production to meet the required energy use is of paramount importance with the highest efficiency. One important way of achieving this would be to reduce losses. Reduction of transformer losses in the successful implementation of revenue growth in the capacity of transmission lines and a decrease in the voltage drop occurs. This study provides basic information regarding the calculation of the losses in transformers and distribution transformers two samples are analyzed. To this end two distribution transformer losses theoretically calculated and compared with the values obtained in practice. Two distribution transformer hysteresis, copper and eddy losses are calculated theoretically and practically compared with measured values.

1.Giriş

Enerji, insanoğlunun temel gereksinimlerinin karşılanmasında, ülkelerin sosyal gelişimleri ve ekonomik olarak kalkınmasında en önemli ihtiyaçlardan biridir. Dünya nüfusundaki hızlı artışa ve endüstriyel gelişmelere bağlı olarak toplumların enerji gereksinimleri giderek artmaktadır. Günümüzde ve gelecekte, toplumların refahı açısından stratejik bir önem taşıması nedeniyle enerjinin, ihtiyacı karşılayacak miktarlarda ve ekonomik şekilde sağlanması, temininde sıkıntıların yaşanmaması ve hem üretimi hem de tüketiminin çevreyle uyumlu olarak başarılması gerekmektedir. İhtiyaç duyulan enerjinin karşılanması için ise, üretimin artırılması kadar mevcut enerjinin en yüksek verimle kullanılması da büyük önem taşımaktadır. Enerji kullanımında verimliliği artırmanın başlıca yolu, kayıpların en aza indirilmesidir. Ayrıca güç sistemlerinde servis edilen elektrik enerjisinin kalitesinin yüksek olması beklenmektedir. Güç sistemlerinde kayıpları azaltarak verimliliği artırmak ve gerilimi düzenleyerek enerjiyi yüksek kalite ile tüketim birimlerine ulaştırmak için transformatör kayıplarının en aza indirilmesi gerekmektedir. Bu kayıpların minimize edilmesi verimi arttırmakta önemli bir rol oynar [1-4].

2. Transformatörlerde Kayıplar

Transformatör kayıpları histerizis kayıpları, fuko kayıpları ve bakır bakıpları olmak üzere üç başlık altında incelenir [5].

Histerizis kaybı: Alternatif akımın bir periyotta iki defa yön değiştirmesi iletken malzeme üzerinde hem manyetik hem de elektrik bir etki yaratır. Akımın anlık değerinin değişmesinin sonucu olarak amper-sarımında anlık değeri değişmektedir. Buna bağlı olaraksa *B* manyetik alan yoğunluğu değişir.

Bobin akımının pozitif yönde doymaya kadar sürekli artırırken, negatif yönde sürekli azaltılarak eğri tamamlanır. İşlem tamamlanırken akım sanki alternatif akım gibi yön değiştirir. Dolasıyla histerizis kayıplarının oluşması için alternatif akımın varlığı şarttır. Bu iki eğrinin farklı apsis ve ordinatlarda eksenleri kesmesi sonucu oluşan fark bize enerji

kaybını verecektir. İşte bu enerji kaybı histerizis kaybı olarak adlandırılmaktadır.

Histerisiz kaybını P_h ile gösterecek olursak;

$$P_h = \eth \times G \times B^X \times f \quad (1)$$

ile hesaplanır. $\eth$ burada malzemeye ait histerizis kayıp katsayısı, birimi W/kg, G demirin ağırlığı birimi kg, x ise malzemeye ait olan 0.5 ile 2.3 arasında değişen bir sabit, B manyetik alan yoğunluğu, f ise frekanstır.

Görüldüğü üzere histerizis kaybı frekansla artmaktadır. Bu mantıklıdır çünkü alternatif akımın bir saniyedeki periyot sayısı arttıkça yukarıdaki eğrinin alanı dolasıyla kayıp da artacaktır.

Fuko (Girdap Akımları): Genliğinin değeri zamanla değişen bir manyetik alanda bulunan, kalınlığı t olan ferromanyetik bir sac düşünelim. Manyetik alan vektörünün bu malzeme üzerine 90 derecelik bir açıyla geldiğini varsayarsak sacın üzerinde bir gerilim ve akım indüklenecektir. Bu indüklenen gerilim sacın elektriksel direnç ile orantılı olarak t kalınlığındaki kısma akım akıtacaktır. İşte bu akım Joule kaybına sebep olacaktır ki, bu kayıplara fuko (girdap) kaybı denir.

Fuko kayıplarının azaltmanın yolu sacın kalınlığını olabildiğince az tutarken, direncin artırılması yoludur.

Ek olarak akımın saclar üzerinde yürümemesi için her bir sacın yüzeyi yalıtılmalıdır.Aksi halde aşırı ısınmalar meydana gelebilir. Fuko kayıplarını P_f ile gösterecek olursak

$$P_f = \eth \times G \times B^2 \times f^2 \times h \quad (2)$$

$\eth$ burda fuko kaybı katsayısıdır birimi W/kg, G ağırlık birimi kg, B manyetik alan, f frekanstır.

Görüldüğü üzere hem histerizis hem de fuko kayıpları B manyetik alan yoğunluğuyla orantılıdır.

Bakır Kayıpları: Transformatörlerde primer (birincil) sargılarda transformatöre yük bağlanmamış olsa bile manyetik alanı oluşturan sargıların direncinden dolayı kayıplar oluşur. Bu kayıplar ısı olarak ortaya çıkar ve soğutma sistemiyle transformatörden dışarıya atılmalıdır. Sekonder uca yük bağlanmasıyla, primer ve sekonder sargıların her ikisinde de akım oluşacağından daha fazla kayıp oluşur. Bu kayıplar sargıların direncinden kaynaklandığından bakır kayıpları veya (I^2.R) kayıpları olarak adlandırılır.

Güç transformatörleri iletim hatlarında kullanıldığından aboneyle direk olarak bağlantısı yoktur, bu yüzden yük değişimleri çok azdır. Transformatör tam yük altında olduğundan gün boyunca bakır ve demirin özgül ağırlıklarında ki değişim çok az olacaktır (Fe/Cu). Güç transformatörleri tam yük veya tam yüke yakın çalışmada max. verimlilik için tasarlanmıştır. Seçimi yapılırken verimlilikten çok gücü dikkate alınmalıdır.

İyi dizayn edilen bir transformatörde, belirli bir frekans, gerilim oranı ve ısınma için verilen belirli güçteki toplam kayıplar neredeyse sabittir. Bakır kaybı yüksek tutulup, demir kaybının mümkün mertebede düşük tutulması doğaldır. Zira demir kaybı 24 saatlik bir yük olarak ifade edilebilir.

Yağlı tabi soğutmalı transformatörlerde aşırı yüklenmeye müsaade edilmez. Tam yükte ve maksimum bir çevre sıcaklığında yağdaki ısınma 60°C'dir. Bu nedenle böyle transformatörlerde bakır kayıplarının, demir kaybına oranı oldukça yüksek olabilir. Bu oran güç, gerilim ve frekansa göre 4/1 den 7/1 e kadar düzenlenebilir. Şayet çevre sıcaklığı maksimum altında ise belirli aşırı yüklenmelere izin verilebilir.

Yukarıda verilen oranlar sargılarda aşırı ısınma olmaksızın, belirli aşırı yüklemelere daha düşük çevre sıcaklarında ulaşılmasına müsaade edilecek şekildedir.

Transformatör sürekli aşırı yükleme için dizayn edilirse, normal tam yükte bakırın, demir kaybına oranı düşmektedir.

3.Bulgular

100 kVA güç transformatörünü inceleyecek olursak;

Bağlantı grubu Yz_n11 olan 100 kVA transformatörün demir, bakır kayıpları ve diğer kayıplar hesaplanmaktadır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 1.Transformatörün Etiket Bilgileri

Güç (kVA)	*V_1 (V)*	*V_2 (kV)*	*N_1*	*N_2*	*Primer Faz Akımı (A)*	*Sekonder Faz Akımı (A)*
100	36	0,4	4360	60	1,605	144,338

Çizelge 2.Transformatörün Ölçülen değerleri

f (Hz)	Akı (Wb)	*B* (Tesla)	*H* (A/m)	u_k (%)	*Nüve ağırlığı (kg)*	*Nüve Hacmi (kg)*
50	0,0214	1,646	305	4,5	224	0,026

Denklem (1) deki formüle göre;

$$P_h = \eth \times G \times B^X \times f$$

$\eth$ burada malzemeye ait histerizis kayıp katsayısı ve alaşımlı saç için (0.01-0.015) arasıdır, G demirin ağırlığı birimi kg, x

ise malzemeye ait olan 0.5 ile 2.3 arasında değişen bir sabit, Ferrit malzeme için *2* seçilir. *B* manyetik alan yoğunluğu, *f* ise frekanstır, *G* nüve ağırlığıdır. Manyetik alan yoğunluğunu hesaplamak için endüksiyon eşitliğinden yararlanabiliriz

$$E_1 = 4.44 \times \phi_m \times f \times N_1 \quad (3)$$

$$36000/\sqrt{3} = 4.44 \times \phi_m \times 50 \times 4360$$

$$\phi_m = 0.214 \text{ Wb}$$

$$\phi_m = B_m \times A$$

$$B_m = 0.0214 / 0.013 = 1.646 \text{ T} \quad (4)$$

$$S_{giriş} = \sqrt{3} \times V_1 \times I_1 \quad (5)$$

$$I_1 = 100\,000 / \sqrt{3} \times 36000 = 1.605 \text{ A}$$

$$S_{çıkış} = \sqrt{3} \times V_2 \times I_2 \quad (6)$$

$$I_2 = 100\,000 / \sqrt{3} \times 400 = 144.338 \text{ A}$$

$$Ph = ð \times G \times B^X \times f$$

$$Ph = 0.013 \times 224 \times (1.646)^{\wedge}2 \times 50$$

$$= 394,47 \text{ W}$$

Denkem (2)'ye göre Fuko Akım Kaybı Hesabı ;

$$P_f = ð \times G \times B^2 \times f^2 \times h$$

ð burada fuko kaybı katsayısıdır birimi W/kg, *G* ağırlık birimi kg, *B* manyetik alan, *f* frekans, *h* ise nüve hacmidir.

$$ð = 0,214/224$$

$$P_f = (0.214/224) \times 224 \times (1.646)^2 \times 50^2 \times 0,026 = 37,68 \text{ W}$$

Toplam demir kaybı (Pfe),

$$P_{fe} = P_h + P_f \quad (7)$$

$$P_{fe} = 394,47 + 37,68 = 432,15 \text{ W}$$

Bakır Kayıpları: Primer ve sekonder iletken direnci (60°) için hesaplanmaktadır. Bakırın 60 C° deki özgül direnci;

$$\rho\ 60° = (234.5 + 60°/234.5 + 20°) \times \rho 20 \quad (8)$$

Bakır (20 C°) özgül direnci; $\rho 20 = 0.01786$ ($\Omega.mm^2/m$)

$$\rho\ 60° = 1.157 \times 0.01786 = 0.02066\ (\Omega.mm^2/m)$$

Primer iletken(60 C°) direnci (Rp 60°);

$$R_1\ 60° = (234.5 + 60°/234.5 + 20°) \times R20 \quad (9)$$

$$R_1\ 60° = \rho 20 \times (234.5 + 60°/234.5 + 20°) \times (l/A)$$

l : iletken uzunluğu , A: iletken kesiti.

$$R_1\ 60° = 0.01786 \times (1.157) \times (2400/0.270)$$

$$R_1\ 60° = 183,68\ \Omega$$

Transformatörün bağlantı grubu Yz_n olduğuna göre, primer tarafında hat akımı ile faz akımı aynı değerdedirler.

$$Pcu_1 = 3 \times I_1^2 \times R_1 \quad (10)$$

$$Pcu_1 = 3(1,605)^{\wedge}2 \times 183,68 = 3 \times (473,16) = 1419,49 \text{ W}$$

Sekonder bakır kaybını hesaplamak için;

Sekonder iletken (60 C°) direnci (R_2 60°);

$$R_2\ 60° = (234.5 + 60°/234.5 + 20°) \times R20° \quad (11)$$

$$R_2\ 60° = \rho 20 \times (234.5 + 60°/234.5 + 20) \times (l/A)$$

l : iletken uzunluğu , A: iletken kesiti.

$$R_2\ 60° = 0.01786 \times (1.157) \times (32.2/28)$$

$$R_2\ 60° = 0,0237\ \Omega$$

$$Pcu_2 = 3 \times I_2^2 \times R_2 \quad (12)$$

$$Pcu_2 = 3(1,605)^2 \times 144,33 = 3 \times (371,79) = 1115,39 \text{ W}$$

Toplam bakır kaybı;

$$P_T = (Pcu_1 + Pcu_2) + Pac \quad (13)$$

$$Pac = 0.05\ Rdc \quad (14)$$

$$Pac = 0.05 \times (Pcu_1 + Pcu_2)$$

$$= 126,744 \text{ W}$$

Transformatör toplam bakır kaybı;

$$Pcu_T = (Pcu_1 + Pcu_2) + Pac$$

$$Pcu_T = 1419,49 + 1115,39 + 126,744 = 2661,24 \text{ W}$$

Transformatörüm Toplam Kayıp Hesabı (P_T):

$$P_T = P_{fe} + Pcu_T \quad (15)$$

$$P_T = 432,15 + 2661,24 = 3093,40 \text{ W}$$

Kayıpların yüzdesinin hesabı ($\% P_T$) (16)

$$\% P_T = (\text{toplam kayıp} / \text{giriş güç}) \times 100$$

$$\% P_T = (3249 / 100000) \times 100 = 3,249 \text{ W}$$

Çizelge 3.Hata değerlendirme grafiği

Güç (kVA) 100	Ölçülen değerler	Teorik Değerler	Hata Yüzde oranı
Demir kaybı (W)	441,20 W	432,15 W	% 2,01
Bakır Kaybı (W)	2807,80 W	2661,24 W	% 5,02
Toplam Kayıp (W)	3249,00 W	3093,40 W	% 4,78

Sonuçlardan görüldüğü gibi 100 kVA örnek transformatörde ölçüm sonucu ile ve yapılan sayısal (teorik) hesaplamalarda elde edilen sonuçlar Çizelge 3'den görüldüğü gibi birbirilerine çok yakın değildir. Arada olan farkın transformatörün elamanların ısınması ve bu ısınmanın kayıp değerine yansıması sonucu oluşan değer farklarıdır.

250 kVA güç transformatörünü inceleyecek olursak [6];

Bağlantı grubu Dy_n11 olan 250 kVA transformatörün demir, bakır kayıpları ve diğer kayıplar hesaplanmaktadır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4. ve Çizelge 5'de verilmektedir.

Çizelge 4.İkinci Transformatörün Etiket Bilgileri

GÜÇ KVA	V1 (kV)	V2 (kV)	N1	N2	Primer Faz Akımı	Sekonder Faz Akımı
250	36	0,4	4830	31	2,32	361,27

Çizelge 5. İkinci Transformatörün Ölçüm Bilgileri

F (hz)	Akı (wb)	B (Tesla)	H (A/m)	Uk (%)	Nüve ağırlığı (kg)	Nüve Hacmi (kg)
50	0,335	1,51	135,6	4,5	432	0,056

Denklem (1) ye göre Histerisiz Kaybı Hesabı ;

$$P_h = \eth \times G \times B^X \times f$$

$\eth$ burda malzemeye ait histerizis kayıp katsayısı ve alaşımlı saç için (0.01-0.015) arasıdır. *G* demirin ağırlığı birimi *kg*, *x* ise malzemeye ait olan 0.5 ile 2.3 arasında değişen bir sabit, Ferrit malzeme için 2 seçilir, *B* manyetik alan yoğunluğu, *f* ise frekanstır, *G* nüve ağırlığıdır. Manyetik alan yoğunluğunu hesaplamak için endüksiyon eşitliğinden yararlanabiliriz;

$$E_1 = 4.44 \times \phi_m \times f \times N_1$$
$$36000 = 4.44 \times \phi_m \times 50 \times 4830$$
$$\phi_m = 0.0335 \text{ Wb}$$
$$\phi_m = B_m \times A$$

$$B_m = 0.333 / 0.022 = 1{,}51 \text{ T}$$

$$S_{giriş} = \sqrt{3} \times V_1 \times I_1$$
$$I_1 = 250\,000 / \sqrt{3} \times 36000 = 4{,}01 \text{ A}$$

$$S_{çıkış} = \sqrt{3} \times V_2 \times I_2$$
$$I_2 = 250\,000 / \sqrt{3} \times 400 = 361{,}27 \text{ A}$$

$$P_h = \eth \times G \times B^X \times f$$

$$P_h = 0.012 \times 432 \times (1{,}51)^2 \times 50 = 591 \text{ W}$$

Denlem (2)'ye göre Fuko Akım Kaybı Hesabı ;

$$P_f = \eth \times G \times B^2 \times f^2 \times h$$

$\eth$ burada fuko kaybı katsayısıdır birimi W/kg, *G* ağırlık birimi *kg*, *B* manyetik alan, *f* frekans, *h* ise nüve hacmidir.

$$\eth = 0{,}214/432$$

$$P_f = (0.214/432) \times 432 \times (1.51)^2 \times 50^2 \times 0{,}056 = 68{,}31 \text{ W}$$

Toplam demir kaybı (P_{fe}),

$$P_{fe} = P_h + P_f$$
$$P_{fe} = 591 + 68{,}31 = 659{,}31 \text{ W}$$

Bakır Kayıpları:

Primer ve sekonder iletken direnci (60°) için hesaplanmaktadır. Bakırın 60 C° deki özgül direnci;

$$\rho\ 60° = (234.5 + 60°/234.5 + 20°) \times \rho 20 \qquad (17)$$

Bakır (20 C°) özgül direnci ($\rho 20 = 0.01786\ \Omega.mm^2/m$)

$$\rho\ 60° = 1.157 \times 0.01786 = 0.02066\ \Omega.mm^2/m$$

Primer iletken (60 C°) direnci (R_1 60°);

$$R_1\ 60° = (234.5 + 60°/234.5 + 20°) \times R20°$$

$$R_1\ 60° = \rho 20 \times (234.5 + 60°/234.5 + 20°) \times (l/A)$$

l : iletken uzunluğu , A: iletken kesiti.

$$R_1\ 60° = 0.01786 \times (1.157) \times (3500/0.73)$$

$$R_1\ 60° = 99{,}07\ \Omega$$

Bağlantı gurubu Dy_n, primer tarafı üçgen bağlı olduğuna göre akım;

$$I_l = 250\,000 / 36000 = 4.01 \text{ A} \qquad (18)$$
$$I_{faz} = 4.01 / \sqrt{3} = 2.314 \text{ A} \qquad (19)$$

$$Pcu_1 = 3 \times I_1^2 \times R_1$$
$$Pcu_1 = 3 \times (2{,}314)^2 \times 99{,}07 = 3 \times (530{,}47) = 1591{,}43 \text{ W}$$

Sekonder bakır kaybını hesaplamak için;

Sekonder iletken (60 C°) direnci (Rs 60°);

R_2 60°=(234.5+ 60°/234.5+20°)× R20°

R_2 60°= ρ20 ×(234.5+ 60°/234.5+20°)×(l/A)

l : iletken uzunluğu , A: iletken kesiti.

R_2 60°=0.01786×(1.157)×(120/45)

R_2 60°=0,0055 Ω

$Pcu_2 = 3 \times I_2^2 \times R_2$

Pcu_2= 3×(361,27)^2 × 0,0055 = 3×(371,79) = 2153,51 W

Toplam bakır kaybı;

$P_T = (Pcu_1 + Pcu_2) + Pac$

Pac = 0.05

Pac = 0.05 × (Pcu_1 + Pcu_2)

= 187,24 W

Transformatör toplam bakır kaybı;

$Pcu_T = (Pcu_1 + Pcu_2) + Pac$

Pcu_T = 1591,43+2153,51+187,24 W

Transformatörüm Toplam Kayıp Hesabı (P_T);

$P_T = P_{fe} + Pcu_T$ =
659,31 + 3932,18 = 4591, 49 W

Kayıpların Yüzdesinin Hesabı (% P_T)

% P_T = (toplam kayıp/ giriş güç) × 100

% P_T = (4644,65 / 250000)×100 = 1,857

Çizelge 5.İkinci Transformatörün Hata değerlendirme grafiği

Güç (kVA) 100	Ölçülen değerler	Teorik Değerler	Hata Yüzde oranı
Demir kaybı (W)	664,20 W	659,31 W	% 0,70
Bakır Kaybı (W)	3980,45 W	3932,18 W	% 1,22
Toplam Kayıp (W)	4644,65 W	4591,49 W	% 1,15

Sonuçlarda görüldüğü gibi 250 kVA örnek transformatörde ölçüm sonucu ile ve yapılan sayısal (teorik) hesaplamalarda elde edilen sonuçlar birbirilerine çok yakındır.

Arada olan farkın transformatörün kayıpların ölçüm cihazlarından, ölçüm esnasında elamanların ısınması ve bu ısınmanın kayıp değerine yansıması sonucu oluşan değer farklardır.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, transformatörlerin kayıp hesabı için kullanılan yöntemler ele alınmıştır. Örnek olarak ele alınan 100 kVA ve 250 kVA transformatörün teorik olarak kayıpları hesaplanmıştır. Hesaplanan teorik değerler ile pratik değer karşılaştırılmıştır. Sonuçlarda görüldüğü gibi 100 kVA transformatörde teorik ve pratik değerler arasında fazla fark olmasının nedeni transformatörün aşırı yükle yüklenip ısınmasından kaynaklanmaktadır. Transformatörün aşırı yüklenmesi verimi de düşürmektedir. 250 kVA transformatör incelendiğinde teorik ve pratik kayıp hesabında sonuçlar birbirine çok yakın olduğu görülmüştür bunun nedeni transformatörün ideal sınırlar içinde yüklenmesidir.

Bakır kaybı akımın karesi ile orantılı olarak değiştiğinden *(I^2R)*, bakır kaybı demir kaybına göre büyük olan transformatörler, iki kaybın birbirine yaklaştığı transformatörlere göre daha düşük bir yükleme kapasitesine sahiptir. Bakır kaybına göre demir kayıpları büyüdükçe, maksimum verim elde etmek için transformatörün yüksek güçlere sahip olacağına dikkat edilmelidir. Sonuç olarak; düşük yüklerde çalıştırılan bir transformatörde, bakır kayıplarını biraz daha arttırılsa bile, demir kayıplarının minimuma indirilmesi gerektiği anlaşılmalıdır.

5. Kaynaklar

[1] Gönen, T. “Electric Power Distribution System Engineering” Mc Graw Hill, 1986.

[2] Baran, M.E, “Optimal Capacitor Placement on Radial Distirbution Systems”, IEEE Trans. On Power Delivery Pages 725-734, 1989.

[3] Sallam A A, Malik O P. Electrical Distribution Systems. John Wiley and Sons, 2011.

[4] Subrahmanyam J B V, Radhakrishanana C. A Simple method for optimal capacitor placement in unbalanced radial distribution systems. Electrical Power Components and Systems, 2010, 38(11): 1269–1284.

[5] Mergen A. Faik, Zorlu S. “Elektrik Makineleri I – Transformatörler, Birsen Yayınevi, İstanbul, 37-43, 105-110, 2006

[6] Mahmoud, S., “Yağlı transformatörlerin kayıplarının hesaplanması”, Yüksek Lisans, Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 95-97, 98-99, 2008.

Elektrik Şebekeleri ve Afet
Electric Grids and Disasters

Figen Özen[1]

[1]Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Haliç Üniversitesi
figenozen@halic.edu.tr

Özet

Bir afet meydana geldiğinde, enerjinin kesintiye uğramaması, arama-kurtarma çalışmalarında ve hayatın sürdürülebilirliğinde önemli olmaktadır. Elektrik şebekelerini afet ve afetle ilgili etkilere karşı korumak zordur. Bu nedenle, afetlere karşı önlemler almanın yanı sıra, afetlerden sonra sistemin nasıl eski haline getirileceğini de önceden planlamak ve gerekli çalışmaları yapmak gerekmektedir.

Bu çalışma, afet durumunda elektrik şebekeleri açısından sorunları, dünyada benzer durumlarda alınan önlemleri ve çeşitli afet örneklerini incelemektedir. Örnekler afete karşı akıllı şebekelerin uygun bir seçenek olduğunu göstermektedir. Ancak akıllı şebekelerin kendilerine özgü çeşitli güvenlik sorunları bulunmaktadır. Bu sorunlar da dile getirilmekte ve uygun çözüm yollarından bahsedilmektedir.

Abstract

In the case of a disaster, the continuity in the supply of energy is important in search and rescue operations and the sustainability of life. It is hard to protect the electric grid against disasters and their effects. That is why, in addition to the precautions against disasters, it should be preplanned, to restore the system to its original status and the necessary steps should be taken beforehand.

This work focuses on the problems the electric networks experience in disaster, the precautions to be taken and the examples of the electric grids in disasters. The examples show that smart grid is a good solution to the disaster related problems. On the other hand, the smart grids have their own security problems. Those problems are mentioned and various solution methods have been considered.

1. Giriş

Afetler yıkıma neden olan, doğal ya da doğal olmayan kaynaklar tarafından meydana getirilen olaylardır. Gündelik hayatı büyük ölçüde aksatabilirler. Etkilerini en aza indirgeyebilmek için çeşitli önlemler almak gerekmektedir. Afet öncesinde, afet sırasında ve afet sonrasında yapılacaklar vardır. Bunlar için iyi bir planlama ve hazırlık gerekmektedir.

Elektrik şebekeleri, afetten etkilenecek unsurlardan en başta gelenlerindendir. Enerji santrallerini afet riski olan bölgelerde, örneğin fay hatlarının yakınında kurmamak, çeşitli risklere karşı korumaya almak mümkündür. Ancak, enerjinin bir şekilde kullanıcıya iletilmesi gerektiğinden, iletim hatlarının afetten tamamen korunması mümkün değildir. Bu nedenle, hatlarda kopmalar olduğunda, afetin hemen ardından iletimin acilen sağlanması konusundaki planlar önceden hazırlanmalıdır.

Enerji aktarımının sürekliliğini sağlamak için yapılacak ön hazırlıkların bir parçası da, ne tür afetler oluşabileceğini bilmekle ilgilidir. Örneğin, kasırga söz konusuysa yüksek gerilim hatlarının altındaki ağaçların budanması gerekmektedir. Öte yandan deprem durumunda, üretim binalarının ve istasyonlarının sismik takviyesi ve istasyonlara şalter ve diğer teçhizatın, yer sarsıntısından etkilenmeyi en aza indirgeyecek şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Onarım ekiplerinin doğru yerlere en hızlı şekilde ulaşabilmelerini sağlayacak planlar önceden yapılmalıdır.

Afette öncelikle yapılması gereken şey, hasar tespitidir. Yüksek gerilim hatları, tüm coğrafyaya yayıldığından, etraflıca inceleme yapılması gerekir. Hasar tespiti yapıldıktan sonraki öncelik, yüksek gerilim hatlarının onarılmasında olmalıdır.

İletim hatlarının tekrar devreye alınmasından sonra, onarım sırası dağıtım hattına gelmelidir. En fazla aboneye, en az çabayla dağıtım sağlamayı hedefleyen şekilde onarım yapılmalıdır. Ancak, bundan daha önemlisi, öncelikle hastanelere ve diğer sağlık kuruluşlarına, polis merkezlerine, su dağıtım istasyonlarına ve altyapının diğer önemli bileşenlerine yönelik hizmetin sağlanmasıdır.

Son adım, afet sonrasında, afet çalışmalarının değerlendirilmesidir. Bir sonraki afet için hazırlık ve planların iyileştirilmesi, bu noktada başlamalıdır. Bir sonraki afet için hazırlıklı olmak amacıyla, belirli zamanlarda tatbikat yapmak yararlı olmaktadır [1].

Sanayileşmiş ülkeler için elektrik altyapısı en temel unsurlardan biridir. Altyapı zamanla eskimekte ve enerji talebi giderek artmaktadır. Çeşitli nedenlerle meydana gelen elektrik kesilmelerinin yıllık maliyeti çok yüksek rakamlara ulaşmaktadır. Afetler dolayısıyla meydana gelen elektrik kesintileri, rutinin dışında olduğundan, maliyet katlanarak artmaktadır.

Afet gibi insan hayatının söz konusu olduğu durumlarda enerjinin kesintiye uğramaması, arama ve kurtarma

çalışmalarında ve hayatın sürdürülebilirliğinde önemli olmaktadır.

2. Afette Elektrik Şebekelerinin Durumuna Örnekler

Güç şebekesi ve diğer kritik altyapı unsurları orta şiddetteki afetlere dayanabilecek şekilde inşa edilirler. Ancak şiddetli bir afette iflas edebilirler. Örneğin 11 Mart 2011 tarihindeki Büyük Doğu Japonya depremi ve ardından yaşanan tsunami dolayısıyla, sahil bölgesindeki Japon güç şebekesi büyük oranda zarar görmüştür. Ancak, az hasarlanan iç kesimlerdeki daha büyük güç şebekesi de elektrik dağıtımı yapamamıştır. Pek çok evde güneş panelleri bulunsa da, elektrik kesintisi varken güneş paneli kullanımını yasaklayan kurallar nedeniyle bunlar kullanılamamıştır. Japonya örneği, merkezi güç üretim ve dağıtımının, mikro şebekelerin fazla olmamasının sonuçlarını göstermektedir. Benzer durum, ABD'de Katrina ve Sandy kasırgalarından sonra da yaşanmıştır.

Şekil 1: 11 Mart 2011 Büyük Doğu Japonya depreminden sonra tetiklenen tsunami dalgasının Iwate bölgesindeki Miyako şehrini vuruşu (Fotoğraf: Mainichi Shimbun/Reuters) [2].

Sandy kasırgası, 1800 kilometrelik alanda etkili oluşuyla ve neden olduğu 68 milyar dolarlık ekonomik kayıpla Katrina kasırgasının ardından gelmektedir. Sandy, 2012 yılının Ekim ayında önce Jamaica'da başlamış, sonra şiddetlenerek kuzeye doğru ilerlemiştir. Haiti, Küba ve Bahama Adaları ve Bermuda'dan sonra ABD'de 24 eyaleti etkisi altına alarak Kanada'ya ilerlemiştir. Karayipler, ABD ve Kanada'da en azından 233 kişinin ölümüne yol açmıştır.

Sandy kasırgası, ABD'nin doğu kıyılarını vurduktan sonra 15 eyaletin elektriksiz kalmasına neden olmuştur. Kasırganın gelişinden birkaç gün sonra New York ve New Jersey'de elektrik alamayan abonelerin sayısının 3 milyon civarında olduğu görülmüştür. Diğer eyaletlerde de 700,000 abonenin günlük yaşamları, elektrik kesintileri yüzünden sürekli sekteye uğramıştır.

Sandy nedeniyle ortaya çıkan bu durum, merkezi elektrik şebekesinin ne denli güçsüz olduğunu, dağıtım sisteminin dağıtık kontrolünün yararlarını göstermiştir.

Şekil 2: Sandy kasırgasının ABD'nin doğu kıyılarında etkisini gösterişi. NOAA GOES-13 uydusundan alınmıştır [3].

Katrina ve Sandy kasırgalarında yaşanan elektrik kesintileri akıllı şebeke (smart grid) teknolojisinin önemini göstermiştir. Yaşananlar aynı zamanda veri haberleşmesi ve dağıtımının yönetimine, dağıtık enerji kaynaklarına, enerji depolama sistemlerine, ek otomasyona yatırım yapılması gerektiğini ve merkezi güç sisteminin dağıtılmasına ihtiyaç olduğunu göstermiştir.

Şebekeyi deprem, sel, kasırga, yangın, şiddetli yağmur, hattın üzerine ağaç yıkılması, moloz gibi afet ve afetle ilgili etkilere karşı korumak zordur. Bu nedenle dağıtım şirketlerinin yapması gereken, afetlerden sonra sistemi nasıl eski haline getirebileceklerini planlamak ve bunun için gerekli hazırlıkları önceden yapmak olmalıdır. Ancak, büyük bir afetten sonra yapılması gereken onarımların aylarca sürebileceğinin de hesaba katılması gerekmektedir.

3. Klasik Onarım Stratejileri ve Alternatifi

Kesintilerden sonra minimum zamanda yeniden maksimum yüke ulaşabilmek için onarım süreci başlatılır. Onarım sırasında sistem güvenliğine ve işletim koşullarına dikkat edilir. Sistemin yapısına özgü onarım süreçleri söz konusu olabilir. Simülasyon teknikleri kullanılan durumlar vardır, ancak genelde operatörün deneyimi ve sezgisi ön plana çıkar. Bazen, onarım sırasında sorun olmayan bölgelerin elektriğinin kesildiği de olur. Bunun olmasını engellemek için, servis sağlayıcılar şalterler, alternatif kaynaklar, trafolar ve elektrik sağlamaya yarar ek yollar kullanır.

Klasik olarak, elektrik şirketleri, aboneden arıza bildirimi aldıklarında arızanın nerede olduğunu araştırırlar ve sistemi onarmaya yönelirler. Bu amaçla tamir ekibi sahaya gönderilir. Ekibin görevi, arızanın yerini tespit edip, arızanın olduğu bölgeyi izole edecek şekilde şalterleri kapayıp gerekli onarımı en kısa sürede bitirmektir. Tamir otomasyon ile hızlandırılabilir. Dünyadaki bazı elektrik şirketleri akıllı şebeke teknolojilerini kullanarak hata tespitini ve onarımı %50

oranında hızlandırmayı başarmışlardır. Akıllı sayaçlar, kesintileri anında haber verebildikleri için abonenin arayıp arızayı bildirmesinden daha etkili olurlar. Aynı zamanda merkez ofisten onarımın başarılı olup olmadığı, bu sayaçlar yoluyla görülebildiğinden zaman ve işgücünden tasarruf sağlanır. Ayrıca koruma ve kontrol amaçlı olarak akıllı elektronik cihazlarla donatılmış besleyici elektrik şalterleri, besleyici otomasyonunu sağlamak için kullanılabilir. Bu cihazlardaki otomasyon, ölçüm, izleme, kontrol ve haberleşmeyi içerdiğinden, otomatik olarak arıza tespiti, arızalı bölgeyi izole etme ve hat onarımı kolaylaşmış olur.

Besleyici otomasyonu, şalterin statüsünü değiştirdiğinden besleyici hattın topolojisi de değişir. Sistemde bir arıza oluştuğunda, hattaki şalter otomatik olarak açılır, besleyici otomasyonu arızayı izole eder ve enerjiyi mümkün olduğunca kısa sürede tekrar verir. Uygun bir ağ haberleşme yapısı kurulduğunda, otomatik arıza sezimi ve izolasyon basit işlemler haline gelir. Ancak otomatik güç restorasyonu, basit olmaktan uzaktır. Uygun ve optimal restorasyon planının yük dengeleme ve çalışma kısıtlarını kapsaması gerekir. Özetlemek gerekirse, akıllı şebekeler afete ve kesintilere hızla cevap vermeyi ve elektrik kesintilerinin etkisini aza indirmeyi hedefler. Diğer bir seçenek olan mikro şebekeler ise elektrik kesintilerini başlangıçtan durdurmayı hedefler [4].

4. Mikro Şebekelerin Çalışması

Mikro şebeke (microgrid), yerel enerji üreten ve bağımsız olarak kontrol edilebilen bir birimdir. Ana şebekeden ayrılabilir ve özerk olarak çalışabilir.

Ana elektrik şebekesi işyerlerini, evleri ve diğer binaları merkezi güç kaynaklarına bağlar. Bu nedenle merkezde hasar, onarım ya da bakım olduğunda bütün şebeke etkilenir. Bu durumda mikro şebeke kullanmak, yararlı olmaktadır. Merkeze bağlı olarak çalışabildiği gibi, merkezden ayrıldığında, afet meydana geldiğinde, ya da başka nedenlerle kesinti yaşandığında, kendi başına çalışabilmektedir. Mikro şebekeler dağıtık jeneratörler, piller ya da güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışırlar. Çalışmaları için gereken enerjiyi nereden aldıklarına bağlı olarak, neredeyse sonsuza dek çalışabilirler.

Mikro şebeke, ana şebekeye gerilimin eşit kılındığı bir noktadan bağlanır. Ana şebekeden otomatik ya da manuel bir anahtar ile ayrılarak bağımsız çalışan bir adaya dönüştürülür.

Mikro şebeke, sadece acil durumlarda destek sağlamakla kalmaz, aynı zamanda ana şebekeye bağlanması maddi açıdan yüksek maliyete ulaşan ya da fiziksel güçlükler yaratan bölgelere elektrik vermekte de kullanılır.

Mikro şebeke farklı tasarım ve boyutlarda olabilir. Küçük bir yere elektrik sağlamak için kullanılabilir. Bunun bir örneği Dublin, California'daki Santa Rita cezaevidir.

Mikro şebeke, aynı zamanda büyük bir mikro şebekeler ağının küçük bir parçası olabilir. Örneğin Fort Collins, Colorado'da mikro şebekeler, her bölgenin kendine gerekli elektriği üretmesi için planlanmıştır [5].

Şekil 3: Santa Rita Cezaevi'nin mikro şebekesi [6].

5. Mikro Şebekelerin Katkıları ve İşletimi

Dağıtık enerji kaynaklarını içeren modern dağıtım şebekeleri, restorasyon servisi paradigmasını değiştirmiştir. Bu tür dağıtım şebekeleri, sanal güç üreten birimler gibi çalışan yerel üretim kaynakları, frekans ve gerilim desteği sağlayan aktif yüklerle donatılmışlardır. Bu koşullar altında dağıtım şebekesinin çalışması ve dağıtım yönetim sisteminin operatörlerine gerçek zamanlı yardım sağlayabilmek için, dağıtım sisteminin her seviyesinde, iyileştirilmiş protokollere ihtiyaç vardır.

Akıllı dağıtım sistemleri mikro şebekeleri kurar ve akıllı şebekeleri kullanarak;

- Dağıtık enerji kaynaklarını ve saklama teknolojilerini,
- Talebe yönelik tavır alan proaktif tüketicileri,
- Enerji kaynaklarının ve dağıtım besleyicilerinin dağıtık kontrolünü yönetir.

Mikro şebekeler çoğunlukla dağıtım besleyicilerine bağlıdır, beklenmedik durumlarda yük ve üretim kontrolüyle arzın sürekliliğini sağlar. Bu tür mikro şebeke kontrolü, dağıtım ağı operasyonlarında güvenlik, kontrol edilebilirlik ve esnekliği arttırmak amacıyla hiyerarşik biçimde yapılandırılmıştır. Mikro şebekeler, şebekeye bağlı modda çalıştırılabilir. Yükleri kısmen dağıtım sistemi tarafından karşılanır. Gerekirse ada modunda çalışırlar. Ada modundayken, mikro şebekenin tüm yükü yerel üretimden karşılanır. Kendi dağıtık enerji kaynağını kontrol etmek ve arz-talep dengesini kurmak için, bir mikro şebekenin kendi enerji yönetim sistemi vardır.

Sonuçta, bir mikro şebeke, bir dağıtım şebekesinde, şebekeden ayrılabilen aktif bir yük gibi davranır. Yük restorasyon prosedürlerinde, uygun olan mikro şebekelerin devreye alınmasıyla, dağıtım şebekesi yük restorasyon kapasitesini iyileştirebilir ve dağıtım sisteminin güvenirliğini daha da arttırabilir.

Modern bir dağıtım sisteminde afet bölgesi mikro şebekelerle izole edilir; hastaneler, veri toplama merkezleri ve hayati önem taşıyan diğer binalara enerji verilir.

Mikro şebekelere eklemlenen teknolojiler giderek gelişmekte ve çeşitli ülkelerde uygulamalar yapılmaktadır. Örneğin

Maryland, ABD'de, 2012 yazında çıkan bir kasırgada, mevcut durumdaki mikro şebeke, yerel sistemlere enerji aktarımında kullanılmıştır. Japonya'daki Tohoku Fukushi Üniversitesi'nde bulunan 1 MW'lık mikro şebeke, Mart 2011'deki deprem ve tsunami sırasında ada modunda çalıştırılıp, üniversiteye enerji sağlanmıştır.

Şekil 4: Tohoku Fukushi Üniversitesi'ndeki mikro şebeke [7].

6. Mikro Şebekelerin Varlığında Dağıtım Sisteminin Servis Restorasyonu

Mevcut işletme pratiklerine göre beklenmedik bir durum oluştuğunda, dağıtık enerji kaynağı üniteleri hemen devre dışı bırakılmalı ve dağıtım sistemine enerji verilip nominal gerilim ve frekans değerlerine ulaşıldıktan sonra tekrar bağlanmalıdır. Ancak, mikro şebekelerdeki aktif yönetim stratejileri, ada modunda dağıtık kontrole yönelim oluşturabilir ve bu şekilde mikro şebekedeki dağıtık enerji kaynaklarının önemli bir arızada devre dışı kalmasına gerek duymayabilir. Elektrik kesilmelerinde, dağıtım şebekesinin çalışmadığı zaman, yerel üretim kaynaklarının devreye girmesini sağlayarak, kısaltılabilir.

Tamamen çalışabilir durumda olup da, restorasyon yolunun üzerinde yer alan bir mikro şebeke, yüklerine enerji sağlamak için, ada modunda başlatılabilir. Ancak mikro şebeke bir afet sırasında kısmen zarar gördüyse ve restorasyon yolu üzerindeki diğer dağıtım sistemi bileşenleri ile birlikte devre dışı bırakıldıysa, mikro şebeke yönetici kontrolörü çabucak hasar tespiti yapıp, mikro şebekenin devreye alınabilen dağıtık enerji kaynak ünitelerinden yararlanarak, kritik yüklere enerjiyi tekrar vermeyi sağlayabilir.

İletim ve dağıtım restorasyon prosedürleri arasındaki iyi koordinasyon, restore edilen yükleri arttırıp, kesinti zamanlarını azaltarak, sistemin güvenilirliğini arttırabilir.

Adalaştırılan mikro şebekeler, orta gerilim dağıtım sistemlerinde kendilerini tamir edebilirler. IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) standartlarına göre orta gerilim sistemleri 1 kV ila 100 kV aralığında çalışan sistemlerdir. Yüksek gerilim sistemleri bunun üzerinde ve 230 kV'a kadar olan sistemlerdir. Ekstra yüksek gerilim sistemleri ise bu değerin de üzerindekilerdir. Ayrıca düşük gerilim ve çok düşük gerilim sistemleri de vardır. Düşük gerilim sistemleri 50 V ila 1 kV aralığında çalışırken, çok düşük gerilim sistemleri 50 V'un altındakilerdir.

Kendi dağıtık enerji kaynak ünitesi bulunan, adalaştırılmış mikro şebekelerin restorasyonu çabuk yapılırken, dağıtım sistemi için klasik bir strateji uygulamak da mümkün olabilir. Bu bağlamda, tüm sistemin restorasyonu, dağıtım sisteminde yukarıdan aşağıya, alçak gerilim dağıtım sistemi için de aşağıdan yukarıya ve mikro şebekelerin özelliklerini göz önüne alarak, hiyerarşik bir yaklaşımla gerçekleştirilebilir.

Esas olarak, bir mikro şebeke, aşağıdakilerden bir ya da daha fazlasını sağlayarak, dağıtım sistemi restorasyonuna yardımcı olur:

- Yerel mikro şebeke yüklerini beslemek ve ana şebekenin yükünü hafifletmek için, şebekeden ayrı ada görevini görebilir.
- Acil durumlarda talebe yanıt vererek ve kesintilerin aboneler üzerindeki etkisini en aza indirgemek amacıyla kritik olmayan yükleri azaltarak, mikro şebeke yüklerinin azaltılması yönündeki koordinasyona yardımcı olur.
- Yerel yüklere enerji sağlamak ve mümkünse ana şebekeye fazladan enerji verebilmek için üretimini arttırabilir. Bunu başarabilmek için sevk edilebilir dağıtık enerji kaynağı üniteleri (örneğin dizel jeneratörleri ve mikro türbinler), üretmeleri gereken miktarı yükselterek, sevkiyatlarını arttırabilirler, öte yandan sevk edilemeyen dağıtık enerji kaynağı üniteleri (örneğin güneş panelleri ve rüzgar türbinleri) eldeki yenilenebilir enerji kaynağı kapasitesine göre yerel mikro şebeke yüklerine kaynak sağlayabilir.

Bir dağıtım sistemi, pek çok mikro şebekeden oluşabilir. Bu mikro şebekelerin her birinde, kendine ait dağıtık enerji kaynağı birimi olabilir. Bu birimler, kesintiler sırasında daha geniş bir bölgeye dengeleyici bir servis sağlamak amacıyla güç elektroniği ara yüzleri ve saklama cihazları yoluyla birbirine bağlanmış olabilir. Çoklu mikro şebekelerin yönetimi, dağıtık yönetim sistemi ile yapılır. Dağıtık yönetim sistemi, kontrol sinyalini orta gerilim şebekelerinden ve mikro şebeke yönetici kontrolörden alır. Dağıtık yönetim sistemi, mikro şebekelere yük paylaşımı ve çoklu mikro şebeke operasyonlarında optimizasyonu gerçekleştirerek, nominal gerilim ve frekans değerlerinin korunmasını sağlamak amacıyla gerekli sinyalleri gönderir [4].

7. Akıllı Şebeke ve Siber Saldırılar

Akıllı şebeke, Amerikan Enerji Bakanlığı'nın tanımıyla ifade edilirse, ileri algılayıcı (sezme) teknolojilerini, kontrol metotlarını ve haberleşme tekniklerini elektrik şebekeleriyle birleştiren sistemdir. Diğer bir deyimle, akıllı iletim ve dağıtımı gerçekleştiren otomasyon şebekesidir.

Akıllı şebekelerin kullanımı pek çok açıdan kolaylık sağlamaktadır. Ancak siber ve fiziksel güvenliğin sağlanmasına dikkat etmek gerekmektedir. Siber saldırı ya da doğal afet sonrası güç sisteminin analizi, sistemin karşı karşıya bulunduğu tehlikeler hakkında gerçek bilgi aktarımını sağlar ve gelecekte bu tür saldırılardan korunmada ve afet durumunda sistemin ayakta kalması için, önemlidir. Akıllı

şebekelere yönelik adli incelemeler yapılması söz konusu olduğunda, matematik, istatistik, bilgisayar bilimleri gibi pek çok bilim dalının bilgilerinin bir arada kullanılması gerekir.

Şekil 5: Akıllı şebeke ve akıllı sayaç çalışmalarının dağılımı [8].

Şekil 6: Akıllı şebeke çalışmaları. Çoğu yerde henüz sadece akıllı sayaçlar kullanılmaktadır [9].

Bilgi ve haberleşme teknolojileri, akıllı şebekeleri tanımlayan enstrümanlar olmakla birlikte, aynı zamanda şebekede güvenlik sorunlarının kaynağıdırlar. Siber saldırganlar, güç sistemine sızıp, şebekeye istedikleri gibi yön verebilirler, ya da gizli kalması gereken bilgileri ele geçirebilirler. Saldırılar güç sisteminin herhangi bir noktasından (akıllı sayaçlar, ileri ölçüm altyapısı, elektrik iletim altyapısı, enerji depolama sistemi, dağıtım otomasyon sistemi, veri toplama ağı, vs.) başlayabilir ve akıllı şebekenin can alıcı bileşenlerini hedef alabilir. Zaman zaman güç sistemlerini hedef alan siber saldırılar gerçekleştirilmektedir. Örneğin 2003 yılında Ohio ABD'deki Oak Harbor nükleer santraline yollanan virüs, santralin güvenlik gözlem sistemini saatlerce devre dışı bırakmıştır. Siber saldırganlar, kimi kentlerdeki güç dağıtımını kesintiye uğratmışlardır. Bu tür saldırıların etki, kapsama ve sıklık bakımından artan bir şekilde akıllı şebekeleri hedef alacağı görülmektedir. Bu nedenle, akıllı şebekelerin bu tür olası saldırılara karşı donanımlı bir şekilde devreye alınmaları gerekmektedir.

Şekil 7: Oak Harbor'daki Davis Besse nükleer enerji santrali [10].

Afet sonrası akıllı şebekelerde araştırma, şebekede operasyon sırasında depolanan bilgiyi işlemeyi gerektirir. Ancak toplanan verinin hacmi çok büyüktür ve işlenmesi zaman alıcıdır. Gerçek zamanlı veri işleme özellikle zordur. Bazı durumlarda veri işleme farklı bölgelere yönetici erişimi gerektirebilir. Bu durumda, afet ortamında yasal izinlerin alınması sorun yaratabilir. Ayrıca akıllı sayaçların, algılayıcıların ya da diğer cihazların verisiyle oynanmış olabilir ve bu durum, analizin yanlış sonuç vermesine yol açabilir. Kimlik doğrulama, önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır.

ABD'de, akıllı şebekelerin güvenilirliğini arttırmak amacıyla fazör ölçüm birimleri ve diğer ölçüm cihazları eklenmesine karar verilmiştir. Uygulama başlamıştır ve giderek yaygınlaşmaktadır. Fazör ölçüm birimleri zaman etiketli ve senkronize fazör ölçümü sağlarlar. Fazör, genliği ve yönü olan bir büyüklüktür. Fazörler gerilimin, akımın ve frekans sinyallerinin genlik ve faz bilgisini barındırırlar. İki düğümün arasındaki faz açısı farkı, yüksek faz açılı düğümden alçak faz açılı düğüme güç akışı anlamına gelir. Aradaki fark büyüdükçe, güç akışı büyür. Güç akışı belli bir eşik değerini aşarsa, güç şebekesi kararsız duruma geçebilir. Bu nedenle fazörlerin izlenmesi önemlidir. Şebekenin herhangi bir andaki durumunu tamamıyla görebilmek için fazörlerin senkronizasyonu önem taşımaktadır. Bunun için GPS (Global Positioning System) kullanılarak fazörler senkronize hale getirilir. Fazör ölçüm birimleri saniyede 30 ila 60 ölçüm alırlar. Bu özellikleriyle bir diğer seçenek olan SCADA'dan daha yüksek çözünürlük sağlamaktadır. SCADA, birkaç saniyede bir ölçüm alabilen bir aygıttır. SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), haberleşme kanallarını kullanarak uzaktaki bir cihazın kontrolünü sağlar. Kontrol sistemi, bir veri toplama sistemi ile birleştirilebilir.

Çoklu fazör ölçüm birimlerinden toplanan veri, zaman bakımından hizalanır. Senkronize ölçümler gerçek zamanlı kontrol işlemleri ve ince ayarlı güç sistemi planlamasında önem kazanmaktadır. Bağlantının arıza öncesi ve sonrası durumunu gerçek zamanlı olarak gözleyebilmek, arızanın nedenlerini daha iyi kavrama ve anlamaya yarayabilir. Eğer arıza bir saldırı yüzünden ortaya çıktıysa, fazör ölçüm birimi, gizliliği ihlal edilen düğümün yerini ortaya çıkarabilir.

Geniş alanlı güç sistemleri, genelde en yüksek yüklü düğümü hedef alan, yük bazlı saldırılara maruz kalmaktadır. Ancak

yakın zamanlardaki saldırılar, art arda en fazla düğümü çökertebilecek düğümleri hedef almaya başlamıştır. Bunların dışında sahte GPS bilgisi veren saldırılar da söz konusu olabilir.

Dikkate alınması gereken bir diğer konu da saklanması gereken verinin boyutunun çok büyük oluşudur.

8. Afette Şebeke Kullanımıyla Adli Analiz

Güç altyapısındaki ufak hasarlar bile geniş alanlarda kesintilere yol açmaktadır. Akıllı şebekeler, güç şebekesinin kontrolünde iyileştirmeler sağlar. Bu iyileştirmelerin güç şebekesinin fiziksel güvenliğini de arttırması beklenir. Öte yandan, şebekenin kontrolü haberleşme sistemlerine bağlanmaktadır. Bu durumda haberleşme sistemlerinin fiziksel güvenliği, güç şebekesini oluşturan cihazların güvenliği kadar önemlidir.

Afet sonrası akıllı şebekeye yönelik adli çalışmalar, haberleşme sistemine yönelik çalışmalar da yapmalıdır. Arızanın hemen öncesinde alınan ölçümler, sonraki incelemelerde önemli olmaktadır. Uçakların kara kutusuna benzer bir bilgisayar günlüğü sisteminin geliştirilmesi gerekmektedir.

Akıllı mikro şebekelerin, güç şebekelerinin dayanıklılığını arttırdığı görülmektedir. Ancak akıllı şebekelerin afetlerden ne oranda etkilendiği konusunda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

9. Ses, Video Doğrulama ve Zaman Etiketleme

Sayısal ses ve video kayıtları, ek bir frekans bileşeni barındırırlar. Bu bileşen Amerika'da 60 Hz, diğer yerlerde ise 50 Hz değeri civarındadır. Bu, güç şebekesinin nominal frekansıdır. Buna elektrik şebeke frekansı (ENF) adı verilir. ENF, nominal değeri etrafında salındığı için, rastgele bir sinyaldir. Bu özelliği dolayısıyla, güç şebekesi konusunda parmak izi görevi görmektedir. Adli analiz sırasında, aynı şebekedeki başka bir cihazdan alınan veri örüntüsü ile karşılaştırıp, sonuca varılabilir. Bu teknikle 10 dakikadan uzun ses kayıtlarının zamanı çözümlenebilir. Aynı zamanda, kaydın doğruluğu da buradan anlaşılabilir, çünkü kopyalayıp yapıştırma ENF sinyalini etkileyerek keskin faz değişikliklerine yol açar. ENF, Londra'daki adli ses laboratuvarında delil kayıt unsuru olarak pek çok vakada kullanılmıştır. ENF örüntüsünü depolayıp veri tabanı oluşturmak için ek saklama birimine ve işleme kapasitesine ihtiyaç vardır.

Gizlilik ve güvenlik akıllı şebeke ile ilgili adli çalışmalarda çok önemlidir. Ölçümler kişi hakkında gizli kalması gereken özel bilgileri açığa çıkarabilir. Bu tür bilgilere örnek olarak, sağlık, gelir durumu, kişinin faaliyetini ve tercihlerini vermek mümkündür. Yapılan araştırmalar, bir mülkteki faaliyetin detaylı bir dökümünü elde etmenin mümkün olduğunu göstermiştir. Bunlara örnek olarak, kişilerin adı geçen mülkte oluşları ya da olmayışları, kaç kişi oldukları, uyku, yemek ve duş zamanları verilebilir. Adli metotlar, kişilerin yaşamlarındaki gizliliği ihlal etmemelidir, ancak suç işlenmesi durumunda kanıt sağlamak için kullanılmalıdır. Yasal bir izin belgesi olmaksızın, verinin kullanılmaması gerekmektedir.

Kanıt için veri kullanabilmek amacıyla, verinin güvenli bir şekilde ve yeterli yer sağlanarak depolanması gerekir. Bu ciddi bir maliyet oluşturur. Uzun bir zaman aralığı söz konusu olduğunda, ham ölçüm verisi depolamak için çok fazla yere ihtiyaç duyulur. Eski veri yığınının sıkıştırılıp öyle saklanması gerekmektedir. Sıkıştırılmış bir yığın halinde saklanan veri bir miktar içerik kaybına uğrasa da, adli çalışmalar için uygundur. Bu durumda, eldeki veri ilişkilerini çözmek karmaşık veri işleme algoritmalarına ihtiyaç duyabilir.

Adli analiz, saat bilgisinin alındığı cihazlarda oluşabilecek hatadan etkilenir. Zaman etiketlerine yönelik saldırılar GPS yanıltma sinyali üzerinden ya da fazör ölçüm biriminin saatinin değiştirilmesi ile ilgili olarak gerçekleştirilebilir. Yanlış zaman etiketleri, ölçümlerin hatalı alınmasına yol açtığından, trafo otomasyonunda, şebeke operatörlerinin kararlarında hatalara yol açar. Bunun sonucunda adli incelemeler de hatalı olacaktır [11].

10. Sonuçlar

Ülkemizde sık sık çeşitli afetler meydana gelmektedir. Bunlara karşı elektrik şebekesinin korunmasına ve etkilenmeyi en aza indirgeyecek şekilde geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada üzerinde durulan mikro ve akıllı şebekeler, afet durumunda onarımı daha kısa sürede yapılabilecek şebekelerdir. Ayrıca, bir bölgedeki afetin, diğer bölgelerin elektriğinin kesilmesine neden olmasını da engelleyebilirler. Ancak klasik şebekelerden farklı olarak, akıllı şebekeler siber saldırılara açıktırlar. Bu tür saldırılardan etkilenmemek için gerekli önlemlerin önceden alınması gerekmektedir.

11. Kaynaklar

[1] Bodson, D., Harris, E., "When the Lines Go Down", *IEEE Spectrum*, 40-44, March 1992.

[2] http://news.nationalgeographic.com/news/2011/03/pictures/110315-nuclear-reactor-japan-tsunami-earthquake-world-photos-meltdown/#/japan-earthquake-tsunami-nuclear-unforgettable-pictures-wave_33291_600x450.jpg

[3] http://www.telegraph.co.uk/news/picturegalleries/worldnews/9644975/Hurricane-Sandy-pictures-50-dramatic-images-of-destruction.html?frame=2382928

[4] Che, L., Khodayar, M., Shahidehpour, M., "Only Connect", *IEEE Power & Energy Magazine*, 70-81, January/February 2014.

[5] http://energy.gov/articles/how-microgrids-work

[6] http://blogs.scientificamerican.com/plugged-in/california-jail-transforms-into-modern-microgrid

[7] http://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_generation

[8] http://cleantechnica.com/files/2012/05/smart-meter-map-googl.jpg

[9] http://drafties.blogspot.com.tr/2010/09/smart-grid-map.html

[10] https://www.firstenergycorp.com/content/fecorp/about/generation_system/FENOC/davis-besse.html

[11] Kantarcı, M. E., Mouftah, H. T., "Smart Grid Forensic Science: Applications, Challenges, and Open Issues", *IEEE Communications Magazine*, 68-74, January 2013.

Yerel Elektrik Santrallerinin Dağıtım Sistemine Yerleştirilmesinde Duyarlılık İndisinin YAK Algoritmasına Etkisinin İncelenmesi

Investigation into the effect of sensitivity index on DG allocation via ABC algorithm

Ayşe Aybike Şeker[1], Tuba Gözel[1], Mehmet Hakan Hocaoğlu[1]

[1]Elektronik Mühendisliği
Gebze Teknik Üniversitesi
aseker@gtu.edu.tr, tgozel@gtu.edu.tr, hocaoglu@gtu.edu.tr

Özet

Dağıtık üretim kaynaklarının geleneksel enerji dağıtım sistemlerine dahil edilmesi bir çok fayda sağlamaktadır. Yerel Elektrik Santralleri (YES) ile sisteme güç verildiğinde sistemin gerilim profilinde düzelme, enerji kayıplarında azalma ve güvenilirlikte iyileşme mümkün olmaktadır. Ancak yerel elektrik santrallerin uygun yere ve uygun büyüklükte yerleştirilmesiyle bu faydalardan yararlanılabilir. Bu sebeple yerel elektrik santrallerinin sisteme yerleştirilmesi çeşitli durumlar dikkate alınarak planlı bir şekilde yapılmalıdır. YES'in sistemin çalışmasını iyileştirecek en uygun şekilde yerleştirme problemi optimizasyon yöntemleri aracılığıyla çözülebilir.

Bu çalışmada sezgisel bir sürü algoritması olan Yapay Arı Kolonisi (YAK) kullanılmıştır. Örnek sistemlerde enerji kaybını en aza indirmek için yerleştirilecek olan YES'in konumu ve büyüklüğü belirlenmiştir. Büyük dağıtım sistemlerinde olası uygun konumların fazlalığı problemin boyutunu büyütmekte ve sonuca ulaşmak için harcanan süre uzun ve hesaplamalar karışık olmaktadır. En uygun yeri belirlerken arama uzayını daraltmak veya olası en yakın konumdan aramaya başlamak için çeşitli duyarlılık indisleri mevcuttur. Bu çalışmada bir baranın gücündeki değişimin toplam kayba etkisi dikkate alınarak türetilen bir kayıp duyarlılık ifadesinin yapay arı kolonisi algoritmasına etkisi incelenmiştir. Algoritmanın test edilen sistemler için arama uzayını ne ölçüde daraltabildiği belirlenmiştir.

Abstract

Integrating distributed generators in distribution system offers many advantages. Power injection with distributed generators (DG) into system, improve voltage profile, can reduce power loss and increase reliability. DGs should located on optimum positions with optimum size to benefit from these advantages. Optimum DG allocation problem can be solved with optimization technics.

In this paper Artificial Bee Colony (ABC) algorithm is used. Optimum location and size of DG are obtained in order to have minimum power loss on test systems. In large distribution systems there are plenty of candidate buses to connect DGs, and thus, size of optimization problem is larger and more complex. There are some sensitivity indices which limit the search area or start to search from near optimal candidate solution. In this study, a loss sensitivity definition that derived with analyzing the effect of power change on a bus to total power loss is used. It is obtained to what extent sensitivity index effect on search space reducing on studied systems.

1. Giriş

Dağıtılmış üretim, küçük boyutlu enerji üretim ünitelerinin dağıtım sistemine yerleştirilmesi ile gerçekleştirilir. Uygun yere ve uygun boyutta yerleştirilen yerel elektrik santralleri (YES) aynı zamanda sistemin gerilim profilini iyileştiren, ömrünü uzatan, güvenilirliğini arttıran ve minimum güç kaybı, enerji verimliliği gibi ekonomik yarar sağlayan bir yöntemdir.

Üretim biriminin yerinin önemini gösteren bir çalışma [1] sistem kayıplarını esas alan analitik bir yöntem sunmuştur. Analitik metot kullanan bir diğer çalışma [2] hat boyunca yük dağılımının eşit olduğu sistemler için geliştirilmiştir. Güç kayıplarını azaltmak amacıyla yapılan YES yerleştirme çalışmalarında tabu algoritması [3], Hereford Ranch algoritması [4] ve genetik algoritma [5-6] gibi sezgisel yöntemler de kullanılmıştır. Hibrit bulanık programlama ve genetik algoritma ile yapılan çalışmada [6] güç akışı denklemleri, bara gerilimleri ve jeneratör gücü kısıt kabul edilerek toplam kaybın azaltılması hedeflenmiştir. [7]'de kayıpları minimize etmek için yerleştirilecek olan YES'in en iyi konumu benzetilmiş tavlama yöntemi ile belirlenmiş ve sonuçlar tabu arama algoritması ve genetik algoritma ile karşılaştırılmıştır. IEEE'nin 30 baralı test sistemine uygulanan benzetilmiş tavlama yöntemi YES'in yerini ve büyüklüğünü, genetik algoritmadan ve tabu arama algoritmasından daha hızlı belirlemiştir. Bir başka çalışmada baraya enjekte edilen aktif ve reaktif güç değişimleriyle değişen gerilim kararlılığının iyileştirilmesinden geliştirilen bir duyarlılık indisine dayalı yöntem sunulmuştur [8]. Sisteme gömülecek olan jeneratörün yerini belirleyen bu yöntemde duyarlılık indisi her bara için değerlendirilir ve duyarlılık indisinin yüksek değerde olduğu bara en uygun yer olarak seçilir. Yapılan optimizasyonun amacı gerilim seviyesi kabul edilen seviyede tutulurken hat kayıplarını en düşük seviyeye indirmektir. Yöntem 69 baralı dağıtım sisteminde test edilmiş ve uygun yere ve en uygun boyutta yerleştirilen jeneratörün sistem kayıplarını azalttığı ve gerilim profilini iyileştirdiği görülmüştür. 2009'da dağıtım

sistemleri için eşit enjeksiyon akımlarına dayanan bir kayıp duyarlılık ifadesi tanımlanmıştır [9]. Sistemin toplam güç kaybını en aza indirmek için yerleştiren YES'in en uygun yerine ve boyutuna bu çalışmada formüle edilen duyarlılık indisi ile admitans, empedans ya da Jacobian matrisi kullanmayan analitik bir metotla karar verilmiştir.
Bu çalışmada Arı Kolonisi Algoritması ile YES'in optimum yeri ve büyüklüğü belirlenmiştir. Çalışma [9]' da formüle edilen duyarlılık ifadesi ile YES'in yerleştirilebileceği duyarlı baralar belirlenip bunların algoritmanın arama uzayını daraltmada kullanılabilirliği incelenmiştir. Bölüm 2'de optimizasyon problemi tanımlanmış, 3'te YAK algoritması anlatılmış, 4'te YES yerleştirmek için uyarlanan YAK algoritmasının adımları verilmiştir. Duyarlılık indisi 5. bölümde incelenmiştir. 6. bölümde test sistemleri üzerinde çalışmalar yapılıp son bölümde de sonuçlar açıklanmıştır.

2. Problem Tanımı

YES'in en uygun yere ve en uygun boyutta yerleştirmede sistemin aktif kayıplarının azaltılması amaç olarak belirlenmiştir. Bara gerilimlerini uygun seviyede tutarak yapılan optimizasyonda bağlanacak olan YES birbirinden bağımsız aktif ve reaktif güç üreten bir santral olarak modellenmiştir. Senkron jeneratörleri örnek olarak gösterebileceğimiz bu modelde belirli bir güç katsayısı kullanılmayarak tüm olası güç katsayıları ile çalışma durumu göz önünde bulundurulmak istenmiştir.

- Amaç fonksiyonu: Sistemin aktif kayıplarını göstermektedir. n bara sayısı, $P_i$ve Q_i,$i.$ baradan $(i+1).$ baraya akan aktif ve reaktif güçtür. V_i,$i.$baranın gerilimi, r_{i+1} $i.$ bara ile $(i+1).$ bara arasındaki rezistanstır.

$$ObjFun = min\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{P_i^2+Q_i^2}{|V_i|^2}\right)r_{i+1} \quad (1)$$

Eşitsizlik kısıtları:

- Sistemde her baranın gerilim seviyesi nominal gerilim seviyesinin $\pm\%5$'i kadar olmalıdır.

$$|V_{min}| \le |V_i| \le |V_{max}| \quad (2)$$

- YES'in büyüklüğü sistemin toplam yük talebinin %10 ile %80'i arasında seçilmiştir.

$$S_{max} \ge S_{iDG} \ge S_{min} \quad (3)$$

Eşitlik kısıtları:

- Yük dengesi güç akışı sınırlamalarıyla korunmuştur. Burada V_i , $i.$ baranın gerilimi, θ açısıdır. P_i^{DG} , Q_i^{DG} $i.$baradakiYES'in aktif ve reaktif gücüdür. P_i^D, Q_i^D ise $i.$ baradaki yüklerin aktif ve reaktif gücüdür. P_i, Q_i, $i.$baraya enjekte edilen net aktif ve reaktif güçlerdir. b ve g ise $i.$ ve $k.$ baralar arasındaki admitansın gerçek ve sanal kısımlarıdır.

$$P_i = P_i^{DG} - P_i^D \quad Q_i = Q_i^{DG} - Q_i^D$$

$$P_i = |V_i|\sum_{k=1}^{n}|V_k|[g_{ik}\cos(\theta_i-\theta_k)+b_{ik}\sin(\theta_i-\theta_k)] \quad (5)$$

$$Q_i = |V_i|\sum_{k=1}^{n}|V_k|[g_{ik}\sin(\theta_i-\theta_k)-b_{ik}\cos(\theta_i-\theta_k)]$$

Amaç fonksiyonundaki P, Q ve V değerleri radyal dağıtım sistemleri için geliştirilen ileri-geri süpürme temelli güç akış algoritmasıyla hesaplanmaktadır.

3. Yapay Arı Kolonisi (YAK) Algoritması

Yapay arı kolonisi algoritması çok boyutlu optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan sezgisel bir yöntemdir. Karaboğa [10] tarafından bal arılarının yiyecek arama davranışları modellenerek geliştirilmiştir.
YAK algoritmasında yiyecek kaynaklarının yeri optimize edilecek problemin olası çözümlerine ve kaynakların nektar miktarı o kaynaklarla ilgili çözümün kalitesine (uygunluk) karşılık gelmektedir. YAK optimizasyon algoritması en fazla nektara sahip kaynağı bulmaya çalışarak uzaydaki çözümlerden problemin asgari ya da azami değerini veren çözümü bulmaya çalışmaktadır.

YAK algoritmasının temel adımları [11]:

1: Başlangıç yiyecek kaynaklarının üretilmesi.
2: Kaynakların kalitesinin hesaplanması
3: Çevrim=1
4: Görevli arıların yiyecek kaynağı bölgelerine gönderilmesi.
5: Gözcü arıların kaynak bölgesi seçiminde kullanacakları olasılık değerlerinin görevli işçi arıların verdiği bilgiye göre hesaplanması
6: Gözcü arıların olasılık değerlerine göre yiyecek kaynağı bölgesi seçmeleri.
7: Bırakılacak kaynakların bırakılması ve kaşif arı üretimi.
8: En iyi çözümün hafizaya alınması
9: Çevrim = Çevrim+1
10:Adım 4'e git.
11: Dur (Çevrim = Maksimum Çevrim Sayısı (MCN))

YAK algoritmasında işçi arı sayısı gözcü arı sayısına eşit kabul edilir. Başlangıçta rastgele dağıtılmış bir çözüm popülasyonu üretilir. Her x_i $(i = 1,2,\dots,E_b(işçiarısayısı))$ çözümü D boyutlu bir vektördür. D optimize edilecek parametre sayısıdır. Başlangıç adımından sonra işçi, gözcü ve kaşif arı arama süreçleri başlar ve önceden belirlenen çevrim sayısı (MCN) kadar devam eder.
Besin kaynağı yerleri başlangıçta rastgele üretilir ve gözcü arı sürecinde çözümün uygunluk değerine göre komşu yiyecek kaynakları seçilir.
Rastgele besin kaynağı yeri belirleme aşağıdaki gibi yapılır. Burada u [-1,1] aralığında rastgele bir sayıdır.

$$x_i^{j(new)} = minx_i^j + u\left(maxx_i^j - minx_i^j\right) \quad (6)$$

Komşu besin kaynağı yeri aşağıdaki ifade ile elde edilir.

$$x_{ij}^{new} = x_{ij}^{old} + u(x_{ij}^{old} - x_{kj}) \quad (7)$$

Burada $k \neq i$ ve her ikisi de $\in \{1,2,\dots,E_b\}$ 'dır. u, [-1,1] aralığında rastgele bir sayıdır ve $j \in \{1,2,\dots,D\}$.
Bir çevrimde tüm görevli arılar araştırmalarını yapıp kovana dönerler ve kaynakların nektar miktarları ve yerleri ile bilgiyi dans alanında gözcü arılara aktarırlar. Gözcü arı nektar miktarı ile orantılı bir olasılıkla bir bölge seçer.

$$p_i = \frac{fitness_i}{\sum_{i=0}^{E_b} fitness_i} \tag{8}$$

Burada fitness aşağıdaki gibi seçilmiştir.

$$fitness_i = \frac{1}{1 + ObjFun_i} \tag{9}$$

YAK algoritmasının üç tane kontrol parametresi vardır: 1) koloni büyüklüğü CS (E_b *işçi arı* $+ O_b$ *gözcü arı*). 2) *limit* değeri, 3) çevrim sayısı (MCN).

4. Duyarlılık İndisi

Güç sistemlerinin çok sayıda bara ve hatta sahip olması sisteme yeni bir hat veya baraya yeni bir eleman yerleştirileceğinde bunun nereye ve ne koşulda olması gerektiğine karar vermek için tüm alternatifleri değerlendirmek gerekir. Büyük sistemlerde tüm olasılıkları değerlendirmek mümkün olamayacağından amaç doğrultusunda sistemin çalışma koşularını göz önünde bulundurarak duyarlılık analizleri yapılmaktadır. Böylece çözüm uzayı daraltılır ve çözüm, olma olasılığı büyük olan bölgede aranır.
Güç sistemlerinde reaktif güç kompanzasyonu yapılacak yerleri belirlemede, optimal güç akışında ve bunlara göre yeni bir teknoloji olan YES yerleştirmede duyarlılık indisleri kullanılmaktadır:
Olle I. Elgerd'in bara gerilimlerini sabit kabul edip faz açısını değişken olarak alarak geliştirdiği duyarlılık ifadesi [13]:

$$\frac{dPloss}{dP_{Gi}} = \frac{\partial Ploss}{\partial P_{Gi}} = (1 + \alpha_i) \quad i = 2,3,..N \tag{10}$$

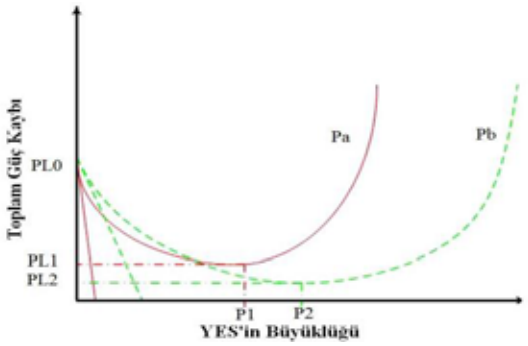
Burada P_{Gi} , i. barada üretilen aktif güç, N toplam bara sayısıdır. Gerilimin bara açılarının bir fonksiyonu şeklinde tanımlanıp ifadenin türevi alındığında α, bara aktif gücünün, bara gerilimlerine göre türevinden gelen ifadenin kısa halidir.
Happ'ın geliştirdiği Jacobian matrisi kullanarak elde edilen duyarlılık ifadesinde gerilimin hem büyüklüğü hem de açısı değişken olarak alınmıştır [14]:

$$\left[\frac{\partial Ploss}{\partial P}\right] = [J_{L1} \quad J_{L2}] \begin{bmatrix} \frac{\partial Ploss}{\partial \delta} \\ \frac{\partial Ploss}{\partial V} \end{bmatrix} \tag{11}$$

Tam kayıp formülünden elde edilen duyarlılık ifadesi aktif ve reaktif güçler değişken olarak alınarak elde edilmiştir. [15]:

$$\frac{\partial Ploss}{\partial P_i} = 2\sum_{j=1}^{N}\left[\alpha_{ij}P_j + \beta_{ij}Q_j\right] \tag{12}$$

Duyarlılık ifadeleri ile her bir baranın duyarlılık faktörü hesaplanır ve büyükten küçüğe doğru sıralanır. En duyarlı bara en büyük duyarlılık faktörüne sahip olandır. En duyarlı bara başlangıç çalışma şartları civarında lineer olmayan eşitliğin lineerleştirilmesine dayanılarak elde edilir ve toplam güç kayıp fonksiyonunda en fazla eğime sahip olandır.
Ancak en duyarlı bara olması global en uygun çözüm olduğu anlamına gelmeyebilir. Şekil 1'de Pa herhangi bir dağıtım sisteminde a barasına YES yerleştirildiğinde ve büyüklüğü sıfırdan başlayarak arttırıldığındaki sistemde ortaya çıkan kayıpları verir, Pb de aynı sistemde b barasına YES yerleştirildiğindeki kayıpları verir. Başlangıç çalışma şartlarında Pa'nın eğimi Pb'ye göre daha fazla olduğu için duyarlılık faktörü en yüksek olan eğridir. Ancak en az kayıp Pa eğrisinde değil Pb eğrisindedir [16].



Şekil 1: Toplam güç kayıp eğrisindeki lineersizlik

Görüldüğü gibi duyarlılık indisi en uygun yanlış barayı işaret edebilir ancak en uygun barayı elde etmek için aday çözümlerin öncelik sırasını verebilir.
Bu çalışmada kullanılan duyarlılık ifadesi Bara Akımından Hat Akımı (BIBC) matrisi yardımı ile elde edilmiştir. Her bir baradaki eşit enjeksiyon akımları ile yazılan toplam kayıp ifadesi reel ve sanal kısımları ayrıldığında eşitlik 13'te gösterildiği gibidir.

$$Ploss = [R]^T(|[BIBC].[re(I)]|^2 + |[BIBC].[im(I)]|^2) \tag{13}$$

Akım ifadesi yerine yazılıp toplam güç kayıp ifadesinin i. baradaki enjekte edilen reel güce göre türevi alınır. İfade matrissel formda eşitlik 14'da gösterildiği gibidir. [17]

$$\frac{\partial Ploss}{\partial P_i} = 2[R]^T\left[[dPBIBC_i].[re(I)]\frac{\cos(\theta_i)}{|V_i|} + [dPBIBC_i].[im(I)]\frac{\cos(\theta_i)}{|V_i|}\right] \tag{14}$$

i. baraya bağlı olmayan hattın BIBC matrisindeki değeri 0 olduğundan $\frac{\partial Ploss}{\partial P_i} = 0$ olur. Bu göz önüne alınıp her bir bara için hesaplanan dPBIBC matrisleri, BIBC matrisinde YES yerleştirmek için seçilen baranın akım değerinin bulunduğu sütunda sıfır olan satırları bularak bu satırların tüm değerlerini sıfırlayarak elde edilir.

5. YAK Algoritması ile YES Yerleştirilmesi

YES yerleştirmek için güncellenen YAK algoritmasının akış diyagramı Şekil 2'deki gibidir [12].

Sezgisel metotlarda parametrelerin doğru ayarlanması çok önemlidir. Problemin büyüklüğüne göre uygun koloni büyüklüğü ve çevrim sayısı belirlenmelidir. Ancak optimize edilen veri sayısı, amaç fonksiyonun karmaşıklığı ve kısıtlar problemin çözüm süresini arttırmaktadır.

Arama uzayını daraltmak büyük boyutlu optimizasyon problemlerini çözmeyi kolaylaştırır. YES yerleştirmede sistem büyüdükçe ve karmaşıklaştıkça arama uzayı da genişler. Bunu daraltmak için çeşitli indisler kullanılabilir. YES'in yerleştirileceği en uygun barayı aramada ya da belirlenmiş bir baraya yerleştirilecek en uygun YES'i belirlemede kullanılabilecek çeşitli indisler vardır.

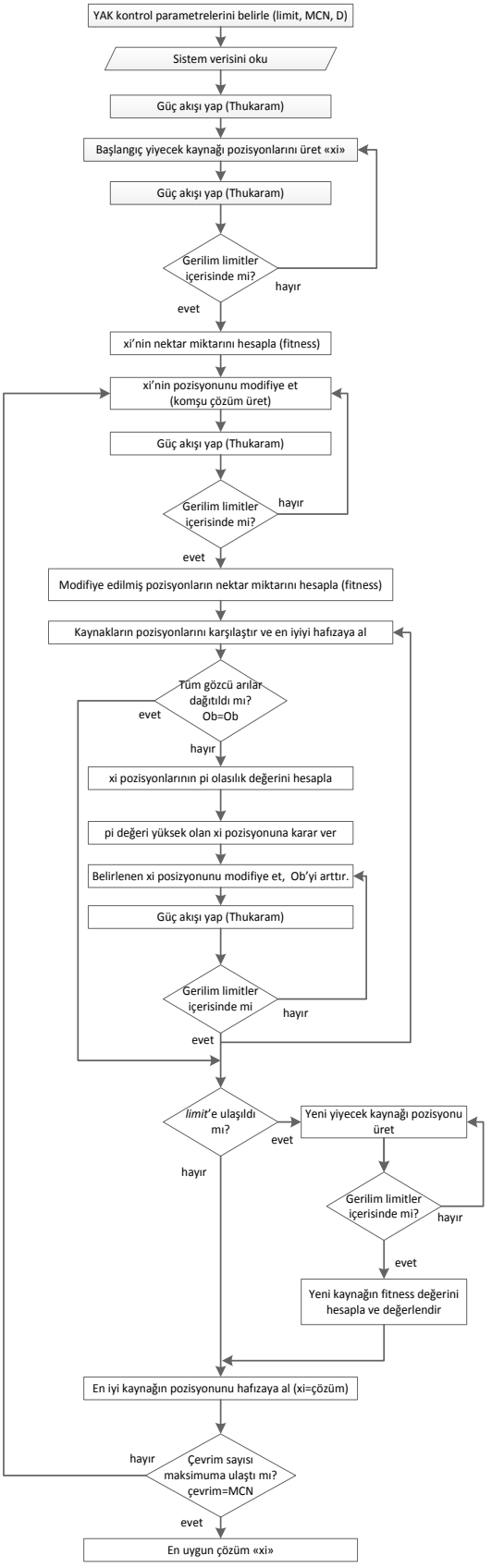
YAK algoritmasının akış diyagramında sistem verileri okunduktan sonra eşitlik 14'teki indis ile duyarlı baraların sıralaması elde edilmiştir. Başlangıç yiyecek kaynağı pozisyonlarını yani aday çözümleri üretirken duyarlılık indisiyle elde edilen hassasiyet sıralamasına göre seçim yapılarak aramanın daha hassas baralar arasında yapılabilirliği incelenmiştir. Koloni boyutu aramaya kaç farklı rasgele noktadan başlanılacağını gösterir. Bu noktaları rastgele seçmek yerine duyarlı baralar sıralamasına göre seçmek optimum çözüm olma olasılığı fazla olan noktalardan aramaya başlamak demektir. Arı kolonisinin arama sürecinde global optimumu bulmak ve yerel optimumda takılmamak için modifiye edilen yiyecek kaynağı pozisyonları üretilirken de rastgele sayı kullanılarak tüm olası çözümlere bakılmaktadır. Ancak optimum çözüm olma olasılığı fazla olan hassas baralar ile oluşturulan başlangıç kolonisi ile arama sürece kısalabileceği için çevrim sayısı, limit, koloni büyüklüğü gibi YAK algoritmasının parametre değerleri küçültülebilir. Böylelikle büyük boyutlu dağıtım sistemlerinde optimum YES yerleştirme sürecinin daha az karmaşık olması, yapılan işlem sayısı, tekrarlanan güç akışı hesabı ve işlem süresinin de azalması beklenir.

6. Örnek Çalışma

33 baralı ve 69 baralı test dağıtım sistemlerinde uygun yere ve uygun boyutta YES yerleştirmek için YAK algoritması kullanılmıştır. Toplam aktif kaybı minimize edecek YES'in birbirinden bağımsız aktif ve reaktif güçler üretebildiği kabul edilmiştir.

Duyarlılık indisinin sıralamasının en uygun bara için aday pozisyonları gösterdiğinin ancak yanlış barayı işaret etme ihtimalinin olduğu 4. bölümde gösterilmiştir.

Bu çalışmada test sistemlerindeki farklı yük dağılımları için optimum YES yeri ve büyüklüğü arı kolonisi algoritmasıyla belirlenmiştir. Her bir yük dağılımı için duyarlılık indisi ile hassasiyet sıralaması yapılmıştır. YAK algoritmasıyla elde edilen optimum yerin duyarlılık sıralamasında kaçıncı hassas bara olduğu tespit edilmiştir. Algoritmanın yiyecek kaynakları hassas baralardan seçilmek istendiğinde ilk kaç baranın alınabileceği ve optimum baranın bu hassas baralardan biri olma olasılığı hesaplanmıştır.



Şekil 2: YES yerleştirmek için YAK algoritmasının akış diyagramı

33 baralı test sistemindeki bara yüklerinin yeri değiştirilerek 32 farklı yük dağılımı elde edilmiştir. Her bir dağılım için bara hassasiyet sıralaması yapılmıştır. YAK algoritması ile YES'in optimum aktif, reaktif gücü, yerleştirileceği optimum bara numarası bara gerilimleri 1.05 ve 0.95 pu arasında tutularak belirlenmiştir. Algoritma her yük dağılımı için tekrar çalıştırılmıştır. Koloni büyüklüğü 50, maksimum çevrim sayısı 100 olarak alınmıştır. 32 farklı yük dağılımıyla YAK algoritmasının 32 kez koşturulması sonucu elde edilen 32 optimum yer çözümünün her birinin kaçıncı hassas baraya karşılık geldiği belirlenmiştir. 69 baralı sistem için de 68 farklı yük dağılımıyla aynı işlemler tekrarlanmıştır.

Şekil 3: 33 baralı sistem için histogram grafiği

Şekil 3'te gösterilen histogram grafiği 33 baralı sistemde her bir yük dağılımı için belirlenen optimum baranın hassasiyet sıralamasındaki yeri dikkate alınarak çizilmiştir. Yatay eksen YAK algoritması ile bulunan optimum baranın kaçıncı hassas bara olduğunu göstermektedir. Dikey eksen ise 32 farklı yük dağılımı ile elde edilen optimum noktalardan yüzde kaçının o hassasiyet sıralamasında olduğunu göstermektedir. Örneğin farklı yük dağılımlarıyla elde edilen optimum noktalardan yüzde 18'i, hassasiyet sıralamasında 14. sıradadır. Histogram grafiği ile hassasiyet sıralamasına bakarak seçilen aday bara ya da baraların optimum çözüm olma olasılığı bulunabilir. YAK algoritmasının başlangıç çözüm kümesi hassasiyet sıralamasının ilk yarısından seçildiğinde (1 numaralı baradan 18 numaralı baraya kadar) bu çözüm kümesinin optimum noktayı gösterme olasılığı %46,87'dir.

Şekil 4: 69 baralı sistem için histogram grafiği

69 baralı sistem için bara hassasiyet sıralaması histogram grafiği Şekil 4'te gösterilmiştir. 69 baralı sistemde hassasiyet sıralamasının ilk yarısının optimum barayı gösterme olasılığı ise %82,35'tir.

7. Sonuçlar

Duyarlılık indisi kullanılarak arama uzayı küçültülebilir. Ancak sistemin büyüklüğü ve yapısı, yük dağılımı, optimizasyon metodu ve probleminin kısıtları indisin etkinliğinde farklılıklara sebep olmaktadır. Bu çalışmada YAK algoritmasında kullanılacak arama uzayı yarı yarıya küçültülmek istendiğinde duyarlılık indisiyle hesaplanan hassas baraların optimum bara olma olasılıkları bulunmuştur. 33 baralı sistem için kaybı en aza indirme amaçlı yerleştirilecek YES'in yerinin duyarlı bara sıralamasının ilk yarısında olma olasılığı %46 civarında iken 69 baralı sistem için olasılık %82 civarında olmuştur.

8. Kaynaklar

[1] Griffin T., Tomsovic K., Secrest D., Law A., (2000), "Placement of Dispersed Generations Systems for reduced losses", 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, 9, Hawaii, 4-7 January.

[2] Willis H. L., (2000), "Analytical methods and rules of thumb for modeling DG-Distribution Interaction", IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 3, 1643 – 1644.

[3] Nara K., Hayashi Y., Ikeda K., (2001), "Application of tabu search to optimal placement of distributed generators", Proc. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Columbus, USA, 28 January–1 February.

[4] Kim J. O, Nam S. W., Park S. K., Singh C., (1998), "Dispersed generation planning using improved Hereford Ranch algorithm", Electric Power System Research, 47-55.

[5] Alinejad-Beromi Y., Sedighizadeh M., Bayat M. R., Khodayar M. E., (2007), "Using Genetic Algorithm for Distributed Generation Allocation to reduce losses and improve voltage profile", IEEE UPEC, 954-959.

[6] Kim K. H., Lee Y.J, Rhee S. B., Lee S. K., You S. K., (2002), "Dispersed generator placement using fuzzy-GA in distribution systems", IEEE Power Engineering Society. Summer Meeting, 1148–1153, Chicago, IL, USA, 25 July.

[7] Sutthibun T, Bhasaputra P., (2010), "Multi-objective optimal distributed generation placement using simulated annealing", International Conference on Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 810-813, 19-21 May.

[8] Rahman T. A., Rahim S. A, Musirin I., (2004), "Optimal allocation and sizing of embedded generators", National Power and Energy Conference, 288-294, 29-30 November.

[9] Gözel T., Hocaoglu M. H., (2009), "An analytical method for the sizing and siting of distributed generators in radial systems", Electric Power Systems Research,79, 912–918.

[10] Karaboga D., (2005), "An idea based on honey bees farm for numerical optimization", Technical Report TR06. Computer Engineering Department, Engineering Faculty, Erciyes University.

[11] Karaboga D., Akay B., (2011), "A modified Artificial Bee Colony (ABC) algorithm for constrained optimization problems", Applied Soft Computing, Volume 11, Issue 3, April, Pages 3021-3031.

[12] Seker, A.A.; Hocaoglu, M.H., (2013) "Artificial Bee Colony algorithm for optimal placement and sizing of distributed generation," in Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 2013 8th International Conference on , vol., no., pp.127-131, 28-30 Nov. 2013.

[13] Elgerd O.I.,(1971), "Electric Energy System Theory-An Introduction", McGraw-Hill, New York.

[14] Happ H. H., (1974), "Optimal Power Dispatch", IEEE transaction on Power Apparatus and Systems, 93, 820-830.

[15] Preedavichit P., Srivastava S. C., (1998), "Optimal Reactive Power Dispatch Considering FACTS Devices", Electric Power Systems Research, 46, 251–257.

[16] Acharya N., Mahat P., Mithulananthan N., (2006), "An analytical approach for DG allocation in primary distribution network", Int. J. Electr. Power Energy Syst., 669–746.

[17] Gözel T., (2009), "Dağıtım Sistemlerine Yerel Elektrik Santrallerinin Yerleştirilmesi", Doktora Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

Panel: ENDÜSTRİ 4.0

Sunum: Prof. Dr. Galip Cansever (YTÜ)

Prof. Dr. Galip Cansever (Panel Yöneticisi)- Değerli katılımcılar; günaydın.

Elektrik Elektronik Mühendisliği Kongresine ve dolayısıyla Elektrik ve Kontrol Mühendisliği Sempozyumuna hepiniz hoş geldiniz.

Bugün bu oturumda Endüstriyel 4.0'ı konuşacağız, tartışacağız. Dört davetli konuşmacımız bulunmakta. Endüstriyel 4.0'ı her konuşmacı ayrı ayrı değerlendirecek ve sizlere anlatacak ve karşılıklı olarak, sorular ve cevaplar şeklinde bu oturum devam edecek.

Şimdi, konuşmacılarımızı takdim etmek istiyorum. Ama öncelikle ben kendimi tanıtayım.

Ben, Galip Cansever, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü öğretim üyesiyim.

Konuşmacılar; Yrd. Doç. Dr. Özgür Tunay Kaymakçı (YTE), Sedat Sami Ömeroğlu (ENOSAD), Yaşar Acar (AES Genel Müdürü) ve Mustafa Çelebi (Schneider Electric).

Değerli katılımcılar; Endüstriyel 4.0, Almanya'nın 2012 yılından bu yana başlatmış olduğu bir devrim. Bazı literatürlerde bunu devrim, bazı literatürlerde evrim olarak görebiliriz.

2012 yılında başlayan bu devrim, 2010 yılından itibaren, hatta 2009 yılından itibaren ve daha önceki çalışmalarla birlikte, 2012 yılında yapılan yasal bir düzenlemeyle Endüstriyel 4.0, Almanya'da ve dolayısıyla Avrupa ülkelerinde başlamış durumda.

Almanya şunu diyor: '10 veya 15 sene içerisinde tüm Almanya Endüstri 4.0'a geçmek zorundadır. Bu bizim adeta kurtarıcımızdır.' Bakın, 'kurtarıcımızdır' diyor. Almanya bunu söylüyor -ki yüksek teknolojili mamuller üreten bir ülkedir-. Keza diğer Avrupa Birliği ülkeleri de benzer şeyler söylüyorlar.

Diğer taraftan, Amerika; 'internet of things' diye başladı. O da 2008'li yıllardan itibaren bu çalışmalara başladı ve 2010 yılından itibaren 'internet of things' Amerika'da hızla ilerlemeye başladı ve şu anda da son hızıyla devam ediyor. Pek tabii ki 'internet of things' tüm Amerikan halkı için; ama sanayiciler için 'industrial internet of the things', yani nesnelerin interneti şeklinde tercüme edilebilir.

Uzak Doğu boş durmaz, o da ileri düzeyde üretim dedi ve 2008-2009'lu yıllarda buna başladı.

Şimdi konuşmacılarımız bu Endüstriyel 4.0'ı ve bizim de bir an önce ne yapmamız gerektiğini bizlere anlatacaklar.

Birinci konuşmacımız, Sedat Sami Ömeroğlu.

Sedat Sami Ömeroğlu, 1956 İstanbul doğumlu. Maçka Teknik Lisesi Elektronik Bölümünü bitirdi ve ardından Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünden 1982 yılında mezun oldu. Elektrik elektronik mühendisi olan Ömeroğlu, Türkiye'de 1980'den itibaren bilgisayarla uğraşan ilk gruptaki mühendislerden biri oldu. Daha sonra firmalarındaki uzun soluklu çalışmaların ardından, 1995 yılında genel olarak bilgisayar tabanlı kontrol sistemleri ve ileri otomasyon mühendisliği konularında çalışan, kendi şirketi E3TAM A.Ş. Endüstriyel ve Bilimsel Test Teknolojileri Tasarımı ve Ar-Ge Mühendisliği San ve Tic. A.Ş. şirketini kurdu.

Bilgisayarın endüstride kontrol amaçlı kullanımını hedefleyen Ömeroğlu, 2004 yılında, bu alanda en doğru platform olacağı inancıyla, endüstriyel otomasyon sektöründe faaliyet gösteren 15 firma temsilcisiyle birlikte Endüstriyel Otomasyon Sanayicileri Derneği, yani ENOSAD'ın kuruluşunda yer aldı. ENOSAD adına Endüstri 4.0 kavramını Türkiye'de ilk anons eden kişi olan Ömeroğlu, 4. ve 5. Dönem Yönetim Kurulu Başkanı olarak görev yaptığı ENOSAD'da 6. Dönem Yönetim Kurulu Başkan Yardımcısı olarak görevini sürdürmektedir.

Şimdi Sedat Sami Ömeroğlu'nu buraya davet ediyorum, kendisi Endüstri 4.0 ile ilgili konuşmasını yapacak.

Buyurun Sayın Ömeroğlu.

Sedat Sami Ömeroğlu (ENOSAD)- Çok değerli katılımcılar, çok değerli panelist arkadaşlarım ve sevgili Galip hocam, hepinizi sevgi ve saygıyla selamlıyorum. Burada bana ayrılan 20 dakikalık zaman içinde Endüstri 4.0 nasıl anlatılır bilmiyorum. Çünkü bu konu incelemeye gelince çok geniş ama konuşmaya gelince çok kısa bir konu aslına bakarsanız. Ben biraz farklı bir yaklaşımla olaya girmek istiyorum. Önce bir tarif, arkasından da sizlere biraz olayın tarihçesinden söz etmek istiyorum, sonra da bugünü ve yakın gelecekte neler olabileceği konusunda kısa bir projeksiyon sunacağım.

Önce küçük bir saptamayla başlamak istiyorum. Teknoloji diye bir kavram var, üzerinde çok konuşulan. Buradaki arkadaşlar da dahil her gün, herkesin kullandığı bir kavram bu teknoloji. Ne demek teknoloji? Teknoloji 'techne' ve 'lojia' kelimelerinin bir birleşkesi. Eski Yunancada 'techne' beceri demek, ustalık demek. Teknoloji ise beceri bilimi demek, ustalık bilimi demek, sonrasında üretim bilimi demek. Bir de bunun karşısında kadim Latince 'ingeniatorem' diye bir kelime var -yazılışı böyle okunuşunu bilmiyorum-. Ingeniatorem, teknoloji üretmekte, icat etmekte kabiliyetli olan kişi demek. Teknoloji üretmekte kabiliyeti olan ingeniatore'in karşılığı zaman içinde İngilizceye 'engineer' olarak geçmiştir. Engineer yani mühendis. Peki, mühendis ne demek bizde? Mühendis Arapça kökenli; 'Mü' bilmek, 'Endese' hesap, mühendis ise hesap bilmek, hesap bilen, geometri bilen demek. Bir tarafta teknoloji üretmekte kabiliyetli olan kişi, bir tarafta hesap bilen kişi. Bu durum bugünü anlatıyor mu anlatmıyor mu? Türkiye'nin durumunu... Bence çok açık. Peki, böyle miydi, böyle mi olmalıydı? Hayır. Bakın milattan önce Heron diye bir adam, İskenderiye'de Buhara'da çalışan bir makineci arıyor. Sonra Bizans'ta 1400'lerde Justinyen döneminde Altın Dönem de denilen bir dönemde böyle bir makineci, bir mühendis arıyor ve diyor ki; 'buharı ve rüzgârı kullanarak şöyle bir otomasyon yapalım.' Vaki odur ki, çok kaynağına raslamadım ama vaki odur ki Süleyman'ın tapınağında da buna benzer sistemler varmış. Örneğin, aslanlar geçerken kafaları kaldırıyormuş filan. Aradan uzun bir zaman geçmiş. Selçukluların son zamanları, 1300'lerden bahsediyorum, Cizre'de, o zaman Diyarbakır başkent. Diyarbakır'ın bir bölgesinde Sultan'ı çok seven, çok da kabiliyetli olan bir adam, Sultanı için, sırf o sevinsin diye ve/veya ona yaranmak için bir sürü icatta bulunuyor, birçok proje yapıyor. Ve bu projeler, Sultan tarafından takdir görüyor ve Sultan adama diyor ki 'Yaz bunları, mutlaka yazmalısın'. "Kitāb fi ma-'rifat al-Hiyal al-handasiyya" yani "Hayırlı İşler" kitabın ismi. Adamın da ismi Ebû'l İz El Cezeri. Bu topraklarda yaşamış. Ve öyle projeler var ki bugün bile hâlâ çözülememiş projeler. Bu kitap kaybolmuş, Almanlar bulmuş ve kendi üniversitelerinde ders olarak okutmuşlar. Hatta 1945'lerde Amerika'daki bir profesör -sanırım ismi Norbert Wiener idi- sibernetiğin kitabını yazan adam, Ebû'l İz'in sibernetiğin babası olduğunu söylüyor. Bugün kitapları açın, internete girin, literatürü araştırın bu hâlâ böyle söyleniyor. Bunları niye anlattım? Biraz sonra söyleyeceklerimde, 'artık çok geç, bizden bir iş çıkmaz' dememek için anlattım. Bizden de çıkmış, kimsede yokken bizde de varmış bu çalışmalar.

1200'lerden sonra Avrupa'da Rönesans yaşanıyor. Rönesans'tan sonra bilim, aydınlanma dönemi, sonra Romantizm ve arkasından da 1. Sanayi Devrimi'ne kadar uzanıyoruz. 1. Sanayi Devrimi deniyor ama aslında 1. Sanayi Devrimi'nden önce de devrim var. Bunlar biraz da politik işler tabii. Tarih 1. Sanayi Devrimi'nin İngiltere'de başladığını söyler ama aslında bana göre sanayi devrimi Orta Avrupa'da başlar. Rönesans sonrasında (Joseph Marie) Jacquard diye bir adam var. Belki

içinizde bilenler vardır, Jakard perdeleri filan diye… O sıralarda bir Alman profesör tarafından 0 ve 1 rakamlarından bir kod sistemi geliştirilmiş. Jacquard bunu biliyor, birbirleriyle haberleşiyorlar, bir matematik zekâsı ve aslında bir tekstilci babanın oğlu, işi biliyor, atölyesini batırıyor. Fakat 'bu iş nasıl oldu' diye merak ediyor ve ilk kez 0 ve 1 mikron deliklerle bir karton sistemiyle, o günkü şartlarda iyi bir ustanın yapabileceği bir dokuma sistemini kurguluyor fabrikasında ve çok başarılı oluyor. Ustalık o zaman tarihe karışıyor. Kitaplar diyor ki on bin civarında el işi, tekstil ustası bu nedenle işsiz kalıyor. Esas bilgi bence bu ama tarih kitapları böyle yazmıyor. Tarih kitapları İskoçyalı mühendis James Watt'ın bir kazanı küçülterek ve üzerinde yaptığı değişikliklerle bir kondansatör haline getirerek aynı miktar kömürle verimliliği 4 kat artırdığı bir buhar makinesi icat ediyor. Bu sayede tepelerde, su kenarlarında, rüzgârlı yerlerde olan küçük atölyeler artık bu sayede yavaş yavaş kentlere doğru inmeye başlıyor. Kömür önem kazanıyor ve raylı sistemler devreye giriyor zaman içerisinde ve Manchester'da bugünkü anlamıyla ilk fabrika kuruluyor tekstil konusunda. Ve bunun adına dünya Endüstri 1.0 diyor.

Aradan 150 yıl kadar bir zaman geçiyor, –bu arada 1750'lerden bahsediyorum- 1750'li yılların sonlarına doğru Amerika'ya yerleşmiş olan Taylor diye bir adam var. Bu Taylor dünyayı değiştiren ciddi, önemli adamlardan biriydi. 'Üretimde verimlilik ne demektir' bunu araştırıyor Taylor. Taylor'un ilk endüstri mühendisi olduğu kabul ediliyor. 'Eğer fabrikanızda bazı düzenlemeler yaparsanız, verimliliği artırır, kazancı artırırsınız' gibi yaklaşımları var. Taylor'dan sonra Best Production meselesinde iki tane değişiklik oluyor çok önemli: Bunları gerçekleştirenlerden biri Henry Ford, diğeri Nikola Tesla. Nikola Tesla, Edison'a karşı vermiş olduğu, doğru akıma karşı alternatif akım mücadelesini kazanıyor. Hikâyesi uzun. Dolayısıyla alternatif akım motorları tutuyor, buhar kazanları kaldırılıyor, motor devreye giriyor. O sıralarda hâlâ sürmekte olan araba üretimi yapılmaya başlanmış, dizel motorları yapılmaya başlanmış. Fakat araba şaseye konuyor, biri gidiyor lastiği getirip takıyor bir diğeri direksiyonu getirip takıyor, dört kişi filan kaportayı getirip takıyor. Henry Ford diyor ki 'bu böyle olmaz. Taylor da böyle söylemiyor.' Taylorist bir felsefeyle üretim sisteminde değişikliğe gidiyor. 'Hayır diyor, insanlar değil, arabalar hareketli olsun'. Böylece seri üretime geçme olanağı doğuyor. Yani arabalar bir bant üzerinde giderken herkes bir şey takmaya başlıyor. Verim neredeyse 10 kat artıyor. Arabaların fiyatları 850 dolardan 325 dolara iniyor. 5-10 sene içerisinde olağanüstü bir satış artışı oluyor. Tabii bunun bir de ekonomik tarafı var. Bunun ismi Endüstri 2.0.

Aradan 75 yıl geçiyor. Bu arada elektronik gelişiyor. 1950'lerde (William) Shockley ve arkadaşları Bell laboratuvarında transistörleri geliştiriyorlar, bobin hesaplarını ortaya koyuyorlar filan derken, elektronik gelişmeye başlıyor, elektronik gelişirken 1945'lerde Hardware, Software derken bu yazılım işi ortaya çıkmaya başlıyor. Özellikle Einstein talebeleri tarafından Basic dili, 'böyle bir şeye ihtiyaç var' diyerek geliştiriliyor. ENIAC diye –duymuşsunuzdur- dünyanın ilk büyük bilgisayarı geliştiriliyor. 1945'lerde bir kuruluş ENIAC'la balistik hesaplar yaparken,- çok gizli bir proje, çölün ortasında 18 bin elektrot tüpü, fakat çok sıcak,- sistem sürekli arıza yapıyor, bakıyorlar ki etraftan, sağdan soldan böcekler, sinekler vb. kısa devre yapıyorlar. İşte onun için hardware ya da software'de bir arıza olunca 'Allah kahretsin ya bunda da bug (böcek) varmış' diyoruz. O bug kelimesi işte buradan geliyor.

Hatta biraz daha öne gideyim, bilenler mutlaka vardır, Jacquard zamanında Fransa'da işçiler isyan ediyorlar, para az çalışma saatleri uzun. 'Bu kadar çalışma saati olur mu, biz artık çalışmayız' diye. Makinelerin içine takunyalarını sokarak çarkların bozulmasına yol açıyorlar. Takunyalarının ismi Sabo, sabotaj lafı da buradan geliyor.

Sonra 1975'lerde biliyorsunuz robot diye bir şey var. Robot Çek dilinde köle demek. Zamanın Çekoslovakya'sında bir tiyatro oyununda oyun yazarının kullandığı bir metinden geliyor. Tabii ekonomi gelişiyor, robotlar gelişiyor, IT sistemi filan derken 1975'lere geliniyor. O zamanlarda sanırım Scheineder firması Modicon MODBUS diye bir şey geliştiriyor. Avrupa'da ilk, bugün için fabrikaların olmazsa olmazı olan bir kontrol sistemi icat ediliyor. Bugün bunun adına PLC, Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici) diyoruz. Bu da Endüstri 3.0.

Önce 150 sene, sonra 75 sene aralarla oluyor bütün bunlar. Bundan 35 sene geçtikten sonra, 2010'da, hatta Amerika'da 'internet of things' ya da Siber Fizik Sistemler adıyla 2008 yılında başlıyor. Ben

bunu başlatan kişiyi de tanıma fırsatını buldum. Dr. T dedikleri adam, Dr. James Truchard. O zamanlar PS Base controller (bilgisayar tabanlı kontrol) teknolojileri konusunda büyük gelişmeler oldu. Bugün artık normal standart bilgisayarlarla, PLC'lerle, packlerle Şimdi buraya kadar tarihsel durum ortada. Eğer böyle giderse, bu yarılanma ömrüyle devam ederse teknolojik gelişim, muhtemelen 10-15 sene içinde Endüstri 5.0'dan bahsediyor olacağız. Endüstri 5.0 konusunda başkalarına da soruyorum, ben de düşünüyorum ama doğrusu ben de hiç bir öngörüde bulunamıyorum. Bırakın Endüstri 5.0'ı Endüstri 4.0 konusu bile bugün çok net değil. Kontrol teknolojilerinde artık bilgisayar, yazılım artık bu işin göbeğinde ve tam başında olacak. Eğer olmazsa bundan sonrasında çok ciddi bir geri kalmışlık olacak. Yani artık fabrikalar bilgisayarlarla, yazılımlarla idare edilecek ve öyle üretim yapılacak. Bunun için ne gerekiyor? Bunun için çok para gerekiyor. Fabrika üretim tesislerinde çok radikal değişimler gerekiyor: En önemli özelliklerden bir tanesi, artık herhangi bir fabrika, üretimi hangi konudaysa mutlaka esnek olmak zorunda. Aksi takdirde yaşamını sürdüremeyecek. Ekonomik olmak zorunda. Buna dijital devrim diyorlar, dijital ekonomi diyorlar vb. Çok farklı yaklaşımlar var. Yani önümüzdeki günler içerisinde, hiç kimse anlatmıyor. Herkes Endüstri 4.0 öyle böyle diyor ama bu işin esasında Çin var. Çünkü Çin çok hızlı, olağanüstü bir hızla geliyor. Çin diyor ki 2020 senesinde 'Ben Made in China olacağım'. Şu anda da 'Made in China' ama bu bize ne çağrıştırıyor; ucuz kalitesiz filan. Ama 'hayır kaliteli mal üreteceğim' diyor. Yani 'quality control' artık Çin'in de hedeflerinden bir tanesi. Çin böyle giderse, böyle ucuz ve kaliteli üretmeye devam ederse, katma değerini ülkenin içinde tutma şansı yok. Birinci savaş, Amerika ile Avrupa özellikle Almanya filan arasında ama bütün bu ülkelerin ana hedefinde, mücadele hedefinde Çin var. Şu anda robot teknolojisi olağanüstü bir hızla gelişiyor ve üretimde önemli bir yer tutuyor. Yani tezgâhın bir tarafında insan, bir tarafında robot duruyor hale gelmiş durumda. Artık neredeyse bütün fabrikalardaki mekanik ve dijital aktüel bütün aktörlerin, sensörlerin tümünün artık bir IP numarasına sahip olması lazım. Örneğin bir çark düşünün. Bu çarkın dişlerinin içinde 'embed' edilmiş bir çip var. Bu çip, çarkın ne kadar döndüğünü, dönerken ne kadar salınım yaptığını, ne zaman değişmesi gerektiğini filan her şeyi gösterecek. Esnek çalışma sistemi geliyor. Bunların hepsi bir bilgisayarda değerlendirilecek, yazılım çok önemli olacak. Bugüne kadar , 'bir makine yapalım, şöyle şöyle çalışsın, bunu da birileri kontrol etsin, sensörler taksın filan' deniyordu. Şimdi bu iş değişiyor. Bakın bu bizim, ENOSAD'ın da bir fikridir; artık birisi hayal edecek, bunun için önce kontrol teknolojisinin varlığı ve çevresi gelişecek, ondan sonra makine sistemi haline gelecek. Türkiye bunu yapmazsa ne olur? Ya şu anda konvansiyel olarak çalışıyoruz işte ne güzel. Ne gerek var buna derse ne olur? Dünyayla rekabet edemeyecekler. Edemeyecekler çünkü fiyat, rekabet, kalite konularında çok geri kalacağız. Geri kalacağız çünkü adamların Endüstri 4.0, 'internet of things', 'industiral of things' gibi kavramlarının altı çok dolu. Çünkü yatırım maliyeti çok yüksek olabilir, özellikle bu zamanlarda. Ama işletme maliyeti çok düşecek, neredeyse sıfıra yakın olacak. Yeşil enerji kullanacak, koca fabrikada 3-4 kişi tarafından idare edilecek hatta evinden idare edebilecek, tabletiyle filan. Artık insanın hayalinin de sınırına geliyoruz. Modüler bir sistem olacak. Evet, bunları hayal edemezsek artık biz bir şey yapamayız, satamayız. Çünkü bu üretimin altyapısını kuran fabrikalar, sermayeler, örneğin 100 liralık bir ürünün maliyetini 25 liraya indirecek belki 80 liraya satmaya başlayacak. Bizim o ürünü 20 liraya üretme imkânımız olamadığı için biz hâlâ o ürünü 100 liraya satmak zorunda kalacağız, dolayısıyla ürün pahalı olacak. Eğer Türkiye buna geçmezse, böyle şeyleri düşünmezse artık hiçbir şeyi üretemez ya da satamaz hale geleceğiz. Bunun Endüstri 5.0'da ne olacağını artık siz düşünün.

Aslında bakarsanız dünyada muazzam bir savaş var. Ben size küçük bir anımı anlatarak bitirmek istiyorum. Artık tek bir kişinin, bir mühendisin 'ben, ben' diye caka satması, övünmesi mümkün değil. Olağanüstü bir zamandan geçiyoruz. Artık 3-5 kişinin bir araya gelmesi, farklı kafaların, farklı sistemlerin bir araya gelip bir ekip oluşturması lazım. Ekip çok önemli. Ben değil biz demenin tam vaktidir. Yani özetle bir değişim döneminin başındayız. Mutlaka bir araya gelmeliyiz, mutlaka sanayicilerimizin bizi bir araya getirmesi lazım. Ve Türkiye'de–kendi sektörlerimiz açısından söylüyorum- yeniden başlamamız lazım. Hepinizi saygıyla sevgiyle selamlıyorum.

Prof. Dr. Galip Cansever- Sedat beye teşekkür ediyoruz. Salondan soru varsa onları alalım.

Buyurun.

Hakkı Kaya Ocakaçan- Endüstri 4.0 ile ürünlerin fiyatı düşecek ama işgücü ihtiyacı da azalacak deniyor. Eğer işgücü arzı teknoloji ile birlikte artacaksa, iş bulamayan insanların bu ucuz ürünleri satın alması nasıl sağlanacak. İnsanların işi ve geliri olmazsa bu ürünleri nasıl alacaklar?

Sedat Sami Ömeroğlu- Sizin sorduğunuz bu soruyu ben de sürekli soruyorum ama aldığım cevapların hepsi yalan. Bence bunun sonu büyük bir kaos. Kusura bakmayın, bunlar benim şahsi düşüncelerim. Bakın, bir adam, bir makine bir fabrika dönemi geliyor. Ne yaparsanız yapın, robotlarla üretimin sonunda ne olacak, insanlar ne yapacak diye soruyorum herkese. Ama tatmin edici bir yanıt alabilmiş değilim. Hepsi yalan dolan. Ben sosyolog değilim, dolayısıyla bunların cevabını ben de çok sık düşünüyorum. Bunun sonu nereye gider onu da az buçuk görüyorum. Smart Makine diyorlar, Smart Faktoring diyorlar, bırakın bunlardan da vazgeçtim artık Smart City diyorlar. Artık iş buna doğru gidiyor. İnsanlar çıldırmış vaziyete. Ben bir insan olarak şunu söylüyorum. Biz övünüyoruz, 'makineleri insanlaştırıyoruz' diye ama biz insanları makineleştiriyoruz. Başka da bir şey söylemek istemiyorum.

Prof. Dr. Galip Cansever- Değerli katılımcılar; Endüstri 4.0, tabii ki burada iki saatte anlatılacak bir konu değil. Öncelikle bunu söylemek isterim. Buradaki konuşmacıların konuşma zamanı sınırlı olduğu için, ancak 25'er dakika anlatabilecekler. Daha sonrasında sorulacak sorularla belki biraz daha açılabilir.

Almanya'da 2012 yılından itibaren, aslında 2009-2010 yıllarından itibaren bu çalışmalar başladı ve 2012 yılından itibaren Almanya Federal Hükümeti Başbakanı Angela Merkel sürekli olarak televizyonlarda, radyolarda, gazetelerde halkını bu konuda sürekli motive etmiştir ve halen de etmektedir. Bir taraftan halkını, yani Alman vatandaşlarını, diğer taraftan da Alman sanayicilerini sürekli motive ediyorlar. Diğer taraftan, Obama; o da özellikle 'internet of things' için gençlere sürekli olarak bunu aşıladı, sürekli olarak bunu söyledi. Sanayicilere aynı şekilde, 'industrial internet of things' dediğimiz konuyu sürekli olarak söyledi. Dolayısıyla, bizde de bunun bir hükümet programı olması lazım. İnşallah yakın zaman içerisinde bu da ülkemizde bir an önce devreye girecek konulardan bir tanesi olur.

Evet, sözü fazla uzatmayayım.

İkinci konuşmacımız, Schneider Electric'ten Mustafa Çelebi.

Mustafa Çelebi, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Kontrol Otomasyon Programı yüksek lisans mezunu. 4 yıl sahada otomasyon proje mühendisi olarak görev almıştır. 2011 yılında Schneider Electric'te endüstri pazarlama bölümünde bölüm yöneticisi olarak görev yapmıştır. 2015 yılından bu yana da pazarlama bölümünde makine çözümleri ve makine üreticileri iş geliştirme yöneticisi olarak görev yapmakta.

Kendilerini buraya davet ediyoruz.

Mustafa Çelebi (Schneider Electric)- Öncelikle vaktinizi ayırıp buraya kadar geldiğiniz için çok teşekkür ediyorum.

Gerek Sedat bey, gerekse okuldan hocam olan Galip hocanın yanında burada Endüstri 4.0 hakkında konuşmak gerçekten çok heyecan ve onur verici.

Sedat beyin bıraktığı yerden -Galip hocam o örneği verecek zannettim aslında, ama kısaca söyledi- şöyle devam etmek istiyorum. Herkes aslında konuyla ilgili farklı farklı isimlendirmeler kullanıyor; 'Endüstri 4.0', 'akıllı fabrikalar', 'e-factory', 'kendi kendine çalışan sistemler' vb. Biz de 'internet of things'in üzerine, 'industrial internet of things' diye, endüstriyel nesnelerin interneti diyerek devam ediyoruz Schneider Electric olarak… ve herkesten farklı olarak, bunun bir sanayi devrimi değil, bir

evrim olduğunu savunuyoruz. Çünkü yine Sedat beyin söylediği gibi eğer gerçekten bir devrim varsa, bu üçüncü sanayi devrimidir ve otomasyona geçiştir. Endüstri 4.0 denilen şey bizim için aslında bir evrim süreci ve bunun farklı farklı disiplinlerin, yani multidisipliner bir çalışmanın sonucu olarak ortaya çıktığına inanıyoruz.

Obama'nın söylediği bir şey var; aslında az önceki soruya, 'Hükümetin böyle bir programı var mı?' ya da 'Biz ne yapıyoruz?' sorusuna en güzel cevap da o. Çünkü beni hem üzüyor, hem de gururlandırıyor. Keşke bizim de o kadar mükemmel hocalarımız, misyoner hocalarımız, çalışanlarımız, hükümetteki insanlar böyle bir vizyona sahip olsalar da; Sedat bey gibi, Galip hoca gibi, bize Endüstri 4.0'ı öğretip, sonrasında geleceğe yönelik çalışmalar yapmamızı sağlasa. Ama belki Youtube'ta aratmışsınızdır, eski bir bakanımızın, bulutla ilgili, 'Abur cubur, ne atıyorsunuz; fazla kafa yormak gerekmiyor' dediği şeyin ardından Obama'nın konuşması başlıyor ve Obama diyor ki, 'Sadece Apple Store'dan ya da Google Play'den uygulama indirmeyin, oyun oynamayın; aynı zamanda bu uygulamaları geliştirin. Bu uygulamaları geliştirmek için mühendis olmanıza gerek yok ya da inanılmaz bir zekâya sahip olmanıza gerek yok; birazcık programlama bilgisi, biraz algoritma bilgisiyle bunları yapabilirsiniz.' Yani en üstteki insan, televizyonda halka seslenirken bu konuşmayı yapıyor; aynı şekilde, sanayicileriyle bir araya geldiğinde bunu söylüyor.

Galip hocam, Endüstri 4.0'ın müfredata eklenmesinden bahsetti.

Galip hocam; müfredata eklendi mi acaba Endüstri 4.0?

Prof. Dr. Galip Cansever- Türkiye'de kontrol ve otomasyon mühendisliği bölümlerinde müfredata bunun eklenmesi gerekir. Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Kontrol Otomasyon Mühendisliği Bölümünde Industrial Engineering 1 ve Industrial Engineering 2 diye dersler var ve bunların laboratuvarları var. Buna eklenmiş durumda da Endüstri 4.0 var.

Mustafa Çelebi- Sağolun hocam, çok teşekkür ederim.

Eğitim sürecinde ben bildiğim kadarıyla, çok ufak örnekler vereceğim. İnternette bu multidisipliner çalışma, aslında IT tarafıyla, bilişim sistemleriyle OT tarafının, yani operation teknolojilerin, üretim tarafının birbirini yakınsamasından kaynaklanıyor. Hatta daha da yukarıya çıkarsak, kaynakların daha uygun, verimli kullanılması; yine Sedat beyin söylediği gibi çok daha yukarı çıkarsak, ülkelerin birbiriyle olan savaşına geliyor. IT, OT convercenge da bu devrim sürecinde, 1. Sanayi Devrimi, 2. Sanayi Devrimi sürecinde internette de aslında belirli bir devrim süreci yaşanmıştı. Mesela, 1994-1995'te Türkiye'de ilk internet kullanımı başladığında, web sitelerine girdiğimiz zaman, web 1.0'da sadece bir HTML dosyası vardı, oradaki yazıları, dosyaları falan eklenebiliyordu, fotoğraflar; kullanıcıyla oradaki web tarafında, site tarafında bir etkileşim yoktu. Sonrasında, aynı şekilde endüstriyel alana bakarsak, sanayi devrimine geçilmesine rağmen, PLC kullanılmasına rağmen, operatörle PLC'nin, daha doğrusu makinenin etkileşiminin çok fazla sağlanma ihtiyacı yoktu. Otomatik olarak verilen senaryoyu işliyordu PLC ve üretim gerçekleştiriliyordu. Sonrasında biraz daha değişti, operatörle makinenin etkileşimini istediler. Çünkü kapı üretiyordu; belki x firması için kapı üretirken, 7X4 sarı renkli bir kapı üretirken, öteki gün 8X6 kırmızı renkli bir kapı üretmesi için reçetelerin değiştirilmesi, makinedeki senaryonun farklı bir konuma getirilmesi gerekti. Bunun için de HML çıkarıldı ve makineyle -bunu sadece dokunmatik ekran olarak düşünmeyin; herhangi bir buton da olabilir, bir kol da olabilir- insan arasındaki etkileşimi sağlayan HML de otomasyon tarafında entegre oldu.

Bununla birlikte, web 2.0'da da internet üzerinde kullanıcı adınızı ve şifrenizi yazdığınızda ya da bir sorgulama yaptığınızda, aradığınız sorunun yanıtını almaya başladığınız için çok daha fazla hayatımıza girdi ve web 2.0 gerçekleşmiş oldu. Burada, direkt olarak kullanıcının kendisiyle ilgili verilere erişip, hepsi farklı farklı sorgulama yapar hale geldi.

Sonrasında biraz daha ilerledi bu işlemler. Web üzerinden bütün cihazların, endüstrideki cihazların birbirleriyle uzaktan erişimlerin olduğu ve cihazla ilgili bilgilerin alındığı, raporlamaların yapıldığı,

birbirleriyle haberleştiği; internete yine herhangi bir haber sitesinin başka bir haber sitesinden, örneğin spor haberleri diyerek, kendisi hiçbir işlem yapmadan, otomatik olarak bunları kendi sitesine getirdiği 3.0 gerçekleşmiş oldu.

4.0 da, tamamen akıllı… hiçbir şekilde işlem yapmadan, hiçbir şey yapmadan, internete girdiğinizde, belki de bize hiçbir şekilde girmek istediğimiz siteyi yazmadan, 'siz burayı ziyaret etmelisiniz. Siz bundan hoşlanıyorsunuz' diyecek, hatta belki başka yeri yazamayacağız bile, o hale gelecek.

Endüstriyel ürünlerde de aynı şekilde, burada kimler otomasyonla uğraşıyorsa, operatör paneller ya da insan makine arayüzleri sadece tuşlu, cep telefonlarımızdaki gibi düşünebiliriz. Onlarla giriş yapıp, sadece makineye 22 sayısını girdiğiniz ya da bir şeyler tuşladığınız, rakamları girdiğiniz bir cihazdan, şimdi cep telefonlarımızdaki gibi birden fazla işlemin yapıldığı, uzaktan erişimin sağlandığı ve görevini farklı farklı durumlara göre değiştirebilen çok akıllı cihazlar haline geldi.

Aynı şekilde, PLC'ler de eskiden farklı farklı haberleşme protokolları kendi sistemlerine uygulamaya çalışırken, şu anda hepsi üzerinde web server bulunduran cihazlar haline geldi.

'Devrim' kelimesiyle 'evrim' kelimesinin manasını zaten herkes biliyor. Devrim, köklü değişiklik, evrim de belirli bir süreçte yaşanan değişiklik anlamına geliyor. Eskiden mobilite ihtiyacı yoktu. Operatör sahada çalışırken, tesiste makineyi çalıştırıp durdururken, oturuyordu, sahaya çıkması gerektiğinde sahaya çıkıyordu, makineyi çalıştırıyordu, sonra yine yerine geçiyordu. Şimdi, sahaya hiçbir şekilde inmeden, kendisi oturduğu yerden, uzaktan bu cihazlara, makinelere, tesise erişir hale geldi. Bununla da kalınmadı. Makine çalıştırılırken, makine etrafında ya da hastanın yatağından kalktığı zaman bu tesislere istediği gibi erişip kontrol etmesi ihtiyacı doğdu.

Aslında bu konsept, Endüstri 4.0 ya da 'endüstriyel nesnelerin interneti' konsepti; sadece buzdolabındaki domates bittiği zaman ya da süt bittiği zaman buzdolabının cep telefonunuza mesaj atması ya da bakkala mesaj göndermesi ya da cep telefonundan mesaj attığınızda, kız arkadaşınızla evinize gideceğinizde romantik ortam, ışıkların ona göre ayarlanması, oda sıcaklığının belli bir dereceye getirilmesi değil. Bunlar hayatımızın içinde zaten var ve bunları yapabiliyoruz. Olay tamamen birden fazla disiplinin ihtiyaca göre konumlandırılması… Eskiden sahadaki üretim tarafındaki insanlar bağımsız çalışıyordu, merkezde bunu raporlayan insanlar belki bunu dijital olarak değil, manuel olarak kendi raporlama işlemlerini yapıyorlardı. Bunların hepsinin her şekilde, dünyanın neresinde olursa olsun, bir makine üretimi yapılıyor, saatte 10 bin tane paketleme yapılıyor; 10 bin paketleme yaptığında, patron bunu görmek istediğinde, sadece o operatör kaynaklı ya da orada çıktı alınırsa, bir şekilde onu görüyordu; ama şimdi, birden fazla fabrikasının olduğu yerde bile SAP sistemleriyle entegre, dünyanın neresinde olursa olsun bunların hepsi birbiriyle akıllı şekilde iletişimde olarak, hatta birbirlerinin görevlerini paylaşarak, patrona en çok para nasıl kazandırır, onun peşinde çalışan cihazlar haline geliyor. Çünkü bu konsept sadece akıllı evden ya da hatta ileri seviyede uzaktan erişimden ya da mobiliteden ibaret değil; aynı şekilde, eğitim sisteminin de değişmesi, multidisiplin çalışan insanlar, öğrenciler haline gelmesi gerekiyor. Sanırım, Sedat bey önceki çalıştayda bunu söylemiştir: Örneğin Almanya, sadece sanayi devriminin kendisi Endüstri 4.0'ı üzerine alırken, bunu aynı şekilde direkt olarak mekatronik bölümü ve bunun gibi bölümler, veri analizleriyle ilgili farklı farklı bölümler de öğrencinin birden fazla disiplinle beraber mezun olması için, liseden itibaren bunun çalışmalarını başlattılar.

Aynı şekilde şunu söylemek istiyorum: Bu, sadece trendlerin o yöne gitmesi değil. Şöyle düşünülebilir: Yine Amerika'nın çok desteklediği, Schneider Elektrik'in de içinde olduğu ve insanlığı ya da şu anki piyasayı buna diretmeye çalışan bir uygulama değil. 'Evet, cihazlar böyle olacak, artık bunu kullanacaksınız' değil, biraz da trendlerin o yöne gitmesi. Çünkü geçmişi düşünün; tuş takımı olan telefonları kullanırken, şimdi hiçbirimiz kaçamıyoruz. Kaçabilen belki belli bir yere kadar vardır ama herkes dokunmatik akıllı telefonlar kullanıyor.

Ben ilk işe başladığımda, Schneider Elektrik'te HML'lerden sorumlu olmama rağmen, Samsung'un tuşlu küçük telefonunu kullanıyordum. Önce müdürüm, 'Sürekli fuar ziyaretlerinde fotoğraf çekeceksin. Rakip firmalar ne kullanıyor, bunu gözlemlemeni istiyorum' dedi. Yanımda dijital

fotoğraf makinesi götürdüm. Ardından, 'Maillerini her yerde sürekli kontrol edeceksin' dedi -Allah'tan, şu anki müdürüm farklı-. 'Tamam' dedim, ekmek parası... Yanımda sürekli laptop'umu taşımaya başladım. En son, bizim kendi yerel ağımızda bir uygulama vardı; onu da bilgisayarı açıp sürekli kullanmak çok zor. Müşteri ziyaretlerinde, yeri geldiğinde konumumuzu falan bildiriyoruz biz. 'Onu da kullanacaksın' dedi. Şu anda söyleyemeyeceğim bir sözü söyleyerek, 'Tamam artık, kaçamayacağım bu şeyden' dedim ve akıllı telefon aldım, çünkü oraya doğru yönlendiriliyorsunuz. Uçaktan iniyorsunuz, maillerinizi kontrol ediyorsunuz, uzaktan arkadaşınızla bir şeyle ilgili yorum yapıyorsunuz. Yani bu bir trend. İnsanların zorlanması ya da Endüstri 4.0'a uyumlu PLC'ler ya da HML'ler çıkacak diye bir şey değil; bence bu bir konsept.

Çok uzatmadan, ülkelerin birbirleriyle yaptığı savaşla ilgili de bir yorum yapmak istiyorum. Bence, IT dediğimiz zaman ve yazılım dediğimiz zaman aklımıza gelen tek ülke var; Amerika. Almanya, sanayide, endüstriyel otomasyonda çok ilerlemiş olabilir; ama onlar bile, bir düşünün, Türkiye olarak… "Made in Turkey" dendiğinde, bizim için çok farklı algıya sebep olan bu ülke bile bundan çekindiği için sanayi 4.0 diyor ve bunun herkese pazarlamasını yapıyor. Biz, o ülkeyle kendimizi karşılaştırdığımızda, Türkiye'nin yarın öbür gün ne yapması gerektiğini bir düşünelim. Birinci sanayi devrimini kaçırdık -bu Sedat beyin sözü- ikinci sanayi devrimini kaçırdık, üçüncü sanayi devrimini kaçırdık; umarım, dördüncü sanayi devrimini kaçırmayız.

Dinlediğiniz için çok teşekkür ediyorum. Sağ olun.

Prof. Dr. Galip Cansever- Değerli katılımcılar; sorularınız varsa alabiliriz.

Mustafa Çelebi- Hocam çok özür dilerim. Bir şey daha aklıma geldi. Bu konuların her yerde konuşulması gerekiyor. Kitapçıkta gördüm, enerji verimliliği. Sadece bildiğimiz şeyi konuşuyoruz. Enerji verimliliği diyoruz, herkes birbiriyle enerji verimliliği konuşuyor; yani takılıp gidiyoruz bir şeyin peşine, ama enerji verimliliği konusu zaten yıllar önce konuşuluyordu. Yani bu Endüstri 4.0'ın, endüstriyel nesnelerin internetinin bu kadar yüksek kalifikasyona sahip insanların, öğrencilerin olduğu yerde değil; aslında çok alt seviyede, belki taksicinin bile, yoldaki işportacının bile konuşuyor olması gerekiyor. Yoksa o az önce bahsettiğim şeyi kaçırmış olacağız.

Prof. Dr. Galip Cansever- Mustafa beye teşekkür ediyoruz.

Değerli katılımcılar; üçüncü konuşmacımız Yaşar Acar bey.

Yaşar Acar bey, AES Acar Endüstriyel Sistemler Sanayi Ticaret Limitet Şirketi Genel Müdürü. 1961 yılında Ankara'da doğan Yaşar Acar, ilk ve ortaöğrenimini Ankara'da tamamlayarak, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 1984 yılında mezun oldu. Otosan A.Ş.'de proje mühendisi olarak başladığı iş hayatını Temsa A.Ş. otomotiv bölümünde sürdürdü. ToyotaSa projesi fizibilite ekibinde görev aldı. Kuruluş aşamasından itibaren ToyotaSa A.Ş.'de üretim planlama, lojistik ve üretim kontrol konularında sorumlu yönetici olarak çalıştı. Toyota üretim sistemi ve cip sistematiğinin ve bilgisayar altyapısının oluşturulması ve üretim prosesleriyle entegrasyonu projelerini yürüttü. 1995 yılı sonundan itibaren kurucularından olduğu AES Limitet Şirketinde çalışmakta olan Acar, endüstriyel havalandırma ve hava temizleme sistemlerinin tasarımı, üretimi ve taahhüt hizmetleri sağlayan AES'te Acar Endüstriyel Sistemler Limitet Şirketi Genel Müdürü olarak çalışmaktadır. 2006 yılından itibaren AES Limitet Şirketi temsilcisi olarak katıldığı ENOSAD bünyesinde Yönetim Kurulu üyesi olarak görevini sürdürmektedir.

Değerli katılımcılar; biraz önce Mustafa beyin söylemiş olduğu bir konu vardı. Amerika'da bir kuruluş var; ismi BCG, bu 'Boston Consulting Group' diye geçer. Yani büyük şirketlere danışmanlık yapan bir kuruluş. Bu kuruluş bir yayınında, Endüstri 4.0 için şunları söyler: "9 tane teknoloji alanı olması gerekir." Tabii ki bütün sistemlerde, bütün fabrikalarda 9 tanesini bulmak zor olabilir; ama genelde

böyledir. Bu teknoloji sahaları şunlar olmakta: Sedat beyin de bahsetmiş olduğu, gerek fabrikalar arası, gerekse fabrika içerisinde. Ki, biz bunlara dikey ve yatay entegre adını veriyoruz. Bir taraftan fabrika içerisinde, diğer taraftan fabrikalar arasında - İnternet options diyoruz-. Bu 9 tane teknoloji sahası. Hep internetten bahsedildi. Bu kadar internetin olduğu yerde muhakkak surette güvenlik olması gerekir.

Hepiniz duymuşsunuzdur; bulut, bulut diyoruz, yani bulut bilişim diyoruz. Bu şeyin içerisinde, özellikle dataların erişimiyle ilgili. Bulut bilişim çok önem arz etmekte ve gelecek 5 yıl içerisinde kendisini hissettirecek. Büyük datalar artık konuşulacak ve dolayısıyla bu büyük datalarla çok büyük işlemler yapılacak.

Başka? Artırılmış gerçeklik… bilgisayarla yapılan programlama ve dolayısıyla birçok sistemler bu endüstriyel 4.0'ın altında artırılmış gerçeklik olarak yer almakta.

Başka? Bağlanabilirlik... evvelden fabrikada çok farklı PLC'lerle bağlantılar yapılır ama PLC'ler birbirinden habersiz olup, hepsi sadece kendi makinesini kontrol ediyordu. Artık bu bağlanabilirlik problem olmaktan çıkacak. Hangi marka olursa olsun, hepsi birbirilerine çok rahat bir şekilde bağlanacak ve konuşacaklar.

Endüstriyel 4.0'da VPN, Virtual Private Network dediğimiz bir konu var; bu konu çok önem arz etmekte. Yani siz çok büyük dataları gönderiyorsunuz ama size ait özel yollar tahsis edilmekte. Bu 9 konu çok önem arz etmekte.

Evet, üçüncü konuşmacımız Yaşar bey, buyurun.

Yaşar Acar (ENOSAD)- Değerli katılımcılar, değerli panelist arkadaşlarım; Endüstri 4.0'la ilgili genel çerçeveden başlayıp, kavram değerlendirmesi anlamında yol aldık. Ben, makine mühendisi gözüyle Endüstri 4.0'dan ne anlıyorum veya 'Bu evrim mi, devrim mi?' tartışması… o noktadan biraz girerek, 'Biz neler yapmalıyız, Türkiye'nin gerçekleri bazında bu kavramı nasıl ele almalıyız?' diye biraz bir şeyleri paylaşalım istiyorum.

Bir katılımcımız, 'Makineler bu kadar insansızlaşınca, insanlar ne yapacak?' diye sormuştu. Dünyada iki gerçek var; kaynakların hızla tüketiliyor olması, yani arz-talep dengesi açısından bakıldığında arz yetersizliği söz konusu. Endüstriyel ürünlerde de tersi bir arz fazlası var. Aslında bütün problem, bu çabaların, 4.0'ların vesairenin hedefinde hep bu arz fazlasından daha fazla payı kapıyor olup yaşayabilmek savaşı veya endüstriyel içgüdüsü var. Otomotiv sektörü, beyaz eşya sektörü, bunların tümünde, üretici tesislerde, dünyada çok ciddi üretim fazlası var, talebe karşılık. Dünyanın bu noktaya geleceğini 1980'lerin sonunda da araştırma grupları, çalışma grupları tespit etmişlerdi zaten. Bir örnek: Otomotivle ilgili bir periyodik yayında, 2000'li yıllara gelmeden, dünyada 5 büyük üretici grup kalabileceğini iddia eden bir makale vardı. O zamanlar bize çok ilginç gelmişti bu, fakat sonra zaman içinde gördük. Otomotivin beşiği Amerika'da bile Chrysler yaşayabilmek için biraz Mercedes'le flört, evlilik yaşamak zorunda kaldı, sonra Fiat'la devam ediyor şu anda. Mitsubishi diye bir üretici var Japonya'da, çok güçlü; ama yetmiyor, Mercedes'le stratejik işbirliği var. Bunun gibi bir yığın ortaklıklar oluşturuluyor. Bunun yanında, kapanan veya el değiştirenler var… Veriler bunu böyle gösteriyor şu anda. Makro düzeyde bakarsak bu, arz fazlasında yaşayabilen üreticiler arasında olabilme savaşı.

Almanya, bu 4.0'la ilgili çalışma grubunu kurarken -çok açık bir ifade var; tam notunu aldım buraya- amaç şöyle: 'Ülkenin üretim endüstrisinin geleceğinin güvence altına alınması' diye başlıyor çalışma grubu. Bunu hükümetin stratejik projelerinin öncelikli olanlarından birisi olarak lanse edip koordinasyonunu yapan bir devlet anlayışı var. Ama devlet demek ki, ekonomisini, üreticileri ve sektör temsilcilerinden gelen feedbac'lerle çok yakından izliyor ve bu konumunu korumaya çalışıyor, böyle bir refleks gösteriyor.

Sürekli yaşayabilmekten bahsettim. Tek koşulunuz var; verimli olmak durumundasınız, diğerlerinden daha ekonomik üretebilmek durumundasınız. Ürünlerde çok yapılacak bir şey yok. Bir buzdolabının

tasarımı belli, yapılabilecek iyileştirmeler belli. Geriye kaldı, doğru fiyatın belirlenmesi. Fiyat formülü eskiden farklıydı. 1970'lerin sonuna kadar, "Fiyat, eşittir maliyet, artı kâr" gibi bir mantık dolaşıyordu dünyada. 1980'lerden itibaren bu, arz fazlası arttıkça, "Kâr, eşittir satış fiyatı, eksi maliyet" şeklindeki formüle dönüştü. Bir işletme açısından bakıldığında, bu denklemdeki elemanları yerine basitçe yerleştirmek gibi olmuyor. Bu çok ciddi bir değişiklikti. Böyle olunca, kârı optimize etmenin tek yolu, maliyetleri azaltıp verimliliği artırmaktan geçer. Bunu da 1980'lerden sonra doğru beceren ve o yıllarda sektörün en iddialıları Japonlar oldu; yalın üretim felsefesiyle. Bu felsefe ortaya çıkıp da üreticiler Amerika'ya gelip, Amerikalılardan daha ekonomik ve daha ucuza, daha kaliteli araçlar üretmeye başlayınca, ekonomi için bir alarm oldu bu ve bir çalışma grubu da orada kuruldu o zamanlar, yani şimdiki Endüstri 4.0'ın çok benzeri bir amaçla başlamış bir çalışma grubu. MIT'nin içine girdiği, otomotiv üreticilerinin desteklediği yaklaşık 5 bin dolarlık fonla bir kitap çalışma grubu, Japon üretim sistemini inceleyen bir kitap hazırladı. Bu kitabın adı, ilginçtir, "The Machine That Changed the World", yani "Dünyayı Değiştiren Makine". Aslında makineyi anlatmıyorlar ama üretim sistemi ve felsefesini anlatmaya çalışıyorlar burada. Bu çok popülerdi. Tüm insanlar bu kitabı başucu kitabı yaptı otomotivde, incelediler; fakat orada bir eksik vardı. O eksiği kimler görüyordu; Japonlar ve biraz da biz. Ben, Toyota'yla çalışıyordum o dönem. İşin felsefesini anlamak durumundaydım, çünkü burada benzerini uygulamak zorundaydım. Misyonumuz oydu. Bu gözle baktığımız zaman, bu 5 milyon dolarlık projeyle yazılan kitapta sadece olayın dıştan görünüşünün var olduğu; ama sistemin üretim felsefesine, ruhuna inilmediği tespiti de vardı. Dolayısıyla hâlâ Amerikalılar diğer rakip üreticilere karşı biraz geriden geliyorlar. Almanlar orada, Japonlar orada çok daha popüler araçlar üretmekteler şu anda.

Burada sadece sisteme dıştan bakıp, ana parametreleri koyup, tanımlayıp, olması gerekeni tespit etmekle doğru yola gideriz diye bir garanti yok. Endüstri 4.0 için aynı yanılgıyı oluşturmamalıyız diye bunu anlatmaya çalışıyorum. Endüstri 4.0'da -arkadaşlarım detaylı anlattılar, bahsettiler- bir siber fiziksel üretim ortamında süreçleri entegre etmeye çalışıyoruz. Tamam çok güzel. Bu entegrasyon zaten belli ölçüde kısmen var. Burada yapılması planlanan ve bana daha ilginç gelen, tüm paydaşların, yani katma değer üreten bu sektörün, müşteriden pazarlama organizasyonuna veya yan sanayi kuruluşlarına kadar bu şebekenin içine alınıyor olması ve bunların interaktif üründen hareketle veya müşteriden gelen tepkiden hareketle üretimi senkronize yönlendiriyor olabilmesini hedeflemesi. Bu çok ilginç. Belki bu yönüyle bu tam zamanlı üretimin biraz daha düşey entegrasyonunu sağlamış hale ulaşacak endüstri. Ama bunu yaptığınız zaman veya kolay hayata geçirilebilecek bir kavram mıdır, onu irdelemek lazım. Almanya için belki kolay ama Almanya içinde değil; çünkü biraz daha detaya indiğiniz zaman, işin farklı boyutları çıkıyor ortaya.

Amaçlanan şey nedir? Bir entegrasyondan bahsediyoruz. Az önce değer alanlarının entegrasyonu dedim. O bir tercüme, yani Almanların çalışma grubunun da bir ifadesi. Burada yatay veya horizontal network diye bir tanım. Burada yan yana gelmiş tesislerin senkron çalışmasından bahsediyor olabilirsiniz ama aynı ürünün ekonomik üretimi için görev alan diğer yan sanayi kuruluşlarının da bu sisteme entegrasyonu bu işin içinde var, tasarım biriminin entegrasyonu var, pazarlamanın sisteme entegrasyonu var; fakat burada, şirketler üstü bir yapıya çıkıyor bu entegrasyon. Dolayısıyla bu şirketler üstü yapının pratikte nasıl sağlanacağı -muhasebe açısından mesela- bir sorun. Ben muhasebeden pek anlamıyorum, ama muhasebe nizamına uygun mudur? Gümrük mevzuatımız, global olarak da bu entegrasyonun olacağını varsayarsak, örneğin, Türkiye'deki bir üretici, Rusya'da da tesisi var, Romanya'da da tesisi var; böyle bir değer ağlarının yatay senkronizasyonu konusuna girip biraz daha yol kat etti, ürünlerini paylaşıyor, orada işleyip buraya getiriyor -bunu Japonlar şu anda yapıyorlar veya Almanlar da kısmen başarıyor- ve bir karşı ihracat var. Bunun muhasebeleşmesinde falan çok ciddi sorun yaşayacağından eminim. Böyle bir mevzuat problemi var.

Sonra, bu big datadan hareket ederek yürüyecek tüm bu işler. Buradaki güvenlik konusu nasıl hallediliyor olacak? Hem şirketlerin mülki fikriyat hakları anlamında hem de veri güvenliği anlamında sıkıntılar potansiyel olarak var ve olacak. Bunlar birkaç örnek; ama aslında 4.0'la hedeflenen bu entegrasyonda, bu paydaşların entegrasyonu yanında, birimlerin kendi içinde de önceden kopuk

olan bilginin veya verinin yatay veya uç uca eklenebilirliği önemli. Burada, satış sonrası hizmetlere pazarlamanın, pazarlama ve üretim mühendisliğinin, üretim mühendisliğiyle tasarım mühendisliğinin, tasarım mühendisliğiyle pazar planlamanın verilerinin doğru akıyor olması lazım. Bunlar çok ciddi zaman alıcı konuların başlıkları.

Yeni bir araç geliştiriyorsanız, hangi segmentte hangi özellikler, hangi spect'lerle bir araç geliştiriyor olacağınızın kararını vermek en kritik ve en zor iştir; çünkü yatırım, emek vesaire fiyaskoyla sonuçlanıyor olabilir. Bunu sağlıyor olmanın eskiden birçok yöntemi vardı; müşteri anketleri, verileri toplamak vesaire; ama bunlar hep belli verilere bağlı. Bu big datanın içinde müşteri verileri de olduğuna göre, araçtaki o gömülü işlemciler sistemle, merkezle haberleşiyorlar. Trafik bilgilerini paylaştıkları gibi, aracın durumunu da paylaşıyorlar. Yani sizin sürüş tercihlerinizi de bu araç merkeze aktarıyor. Bunlar aslında araç geliştirmeye, o firmanın mühendislik birimine de veri oluşturuyor.

Bu tip entegrasyonlar, tamam, çok avantajlı olacak; fakat bu yapıya hazır bir mühendislik felsefesine ihtiyacımız var. Bilgisine demiyorum özellikle, felsefesine diyorum; çünkü bilgiye bir şekilde merak eden herkes ulaşabiliyor. Felsefeyi algılamak çok önemli. Burada bir paylaşım var. Bu bir kültür sorunu haline de gelebiliyor olabilir ülkeler açısından, bu tür sistemlere bu tip üretim know-how'larının yerleştirilme işi.

Bir örnek vermek isterim. Toyota'nın Amerika'ya gidip ilk yatırımını yapması kendi başına değildir, General Motors (GM) ile bir ortak fabrika kurulumu şeklindedir. GM'in yaptığı bu tesiste uzun yıllar birlikte çalıştılar. Bundan her iki taraf da yarar bekliyordu. Şöyle: Japonlar ayağını sağlam bir pazara basmak için yaptı bunu, Amerikalılar da rakiplerini kontrol ederek yahut 'onlardan yalın üretim öğreniriz' mantığıyla yaptılar. Döndüğümüzde, şimdi ortaklık yok; ama bilgi açıktı orada, Amerikalı mühendisler açıktı, pazar da Japon mühendise açıktı. Şu andaki sonucu söyleyeyim. O fabrika ortak değil artık. Ticari araç pazarında GM çok ciddi kaybetti, yerine Amerika'da üçüncü fabrikasını açtılar Japonlar. Demek ki felsefi açıdan üretim süreçlerinde sadece parametreleri robotik bir bakışla kontrol etmenin yanı sıra, bu sistem tasarımındaki insan faktörünü öne çıkarıyor olmamız da çok önemli.

Şunu söylemek istiyorum: Bir süreci tanımladığınız zaman, bazı fonksiyonları otomasyonla çözmeye çalışabilirsiniz, ama çok basit trick'ler var; kişi eğer bunu benimsemiş ve uyguluyorsa, sıfır, en alt, piramidin en altındaki kişi bunu anlamış, sizinle aynı dilden konuşuyorsa, çok rahat yerleştirebiliyorsunuz sisteme. Değilse, fabrikalara gidin, 1980-1990'ların ikinci yarısında Türkiye'de bütün fabrikalarda birer danışman vardı, bu yalın üretim için dolaşıyordu; afişler vardı, sadeleştiriyoruz filan diye, ama bunların hiçbirisi hayata geçmedi. Çünkü bunlar bir kurumsal felsefe ve kurumsal politika olarak tabana anlatılmadı. Bunlar şirkette bir tercih olarak kaldı. Söylemeye çalıştığım şey şu: Ülkelerin bu tip projeleri bir 'ülke-kader' projesi olarak alıp, tabana bir şekilde aktarıyor olması lazım. Taban nedir? Taban, üniversitelere adım atan öğrenci. Adım attığı andan itibaren o öğrenci bu işin tabanındadır; çünkü bu anlattığım entegrasyona, klasik mühendislik bilgilerinin dışında, sistem entegrasyonu veya bu tip daha geniş hayaller kurabilen beyinlerin öne çıkıyor olmasını gerektiriyor. Değilse, sistemin çok iyi kurgulansa da başarılı olma şansı bence yok; çünkü Türkiye'nin zaten bir kaynak sorunu var. Demin Sedat bey de bahsetti; ileri teknoloji ürünlerinin yüzde 4'ün altında ihracat oranı var. Bunu yukarı çıkarmak için neler yapmalı? Yapacağı şeyler belli ama odaklandığımız sektörler, pazarlar veya bunların bir makro takibi veya yönlendirmesi, planlaması var mı, pek yok. Çok liberal sandığınız, gördüğünüz ekonomilerin çoğunda devlet inisiyatifi hiç elden bırakmamış gibi. Örneğin Japonlar. Orada bu iş için bir bakanlık var; bu bakanlık, bizdeki teşvik uygulama türü çözümlerin veya katkıların planlanmasından başka, pazar konusunda şirketlerin yönlendirilmesinde de rol alıyor hâlâ Japonya gibi bir ülkede. Bu bakanlık, zamanında Honda'ya 'Sen otomobil işine giriyorsan kendi başına gireceksin, bizim oraya ayırdığımız önceliklerden yararlanamazsın; çünkü sen motosiklet üreticisisin, bu konuda devam etmelisin' diyen bir bakanlık. Ama o da bunu, 'Hayır. Ben istiyorum, yapacağım' deyip yapabilmiş orada. Benzeri Kore'de de anlatılıyor.

Almanya'da Endüstri 4.0, Eğitim ve Araştırma Bakanlığının himayesinde bir çalışma grubu tarafından sürdürülüyor. Yani devletler bu işe farklı boyutta bakıyor olmak durumundalar. Türkiye'de bence en büyük aksaklıklardan birisi de burası. Ülkenin öncelik sıralaması yapıyor olması lazım.

Tek bir avantajımız var 4.0 için. Endüstri 4.0'da, insan faktörü denilen, bu felsefeyi hatmetmiş insanları biraz daha amaç odaklı yönlendirebilirsek, diğer devrimleri kaçırmış olma deneyimimizi de koyarsak önümüze, biraz daha rahat hareket ediyor olabilir. Çünkü Endüstri 4.0, insana aslında düşündüğümüzden çok daha dayalı. Sistemin tasarım tarafında çok daha yoğun bir insani tasarım ihtiyacı var.

Siemens'in Ar-Ge kadrosunun yüzde 50'si yazılım mühendisi, bu çok ilginç. Bu sistemlerin tabanında böyle bir yaklaşım var. Eğer bunu öne alırsak, ortak akıl veya devletin de yönlendirici rolle ortaya çıktığı yapı ülkenin önceliklerini belirlerse, zamanında Kore'nin yaptığı gibi, örnek projelerle ortaya çıkılabilir. Değilse, bu sistem, herhalde 5.0, başka bir şey, herhangi bir sistem konuşulurken de onu da ıskalamıştık diyebiliriz. Biz zaten Rönesans'tan sonraki aydınlanmayı ıskalayarak kaçırma alışkanlığı edinmiş bir coğrafyadayız. Dilerim, hep birlikte bu zaafımızın farkına varır, bu konuda biraz daha farklı düşünmeye yönlendirebiliriz insanları. Burada hocaların yapacağı çok şey var mı, bilmiyorum. Dernek olarak bu konuda çalışılıyor, anlatılıyor; fakat önemli olan, bu tepkinin bir kolektif yapıya bürünüyor olması. Değilse, hiçbir şansı olmayacak. Çünkü demin bahsetmeye çalıştığım sistem başarılı bir şekilde deneme bazında uygulanmaya başlansa bile, soracak çok şey var. Biz Türkiye olarak hangi referansları minval yapacağız veya hangi protokollar öne çıkacak? Çünkü onlar da sürekli değişiyor. Bu sistemler gittikçe karmaşıklaşıyor. Hocamın bahsettiği geniş bant yapısı, o bant yapısı bizde nereye gidiyor veya entegre olmayı planladığımız ülkelerle uyumlu bir halde olabilecek miyiz? Değilse, burada bir şey yaptığınız zaman, yurtdışında bir partneri varsa buradaki 4.0 projesinin, böyle bir altyapı ortaklığı yoksa çalışma şansı yok gibi. Yasal çerçeveye kadar bu iş geliyor. Ama en önemlisi bir yerden başlamak. Bir yerden başlayabiliriz diye bitirmek istiyorum.

Teşekkür ederim.

Prof. Dr. Galip Cansever- Biz teşekkür ederiz. Varsa soruları alalım. Buyurun.

Hakkı Kaya Ocakaçan- Bugüne kadarki Endüstri 1.0, 2.0, 3.0, esasında bizim geriye dönük kodladığımız şeyler. Yani bugün buhar makinesini devreye koyarken, Endüstri 1.0 yapmamış daha önce. Endüstri 2.0, Fordist üretim tarzı dediğimiz zaman, 'Ben Endüstri 2.0 yapacağım, ne yapacağım' diye yola çıkmamışlar. Endüstri 4.0'da anlattıklarınızdan kafam iyice karıştı, açık söyleyeyim. Neden karıştı? Sanki biz Endüstri 4.0'ı yaratmaya çalışıyoruz. Baktığınızda, yaratılmış, daha önce kodlanan bir şey değil. Bir çıkmaz var -demin de söylediniz konuşmanızda- bu çıkmaz aslına pazarlama-satış çıkmazı. Öyle bir noktaya gitti ki şu anda dünya kapitalist üretim sistemi, bunalımdan çıkamayacak halde. Bizim Türk insanına baktığımız zamansa, 1990'lı yıllarda şöyle bir lafımız vardı: 'Japonlar yapar, Amerikalılar yazar, biz Türkler de oturur ah vah ederiz.' Ama bugün geldiğimiz noktada, acaba Endüstri 4.0 'ı da onlara uygun içinden çıkmaya çalıştıkları bir sistem gibi görünürken, Türkiye'de güçlü yönümüz ne, eksiklerimiz ne? Mesela, kontrol bence en eksik yönümüz. Yani Endüstri 4.0'ı her yerde konuşalım, tamam, her yerde konuşalım; ama bu, sonucunda bizi, 'ah vah!' demekten başka bir şeye götürmeyecek. Çünkü onlar yıllardır, hatta yüzyıllardır kendi çıkmazlarından nasıl çıkacaklarını tartışıyor. Eğer biz bunu Türkiye'ye adapte etmeye çalışırsak, korkum şu ki, hep 'ah vah!' diyeceğiz. Ama esas olarak kendi yapımıza uygun bir şekilde, 'biz nerede eksiğiz, neyi yapabiliriz? Endüstri 4.0'la hiç alakası olmayabilir. Böyle baktığımızda, sanayinin içindeki bir insan olarak, bu Endüstri 4.0 da sonuç olarak buraya gitme riski taşımıyor mu?

Yaşar Acar- Böyle bir risk tabii ki var. Türkiye'de halen kol gücüyle iş yapan atölyeler de var, bir çatı altında son 5 yılda en otomatize en çok robotize yatırımı yapmış tesisler de var; böyle garip bir ülkeyiz. Mühim olan, bu üst standardın genele yayılıyor olması. Onu yapamıyor olursak, o yüzde 4'lük ileri teknoloji ihraç oranını aşma şansımız yok.

Bu bir farkındalık. Hangi sektörde ne kadar o konuya bulaştığınızda orantılı algılıyor oluyorsunuz. Değilse, birkaç yıl sonra geriye dönüp baktığınız zaman, o değişiklikleri bütün olarak gördüğünüzde, bunların hepsi aslında bu 3. Sanayi Devriminden sonra eklektik yürüyüp giden şeyler.

Bu Endüstri 4.0'da insan faktörü hâlâ çok önemli. Onu vurgulamaya çalıştım. Ama maalesef yeni bölümler açılıyor üniversitelerde. Bir ara mekatronik çok modaydı, fakat mekatroniğin kaderi biraz endüstri mühendisliğinin kaderine benzeyecek gibi gözüküyor. Çünkü endüstri mühendisliği eğitiminde, Türkiye'de biraz üretim ve makine konuları verildi o dönem ama hiçbirini tam alamadı bu arkadaşlar. Dolayısıyla böyle bir ara kadronun başına gelebilir insanlar oldular, yani çok iyi üretim planlamacıları oldular büyük şirketlerde. Ama mekatronikte veya Endüstri 4.0'ın gereklerini yerine getiren disiplinlerde de sistematiği böyle kuruyor olursak, çok kaliteli formenler soyu oluruz, mühendislik görüntüsünde. Bu en büyük eksiğimiz oldu. Çünkü bu sistemler aslında çok daha yetenekli, çok daha hayal gücü olan, çok daha entegrasyon kapasitesi olan bireyler bekliyor mühendis adı altında. Aslında eğitim 4.0, 3.0 gibi bir şey başlatıyor olsak, tüm sektörlerin hayrına olur bu anlamda. Ama özellikle mühendislik eğitiminde bir ortak aklın hedeflerini koyup, o hedefler doğrultusunda öncelikleri biraz daha gözden geçirip, bunu okullar bazında standardize etmesi lazım.

Galip hocam Yıldız Teknik Üniversitesinde; kendi çabalarıyla içeriği değiştiriyor olabilirler. Bir binanın bir katında belli bir bölümü okuyan ve sonra yine mühendislik diplomasıyla aynı işletmelerde çalışmaya çalışan arkadaşlarımız, gençlerimiz de var. Bunun için de Adalet Bakanlığı da lazım, çevre de lazım, sanayi de lazım, üniversiteler de lazım. Ama bu alan bu sorunun pek farkında imiş gibi görünmüyor. Değilse, 4.0 trenine atlama şansımız hâlâ var bence, çünkü çok insana bağlı bir alan.

Prof. Dr. Galip Cansever- Yaşar beye teşekkür ediyoruz.

Değerli katılımcılar; bugünün son konuşmacısı, Yrd. Doç. Dr. Özgür Tunay Kaymakçı. Kendisi, Yıldız Teknik Üniversitesi Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi.

Buyurun Özgür bey.

Yrd. Doç Dr. Özgür Tunay Kaymakçı- Değerli katılımcılar; hoş geldiniz.

Benden önceki konuşmacılar gerçekten Endüstri 4.0'ın Türkiye'de nasıl olması gerektiğini ve dünyada geldiği noktayı aktarmaya çalıştı. Ben, bu taraflarına çok fazla değinmek istemiyorum. Yaşar beyin de söylediği gibi, bu işin eğitim ayağı var. Eğitim ayağında acaba neler yapılabilir ve bunun sanayiye bakan yüzünü nasıl şekillendirebiliriz, bunun hakkında bir miktar konuşmak istiyorum.

Bunu dillendirmeden önce, Larry Ellison'la zamanında yapılmış bir röportaj var 1990'ların başında. Larry Ellison, Oracle firmasının şu anda halihazırdaki CEO'su, kurucusu; yani bir anlamda Bill Gates neyse Amerika'da Larry Ellison da o. 1990'ların başında gazetecinin biri mikrofon uzatır, der ki, '2000 yıllarında nasıl bir bilgisayar hayal ediyorsunuz?' Ellison düşünür, düşünür, düşünür sonra bir bilgisayar sistemi ortaya atar ve der ki '2000 yıllarında bu bilgisayar belki olabilir…' arkasından da 'Eğer bunun yüzde 7'sine ulaşabilirsek, kendimizi sektörel anlamda şanslı saymalıyız' der. 2000 yılına gelindiğinde, dünyada o an Larry Ellison'ın tarif ettiği bilgisayar konfigürasyonunun tam iki katı hızında ve performansta bilgisayarlar üretiliyor, insanlar tarafından tedarik ediliyor.

Bunu niçin söylüyorum? Çünkü 1990'ların ilk yıllarında sektörün başında olan, yani akan suyun başında olan bir insanın bile artık öngöremediği bir hızla bilişim sektörü gelişmiş ve günümüzdeki halini almıştır.

Bir de şu var, Endüstri 4.0 diyoruz ya... Ben, yaklaşık olarak 8 yıldır raylı sistemlerle uğraşıyorum. Yoğun bir şekilde bunun standardizasyonu, sertifikasyon ve bunlarla ilgili olarak elektronik kısmında tasarım geliştirilmesiyle ilgilenen bir insan olarak, Avrupalı -Amerika bunu çok iyi biliyor zaten- ilk başta, bir şey yaptıysa ve onda tekel olmak istiyorsa, bunun standartlarını ortaya atıyor. Standartlarını ortaya attığı an, bir anda piyasadaki oyuncuların yüzde 90'ına aslında değiyor. Geriye kalıyor bir avuç oyuncu. O bir avuç oyuncu da aslında kendisinin içinden çıkmış olan ve sektörde ağababa diye tabir ettiğimiz insanlar. Çok rahat bir örnek verebilirim. Sinyalizasyon konu başlığı vardı; Türkiye'de son 5-6 yıldır çok popüler. Dünyada bu işi yapan 7-8 tane firma var, daha fazla yok. Bunların bir

kısmı Amerikan menşeilidir, bir kısmı Avrupa menşeilidir. Niye daha fazla yok? Niye onlar, yüzler, binler mertebesinde değil? Çok basit: Standardizasyon.

En basit örneği vereyim. Bunu bir toplantıda konuşma fırsatı bulmuştum. 'Bir uçak geliştirildiği zaman, siz bunları alıyorsunuz, uçağı geliştiriyorsunuz ve sertifikasyon kurumuna gidiyorsunuz. Bununla ilgili olarak ne kadar dokümantasyon üretiyorsunuz?' dedim. 'Yaklaşık olarak bir evi dolduracak kadar' dedi. Hayal edin. Yani 80-90 metrekare evin içerisini dolduracak kadar bir dokümantasyon çıkıyor uçakla beraber. Bu, aslında çok ciddi bir know-how, çok ciddi bir yapılanma.

Biz Türkler olarak konuşmayı çok seviyoruz, yani bıraksanız -hocayız da zaten, malumunuz- akşama kadar burada konuşuruz. Konu konuyu açar, laf lafı açar. Ama yazabilir miyiz; kesinlikle hayır. Kendimden biliyorum. Akademisyen kimliğimle buradayım. Makale yazmaya çalışıyorum. Amerikalılar nereden baksanız 15 günde bir makale çıkarır; biz, 3 ayda, 6 ayda onun yazdığının yarısını yazamıyoruz. Niye? Yazma kültürümüz yok, dokümantasyon kültürümüz yok. Bizde bilgi nasıl aktarılıyor; sözel aktarılıyor. Usta-çırak ilişkisi. Ahmet ustanın yanına gidersiniz, sizi yetiştirir; siz, onun yaptıklarını tekrar ederek o konuda uzmanlaşırsınız. Aynen şu anda doktorluk mesleği gibidir. Doktorların bu kadar yüksek maaş almasının tek sebebi, usta-çırak ilişkisiyle yetişmesidir. Eğer kitabi olarak gitseydi, doktorlar şu an bir mühendisten daha fazla maaş almazdı.

Bu noktadan bakıldığında, biz Türkiye olarak bu treni yakalayacaksak eğer, mutlaka ve mutlaka eğitim sistematiğimizi değiştirmek zorundayız. Bunun da başı yazılı kültürden geçer. Ozanlarımız bile böyledir. Malum, Yunus Emre'den Karacaoğlan'a hep sözel olarak aktarılmış. Son 100-150 yıldır birileri bunları alıp kaleme aktarmış da kitaplarda, şurada burada kalıcı olmuş.

Bu, bizi nereye getiriyor aslında. Bu, bizim mühendislik dinamiğimizi oluşturuyor. Bizdeki mühendisler ne yazık ki Süpermenler. Ben hep öyle tabir ederim. Mesela, mekatronik mühendisliği aslında işletme mühendisliğidir. "Öyle bir adam olsun ki, makine bilsin, elektrik bilsin, kontrol bilsin, elektronik bilsin, bilgisayar bilsin, robotik bilsin." Bu adamın nasıl bir adam olması lazım, nasıl bir IQ'ya sahip olması lazım ki bu kadar yoğun bir bilgiyi bünyesinde sindirebilsin? Ne oluyor; aynen Yaşar beyin dediği gibi, mühendiscikler çıkmaya başlıyor. Açık söylemek gerekirse, Galip hocamın da söylediği gibi, diğer tüm konuşmacıların da söylediği gibi, bizim artık bireysellikten çıkıp takım çalışmasına, grup çalışmasına ve daha da önemlisi, beraber iş yapma kültürüne sahip gençler yetiştirmemiz gerekiyor.

Açık söylemek gerekirse, bilgi şu an en kolay ulaşılan şey. Naçizane benim düşüncem; her türlü şeyi Google'a sorun, cevabını buluyorsunuz. İnternette makaleler var, şunlar bunlar var. Bilgi çok kolay. 'Bilgiye ulaşamıyorum' diyen insana ben açıkçası şaşırıyorum, çünkü bilgi şu an en ucuz şey, belki de bedava. Ama bilgiyi kullanabilmek, işe dönüştürebilmek ve oradan bir yol kat edebilmek aslında katma değer. Biz, ne yazık ki öğrencilerimize -burada şu an bizim kendi mühendislik bölümümüzden gelen arkadaşlar da var- bunları öğretmiyoruz. Kabul edelim. Yani iğneyi kendimize (çuvaldızı başkasına) muhabbeti. Öğrenci odaklı değil, öğretim üyesi odaklı bir eğitimimiz var; bu aşikâr. Sektörün ihtiyaçlarını çok önemsemeyiz, önemsermiş gibi davranıp, aslında standart bir sistematikle ilerleriz. Ben bunu YTÜ ya da İTÜ, Ahmet, Mehmet mantığıyla söylemiyorum, genel Türk eğitimindeki sistematik olarak söylüyorum.

Bunu endüstriyel vb. bağlayacak olursak, zaten bildiğimiz problemler. Bizim eğitim sistematiğimizi revize etmemiz lazım. Nasıl bir eğitim sistematiğine ihtiyaç var? Nokta odaklı bir eğitim sistematiğine ihtiyacımız var. Nedir o nokta odaklılık?

Bir arkadaşımın çok güzel bir anısı vardı; her yerde anlatıyorum, burada da anlatmak istiyorum. Biliyorsunuz, Körfez Krizi zamanında Sabiha Gökçen Havalimanını kısa bir süre Amerikalıların kullanımına açtık. Amerikalılar şunu keşfetmişler: Bazen merkezle uçaklar arasındaki irtibat kesiliyor. Amerika'dan uzman birisi gelmiş ve problemi çözmüş. Orada çalışan teknik ekipte, doktorasını yapan çok sevgili bir dostum var. Arkadaş gelince yurtdışından, "Bu problemi biz aylardır, yıllardır çözemiyoruz. Amerikalı bir uzman geldi, yarım gün ölçümler yaptı, ertesi gün analizlerini yaptı, bir hafta sonra da problemi çözdü" demiş. Arkadaşım, haberleşmeyle ilgili doktora yapıyor ve teorilerle

ilgili çalışıyor. Amerikalının yanına gidip, 'Beyefendi; ben, şu şu konularla ilgili çalışıyorum. Şu, şu, şu konu hakkında bilginiz nedir?' diye sormuş. Aldığı cevap çok ilginç; 'Ben bu konuları bilmiyorum. Ben, sadece ve sadece bu işi yapmaya geliyorum. Nedir o? Uçaklarla yer arasındaki haberleşmede olası parazitleri, olası çıkan sıkıntıları çözebilmek için analiz yapar, problemi bulur ve çözerim.' Bizde böyle mi, hayır. Bizde Süpermenler var; mekanik bilir, kontrol bilir, elektronik bilir ve daha da kötüsü, bildiğini de paylaşmaz. Çünkü zanneder ki, o, onu ihya edecek, onunla arşa ulaşacak.

Bir söz vardır; "Benim bir yumurtam var, sizin bir yumurtanız var; bu yumurtaları değiştirsek, elimizde birer yumurta olur. Ama ikimizde de bilgi var; siz bilginizi verdiniz, ben bilgimi verdim, herkeste ikişer bilgi olur." Bu her zaman böyledir. Paylaşma kültürü, yazma kültürü, aktarma kültürü olmadığı sürece, ne yazık ki bizim bu trenleri yakalama şansımız çok fazla yok.

Ben burada kritik olarak şunu ifade etmek istiyorum. Bazı konuşmacı ve katılımcılar, elektrik-elektroniğe dem vurdular haklı olarak. Burada kritik bir kelime var. Endüstri 4.0'ı incelediğimiz zaman, internette, Almanya'nın yaptığı yayınlara baktığımızda, 'challenging problems' dedikleri bazı başlıklar var. Bunlar dananın kuyruğunun kopacağı yerler. Bana göre, Türkiye seviyesinde ürkecek en büyük 'challenging' problemi 'interoperability' arkadaşlar. Nedir bu aslında; farklı farklı cihazların aynı sistem içerisinde entegrasyonunun sağlanması. Bu kavram şu an smart city'lerin altında ciddi olarak var. Avrupa'da şu an raylı ulaşım sistemlerini, uzmanları 'bunu nasıl yaparız'ı tartışıyorlar. Elektronik sistemlerde var. Farklı komponentler var, farklı sistemler var. Burada sektörden temsilciler de var. Ben mesela, 10 yıl sonra, 15 yıl sonra kontrol sisteminin markasının önemli olacağına inanmıyorum. Çünkü insanlar 10-15 yıl sonra kod yazmayacaklar, oturup da bir PLC kodu yazan insana garip bir gözle bakacaklar. Nasıl biz şu an bir BASIC'de kod yazanlara 'bunlar ne yapıyor?' diyorsak, şu anki C ve C Plus platformunda kod yazan insanlara 'bunlar ucube işlerle uğraşıyorlar' diye bakacak insanlar. Şu an bangır bangır 'model based code generation' geliyor. Bir anlamda, arada teknolojik olarak bazı komponentleri sistem otomatik olarak tüketiyor ve ona bağlı olarak da tasarıma yöneliyor.

3-4 yıl önce Almanya'da bir konferansa katılmıştım. Konferansta Mercedes'in teknik Ar-Ge bölümünün en tepesinden birisi vardı. Sunumunu yaparken, aynen şöyle demişti: "Ben elektrik mühendisi istemiyorum. Bizde çok var zaten, mekanikçi de çok var. Onlardan da istemiyorum. Benim system engineer'e ihtiyacım var. Problemi daha yukarıdan görebilen, analiz yapabilen, big data'dan gelen kavramları revize edebilen, interaction'ları kuran insanlara ihtiyacım var.' Niye? Çünkü diğerlerinden zaten çok var. Bu, şu demek değildir; Elektrik, elektronik, kontrol, şu bu bitti. Bunlar bitmedi, bunlar eskisinden daha da değerli; lakin bunları birbirlerine bağlayacak, sistemi yukarıdan görecek insanlara ihtiyaç var."

Türkiye'de, açık söylemek gerekirse, maden mühendisi yetiştiriyoruz; 1 yılda (mezun) verdiğimiz maden mühendisi sayısı tüm Avrupa'da (mezun) verilen maden mühendisi sayısından daha fazla. Yani sistem mühendisliği kavramı, biraz YTÜ'de, biraz İTÜ'de var ama onun ötesinde çok fazla veren yok.

Bunlar aslında bu devrimi, gerçek manadaki devrimi oluşturacak şeyler. Yaşar beyin de dediği gibi, aslında Endüstri 4.0'dan önce Education 4.0'ı konuşmak gerekir. Niye? Çünkü insan kaynağı olmadan, insanlar doğru noktada düşünemeden bu sistematiği yetiştiremeyiz. Biz teknoloji üretmek istiyorsak, açık söylemek gerekirse, ilk başta insanlarımızın bunu hayal edebilmesi, bunu düşünebilir noktaya gelmesi gerekir.

Bir kritik şey daha söylemem gerekiyor. Bu da benim şahsi kanaatimdir. Aslında bütün bu konuşmaların arkasında yatan ana sebep verimliliktir. Çin, bangır bangır geliyor. Avrupa bunu görüyor, Amerika bunu görüyor. Bundan 15 yıl sonra bu şartlarla rekabet edebilme şansımız yok. Ne yapacağız; verimliliği artıracağız. Verimliliği artırmanın bir yöntemi de 'reliability', 'availability', 'maintainability' kavramlarını ön plana çıkarmaktır. Kritik sektörler, -nükleer, raylı ulaşım gibi -bu kavramlar üzerinden işlevlendirilir. Bu kavramları şu an tüm sektörlere yayıyorlar. Ben 5 yıl önce 'safety chip' diye bir kavram bilmiyordum. Alanı sürekli kontrola alma şansımız yoktu, şu an var.

Bu platformları şu an her yerde kullanabiliyoruz, bunların analizleri yapılıyor. Bunun niçin analizleri yapılabiliyor? "Ben bu cihazı aldığım zaman, 5 ya da 10 yıl içerisinde buna ne kadar sürede bakım yapmam lazım?" Çünkü bunlar hem performansı, hem maliyeti etkileyen faktörler. Bunlarla beraber tasarım süreçleri geliştiriliyor ve inceleniyor.

Açık söylemek gerekirse, bunlara karşı hem akademik camiada, hem sanayi tarafında muazzam bir alâka var. Biz Türkiye'de bunların daha hâlâ farkında değiliz. Bizim için sadece, otomasyon dediğimizde PLC olarak algılanıyor; ama ne yazık ki bu kadar değil. Sizin aslında etrafınızda olan cihazların hepsinde olan gömülü teknolojilerin tamamı otomasyon. Bu kavramları, bu bilinci gençlerimize aktarmak, bu şekilde düşünmeyi öğretmek gerekiyor.

Aslında söylenecek çok şey var, ama yaklaşık 2 saattir herkes konuşuyor. Ben de akademisyen kimliğimle derslerde coşturup da arkasından sürekli konuşan insan olmak istemiyorum. Lakin şunu söylemek istiyorum: Bir şeyleri evriltmek istiyorsak ülkemizde, bunun ana lokomotifi her zaman insandır. İnsan doğru biçimde şekillendirilemezse, hiçbir şeyi istediğimiz noktaya taşıma şansımız yok. Bu gidişatı şu an hepimiz çok net olarak görüyoruz. Bu gördüğümüzü, fark ettiğimizi, mutlaka eğitim sistemimize adapte etmeli, daha çocukluktan bu şekilde geliştirmeyi öğrenmeli ve buna entegre etmeliyiz. Ben başka alternatif göremiyorum. Yoksa açık söylemek gerekirse, şu an gelişmekte olan ülke sınıfından, G20 grubundan daha alt gruplara düşmek kaçınılmaz.

Prof. Dr. Galip Cansever- Teşekkür ederiz Özgür bey.

Özgür beye sorularınız var mı?

Buyurun.

Salondan- Ben 10 senelik elektrik mühendisiyim, 4.0 konusunu ilk defa burada duydum. Etrafıma baktığım zaman, burada oturanlar genelde öğrenciler, piyasada iş yapan mühendislerden oluşuyor. Sizin yazılı olarak bir metniniz var mı hükümete sunacak? 'Bizim ileride karşılaşabileceğimiz böyle bir problemimiz var ve biz bunu bu şekilde çözebiliriz.' Ben bunun üniversitelerden ve mühendislerden çıkacağını düşünmüyorum. Eksik olan şey, bizim yazılım yapabilen, ürün geliştirebilen bir ekibe, 'engineer'lara ihtiyacımız var. Belki teknik liselerden itibaren yetiştirilip, üniversitelere de yetenek sınavlarıyla alınabilen bir eğitim sisteminin sonucunda ortaya çıkan bilgi temelli bir çözüm olmalı. Sizin bununla ilgili yazılı bir çözümünüz var mıdır?

Yrd. Doç Dr. Özgür Tunay Kaymakçı- Bir defa, şunu düzelteyim hemen. Bizim sadece yazılımcıya ihtiyacımız yok. En büyük hata bu zaten. Yazılım en kolay şey. Bakın, ben zamanında, Almanya'da doktoram bittikten sonra, bir profesörle görüşmeye gittim. Karşısında oturdum, bildiklerimi sordu, ben anlattım. 'Şunda şu kadar kod yazdım, şu kadar zamandır mühendislik yaptım' diye çünkü piyasada da bazı tecrübelerim olmuştu. Baktı, baktı, baktı, aynen bana şunu söyledi: 'Ben bunu istemiyorum, ben 'coder' istiyorum. Siz kafanıza göre kod yazıyorsunuz. Senin yazdığın kod benim işime yaramaz.' Arkasından şunu ekledi: 'Bizim problemimizde, kod yazmak, işin sadece yüzde 10'udur ve en kolay kısmıdır. Ben, kod yazacak adamı çok kolay bulurum. Asıl ne yazacağımı söyleyecek adama ihtiyacım var.'

Başka bir şey daha söyleyeyim. Google'ın kurucularının yazılımcı olduğunu zannediyoruz. Alakası bile yok; Yandex'ten transferdir ve matematikçidir. O konuda da tüm aritmetiğinin arkasında yatan matematik dehasıdır. Biz hep şey olarak algılıyoruz, teknolojinin bize bakan tarafı oradaki ekran, ekranın bize bakan tarafı yazılım. Alakası bile yok. Yazılım, sadece o süreçleri bir sonuca dönüştürme aracıdır; ama süreçler tanımlı olmadığı sürece, ortaya çıkan genellikle bir çöplük oluyor.

Bakın, açık söyleyeyim; ben Türkiye'de çok büyük proje gördüm, devlet destekli büyük proje gördüm, bir kısmının da içerisinde oldum, bir kısmının araştırmacı olarak içinde oldum, bir kısmının hakem olarak içinde oluyorum şu an. Orada çalışan arkadaşlarım var. Örneğin ASELSAN'da, TAİ'de

TÜBİTAK'ta. Orta yaşa geldik. Benim yaş gruplarımda müdürlük artık çok standart bir şey; yani müdür olunuyor, tamam. CEO olursak tebrik ediyoruz falan. Şunu demek istiyorum: Bir tane adam gibi büyük proje görmedim. Açık söyleyeyim, net olarak. Burada hocalarım var, sanayici abilerimiz, büyüklerimiz var. Ufak projede süper gidiyoruz. Ufak otomasyon işini, inanın, bizim Türkler kadar iyi bilenini çok az gördüm; ama büyük proje yok. Altında çöküyoruz, bildiğiniz çöküyoruz. Niye çöküyoruz? Sistematik iş yapmıyoruz, dokümante edilmiyor, ne istediğimizi yazmayı bile bilmiyoruz. Temel sıkıntı bu. Yazmaktan kastım bu. İnsanlar doküman üretiyorlar, insanlar sistem üretiyorlar. O sistemi realize eden, 'coding'e bakan kısmı yazılımcı.

Bir yazılım şöyle yazılmaz arkadaşlar. Öğrenci arkadaşlara hitaben söylüyorum. Problemi biri size söyler, söylediği problemi siz hemen geçer bilgisayarda kaydedersiniz. Bunu Türkler yapıyor. Bir de Hindular var biliyorsunuz Hindistan'da. Masayı koymuşlar yolun kenarına, gidiyorsunuz, problemi tanımlıyorsunuz, '1 saat sonra gel' diyor, sana istediğin şeyin kodunu veriyor. Bir de onlar yapıyor. Bunu niçin söylüyorum? Bunu dokümante etmek, sistematiğini oluşturmak, bakım-onarım prosedürlerini çıkartmak, çuvalla iş var. Yazılım en basit kısmı. Tasarımı daha yapmadan, direkt yazılıma dalmaya çalışıyoruz. Sonra ne çıkıyor; 1'e 10 prensibi çıkıyor. Nedir? Hatayı yakaladığınız yere karşı 10 kat ceza geliyor size.

Burada önemli olan şey, büyük resmi görüp, resmin içerisinde iş yapabilen ufak çarklar yetiştirebilmek. Benim Eğitim 4.0'dan kastettiğim ve bu ülkede olması gereken şey bu; ufak çarklar. Çünkü ufak çarklar büyük makinelere iş yaptırtıyor. O yüzden, yazılımı lütfen düşünmeyin. Yazılım, işin bir ayağıdır. Sistem mühendisliği var, kontrol var. Açık söyleyeyim, kontrol çok kritik bir daldır. Biz üniversitede eğitimini vermeye çalışıyoruz. Öğrenci arkadaşlarımızın çoğu şununla algılıyor kontrolü; PID (Proportional-Integral-Derivative) bitti, nokta. Aslında bu, işin daha başlangıç aşaması. Adam, uzaya füze atıyor PID atmıyor. Çok ciddi challenger problemler var ve bunlara kafa yoracak nesiller yetiştirmemiz ve bu sistematiği oluşturmamız lazım. Ama bir kez daha söylüyorum: Benimle olmaz, seninle de olmaz; hepimizle beraber olur, ülkeyle beraber olur, beraber iş yaparak olur, yani büyük projeler çıkar. 4.0 da böyle çıkar, 5.0 da böyle çıkar.

Söylenecek çok şey var 4.0'la ilgili; ama ben eğitim tarafında olduğum için, eğitim tarafından konuşmak istedim. Siz öğrenci arkadaşların burada olması o açıdan çok çok güzel. Diğer tarafı, hükümetle ilgili olan kısmı… Tabii, yaşımız itibarıyla, konumumuz itibarıyla o konuda çok fazla söz sahibi insanlar değiliz. Bizden daha kıdemli hocalarımız var, sektör liderleri var. Bunların doğru şekilde dillendirildiğini düşünüyorum ama aksiyona geçmek çok kolay bir şey değil. Almanya 2013 falan deniliyor. Bu dokümante edildiği zaman 2012, 2013'tür. Bunu düşünmeye çok önceden başlamışlardır. Aynen uluslararası standartlar gibi. Bir standart sunulmadan önce, 5-6 yıl önce zaten onun sistematiğini geliştiriyorlar. 4.0 da öyle bir şey. Bunu büyük ihtimalle geliştirdiler, tabana yayacak bir politikaları var, bir sistematik var, sonra deklare ediyorlar. 'Hadi, siz buna uyun' şeklinde gidiyor. Bizim bu noktadan hareket etmemiz lazım. O sistematiğin içerisinde olmalı, ondan sonra ona evet diyecek noktaya gelmeliyiz. Bu da ancak sizin gibi genç arkadaşların bu sistematiğin içerisinde ufak çark olduğunu bilerek ve çevirmeye çalışarak olur.

Teşekkür ederim.

Prof. Dr. Galip Cansever- Özgür beye teşekkür ediyoruz.

Değerli katılımcılar; Elektrik ve Kontrol Mühendisliği Sempozyumuna katıldığınız için hepinize teşekkür ederim.

YABANCI ÇAĞRILI OTURUM

Oturum Yöneticisi: Prof. Dr. Galip Cansever (YTÜ)

Prof. Dr. Galip Cansever- Herkese iyi günler...

Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Odası tarafından düzenlenen Elektrik ve Kontrol Mühendisliği Sempozyumuna hoş geldiniz...

Bugün bu oturumda dört konuşmacımız var. İlk konuşmacımız Paul Cave, BICSI Avrupa Standart Komitesi Başkanı, yeni binalarda yapısal kablolama sistemleri tasarımı üzerine konuşacak.

Paul Cave(BICSI Avrupa Standart Komitesi Başkanı, İngiltere)- Herkese iyi günler

Geleceğin binaları hakkında konuşmak istiyorum. Aslında artık gelecekten söz etmiyoruz. Bugün ele alacağımız teknolojilerin bazıları zaten kullanılmaya başlandı.

Bir kablonun ucunda ne olduğu hakkında konuşmak istiyorum. Burada masaüstü bilgisayarlar, yazıcılar gibi cihazlar görüyoruz. Ama CCTV ve erişim denetimi cihazları gibi IP desteği sunan teknolojilerin hızla yayıldığını görüyoruz. Bunlar hızla BT ortamının bir parçası haline geliyor.

Aynı zamanda tabletler, dizüstü bilgisayar, akıllı telefonlar gibi kablosuz teknolojileri de görüyoruz.

Aslında burada Şeylerin İnternet'inden söz ediyoruz. Bunun bir parçası olarak Philips'in İnternet üzerinde erişilebilen bağlantılı aydınlatma sistemi gibi teknolojiler de görmeye başladık. Bağlantılı çamaşır makinaları bile piyasaya sürülmeye başlandı. Çamaşır makinasını ayarlayıp, sonra işe gidebiliyorsunuz. Tüm bunlar, kablo üzerinden bağlanılan ve IP desteği sunan cihazlar sayesinde gerçekleşiyor.

Bunlara ek olarak, depolama ve sunucu birimleri, bulut ve Internet gibi başka bağlantılar da var.

Bir kabloya başka neler bağlıdır? Geleneksel Yerel Alan Ağları'nın (LAN) yerini Bina Hizmet Ağları'nın almaya başladığını görüyoruz. Geleneksel Kurumsal Yerel Alan Ağları, masaüstü bilgisayar kullanıcılarını meslektaşlarına, iş araçlarına ve dış dünyaya bağlamak için tasarlandı. Bunların temelindeki yaklaşım ise markaya odaklanma idi. Her şey bir yana, birçok konuda marka belirleyiciydi. Özellikle de tasarım ve satın alma konularında. Müşteriler markalarla ilişki kurup, onlara güveniyordu. Bunun sonucunda da değişime karşı korku devreye giriyordu.

Teknolojilerin birleşmesi ve kullanıcıların giderek daha yaygın şekilde kablosuz bağlanıyor olmaları durumu değiştiriyor. Artık sahneye çıkmaya başlayan Bina Hizmet Ağları, karmaşık olmayan ve hesaplı bir şekilde, geniş bir yelpazedeki cihazları birbirine bağlamak için bir yol sunuyor.

Peki bir Bina Hizmet Ağı'nın tasarımının ve satın alım kararının temelinde ne vardır? Önceliklerin biri maliyettir. Fiyat önemlidir. Bağlantı noktası yapılandırması da önemlidir; bakır ya da elyaf olabilir.

Performans da başka bir önceliktir. CCTV sistemleri yüksek bir bant genişliği gerektirebilir, ama Bina Hizmet sistemlerinde çoğu cihaz daha düşük bant genişliğine ihtiyaç duyar.

Ethernet Üzerinden Besleme (PoE) olabileceği her yerde kullanılmalıdır. Garanti süresi ve ürün değiştirme hizmetleri de önemlidir. Güvenilirlik de öyle.

Marka konusuna gelince; BT yöneticileri hala tercih ettikleri markaları satın alma eğilimde olsa da, artık bu konu eskisi kadar önem taşımıyor. Kullanıcılar doğru fiyata güvenilir işlevselliği elde etmek için artık marka satın almak zorunda değiller. Dolayısıyla kayda değer bir şekilde büyümekte olan yeni iş fırsatları görüyoruz.

İlk dönemlerdeki entegrasyona baktığımızda, Ethernet ağları bakır kablolar üzerinden oluşturuluyordu. Kabloların yapılandırması, yıldız topolojisine göre yapılıyordu. Mevcut kullanımlarda kablolar, bakır ve elyaf, bina altyapısının bir parçası durumunda ve genellikle ses ile veri ile kısıtlı durumda. Ama bu durum hızla değişmeye başlıyor.

Piyasada yeni bir standart var: EN 50173-6. Genel kablolama sistemlerine dair bu standardın 6.ncı kısmı, dağıtık bina hizmetleriyle ilgili. ISO/IEC aynı zamanda ISO 11801-6 taslağı üzerinde çalışıyor.

Mevcut cihazların çeşitliliği nedeniyle genel, yeni bir standarda geçişe ihtiyaç var. Bu cihazlar telekomünikasyondan enerji yönetimine, ortam denetiminden kişisel yönetime, kişisel bilgilere ve alarmlara kadar değişik alanlarda yer alabiliyor. Bunların hepsi de IP desteği olan sistemler.

Telekomünikasyon alanında kablosuz erişim noktalarını; enerji yönetimi alanında aydınlatma, güç dağıtımı, kullanılan kamu hizmetlerinin ölçülmesi; ortam denetimi alanında ise sıcaklık ve nem denetimi cihazlarını sayabiliriz. Kişisel yönetim alanında erişim kontrolü cihazlarını, kameraları, pasif kızılötesi (PRI) dedektörlerini, zaman ve devam takibi, elektronik imza ile işitsel-görsel (AV) projeksiyon cihazlarını sayabiliriz.

Kişisel bilgiler ve alarmlar alanında ise çağrı sistemi, hasta takibi, hemşire çağırma ve bebek güvenliği cihazlarını sayabiliriz.

Bu sistemlerde dağıtım ise dengeli bakır kablo ile optik elyaf kablolar üzerinden yapılır. İlgili sınıflar hakkında daha çok bilgi EN 50173-2'de yer almaktadır.

İki farkı uygulama türü mevcuttur. Birincisinde servis çıkış noktasına genel kablolama yapılır, ikincisinde ise servis toplanma noktasına genel kablolama yapılır. Bu iki nokta arasında uygulamalara özel kablolar yer alır. Servis toplanma noktasına ise uygulamalara özel cihazlar bağlanır.

Kablosuz erişim noktaları zaten ilk başta yapılan kablolamaya dahil edilmiştir.

Bu altyapı sayesinde kablolama altyapının gerçekten bir parçası haline gelebiliyor ve elektrik, su, gaz gibi hizmetlerle entegre edilerek, dağıtık bina hizmetleri sunulmasını sağlıyor.

Prof. Dr. Galip Cansever- Şimdi sözü Dr. Andreas Luxa'ya bırakıyoruz. Buyrun Sayın Luxa.

Dr. Andreas Luxa(T&D Europe-Endüstri Politikalarından Sorumlu Başkan Yardımcısı)- 2008 yılında kurulan ve ülke çapında Avrupa'daki tüm örgütleri temsil eden T&D Avrupa, elektrik iletim ve dağıtım cihazları ile hizmetleri sektöründeki Avrupa'daki ilk örgütlenme. Amacı, Avrupa'daki elektrik iletim ve dağıtım imalatı ile ürün türevleri ve çözümleri endüstrisinin ortak teknik, ekonomik, çevresel ve siyasi çıkarlarını korumak. Bugün T&D Avrupa'nın temsil ettiği şirketlerin toplam çalışan sayısı 200 bini geçiyor, toplam üretimleri de 25 milyar euronun üzerinde.

T&D Avrupa, elektrik iletim ve dağıtım alanında, üretici ile son kullanıcılar arasında elektriği yüksek ve orta voltajda iletmek ve dağıtmak için gerekli tüm ürünleri ve hizmetleri sunuyor.

Günümüzde enerji sisteminin önündeki ana zorluklar arasında, ekonomik verimlilik, güvenilir güç tedariki, iklimin korunması ve kaynakların etkinliği yer alıyor. Dünya Ekonomik Forum'unun da belirttiği üzere, son yüzyılda hesaplı enerji, küresel ekonomik büyümenin ve gelişmenin önemli bir bileşeni durumunda. Birleşmiş Milletler Vakfı'nın ifade ettiği gibi, verimsiz, eski enerji tedarik sistemleri, üretkenliğin önünü kesiyor. The Guardian'ın bir haberinde değindiği şekilde, iklimin korunması alanında Avrupa'nın hedefi, 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını yüzde 40 azaltmak ve enerjisinin yüzde 27'sini yenilenebilir kaynaklardan elde eder hale gelmek. Kaynakların etkinliği konusunda Power Engineering International şirketinden Kelvin Ross'un ifade ettiğini de sizlere aktarmak istiyorum: "Desantralize enerji üretimi gerçekleştirmek için elektrik şebekesinde değişiklikler yapılması gerekecek. Esnekliği sağlamak için de, enerji sektörünün daha akıllı ve bilgisayarlar tarafından kontrol edilir hale gelmesi gerekecek.

Günümüzde güç talebindeki artış, iletim ve dağıtım alanına yatırım yapılmasını sağlıyor.

Dünyada TW cinsinden güç üretimi için 2013 yılında kurulu kapasite 6.3 TW idi. Yeni kurulan kapasiteye baktığımızda, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve dağıtık enerji üretiminin ortalamanın üzerinde büyüdüğünü görüyoruz. Elektrik iletim ve dağıtım pazarının ana itici gücü bunlardır.

Yenilenebilir enerji kapasitesindeki artışa baktığımızdaysa, öne çıkan alanların rüzgar enerjisi ile jeotermal/biyokütle olduğunu görüyoruz.

Yenilenebilir ve dağıtık enerji üretiminin payının artması, enerji sektöründe uçtan-uca enerki yönetimine duyulan ihtiyacı giderek daha fazla vurguluyor.

Gelişmekte olan ekonomilerde elektrifikasyon seviyeleri giderek daha çok gelişiyor. Bir çok bölgede elektrilk şebekelerinin modernize edilmesi ihtiyacı mevcut.Yenilenebilir ve dağıtık enerji üretimi arttıkça, elektrik şebekesindeki istikrar sıkıntıları öne çıkıyor, bu çözüm gerektiren bir konu.

AB Komisyonu'nun iklimin korunması alanındaki eylem planı uyarınca 2030 yılına kadar hedeflenenler, sera gazı emisyonlarını en az yüzde 40 azaltmış olmak, Avrupa enerjisinin en az yüzde 27'sini yenilenebilir kaynaklardan elde ederr hale gelmek, enerji verimliliğini en az yüzde 27 artırmak, elektrik bağlantılarını da en az yüzde 10 artırmak (bu hedefin 2020 yılında yüzde 15'e artırılmış olması mümkün). AB liderleri 2014 Ekim ayında bu çerçeve üzerinde anlaştı.

Bu bağlamda beş eylem alanı saptandı: Enerji güvenliği, dayanışması ve güveni inşa etmek; enerji alanında tam olarak entegre bir dahili pazar oluşturmak; enerji verimliliğini artırmaya odaklanmak; ekonominin karbondan arındırılması için çalışmak; son olarak da araştırma, yenilik ve rekabetçiliği artırma konularına önem vermek.

Küresel ısınmaya karşı alınması gereken önlemler arasında ekonominin karbondan arındırılması için çalışmak ta öncelikler arasında yer alıyor. Aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ve depolamasının geliştirilmesi, bunun için altyapının ve ilgili teknolojilerin ilerletilmesi gerekiyor.

Uçtan-uca enerji yönetiminin geliştirilmesi bağlamında bir diğer önemli konuda, deniz üzerinde gerçekleştirilen enerji üretimi için bağlantılı şebekeler oluşturulması; karadaki tesisler arasında da Akıllı Şebekeler oluşturulması. Avrupa Akıllı Şebeke Girişimi bu alanda çalışmaya devam ediyor.

Desantralize bir enerji dünyasında bizi fırsatların yanı sıra, zorluklar da bekliyor. Şebeke üzerinde desantralize enerji akışının optimizasyonunu sağlamak, talepteki zirve noktaları başka zamanlara kaydırmak ve şebekenin dayanıklılığını sağlamak gerekecek.

Önümüzdeki yıllarda, güç üretiminde şu anda hakim olan 'güç üretimi elektrik talebindeki yük değişimlerine göre yapılır' yaklaşımı yerine 'elektrik talebindeki yük değişimleri, güç üretimine göre gerçekleşir' yaklaşımı geçerli olacak.

Almanya'daki Enerji Geçişi (Energiewende) kapsamında öne çıkan ihtiyaçlardan biri de yeni güç hatlarının inşa edilmesi. Örneğin rüzgar enerjisinin sunduğu bir zorluğu ele alalım: Almanya'nın kuzeyinde üretilen elektrik, güneydeki Bavarya bölgesine ulaşmak için, bin kilometreyi nasıl kat

edecek? Buradaki sorun, elektrik üretimindeki değişkenlik ve mesafenin çok büyük olması.

Fotovoltaik enerji üretiminde de benzer bir sorun var karşımızda: Girdisi yapılan enerjinin değişken olmasına karşın, istikrarlı bir enerji tedariği nasıl sağlanacak?

Deniz üzerindeki rüzgar enerjisi üretim tesislerinin ana karadaki dağıtım şebekesine verimli bir şekilde bağlanmasında HVAC ve HVDC çözümleri öne çıkıyor. Üretim ile tüketim alanları arasında uzun mesafelerin var olması, üst-katman bir şebeke üzerinden büyük ölçekli ara bağlantılar kurulmasını gerektiriyor. Aynı zamanda yerel şebekelere ve bunlar bağlı olacak bina/kampüs şebekelerine odaklanma ihtiyacı da ortaya çıkıyor. Bu bağlamda enerji depolama, yaşamsal öneme sahip bir teknoloji hale gelecek.

Şebekelerin istikrarlı hale getirilmesinde dağıtık enerji sistemlerinin geliştirilmesi büyük önem taşıyor. Bu kapsamda desantralize enerji üreticilerinin şebekeye yapacakları değişken enerji girdilerinin kontrol edilmesi gerekiyor. Şebekelerin giderek daha karmaşıklaşması, istikrarsızlık riskini artırdığı için, burada yeni çözümlere ihtiyaç duyuluyor. Bu çözümlerin sunduğu işlevlerin de artması gerecek.

Pil ile depolama çözümleri, yenilenebilir kaynaklardan şebekeye değişken enerji girdisinin artması karşısında yenilikçi bir çözüm olarak karşımızda duruyor. Bu çözümler enerji üretimi ve tüketimi arasında bir denge sağlayabilir, şebekeyi istikrarlı hale getirebilir, geleneksel jeneratörlere kıyasla çok daha çabuk yanıt verebilir ve bağımsız mikro şebekelerin çalışmasına imkan tanıyabilir.

Pil ile depolama çözümleri enerji rezervleri oluşturma açısından da çözüm sunabilir, böylece düşük rüzgar hızı veya az güneş dönemlerini dengeleyebilirler.

Bu tür çözümler, elektrik idarelerinden şebeke operatörlerine, endüstriden altyapıya kadar geniş bir yelpazede kullanılabilir. Hassas endüstriyel süreçler için sürekli güç sağlamakta, binaların enerji açısından verimli olmasını sağlamakta, sınırlı güç erişimi olan uzak sahalar için enerji çözümleri sunmada, kamusal taşımacılık ve elektromobilite alanlarında çözümler sağlamada yardımcı olabilirler.

Enerji yönetimini geliştirme bağlamında, tam entegre mikro şebekelerin tüm şebeke işlevlerine sahip olmaları, modüler olmaları, yani esnek ve ölçeklenebilir bir yapıya sahip olmaları gerekiyor. Bu şebekelerin yine gerçek zamanlı optimizasyon yapabilmeleri, her tür senaryoda güvenilir şebeke işletimi sağlayabilmeleri gerekiyor. Bu şebekerin transformatör alt istasyonlarının da akıllı olması gerekiyor. Bu sayede arıza yerlerinin daha hızlı saptanması, sistemin kapalı olduğu sürelerin ve kayıpların en aza indirilmesi, dağıtık enerji kaynaklarının yönetilmesi imkanlı hale geliyor. Bu tür akıllı şebekelerin iyi tasarlanması, yerel olaral üretilen enerjinin elektrik piyasalarına entegre edilmesini sağlamak için de önemli.

EVE KADAR FİBER UYGULAMALARINDA ORTAK KABLOLAMA PLATFORMU (FTTH)

Marc Van Heck

PM segment lead In-Building Fiber

DÜNYA APINDA FTTH SEVKLERİ

Tedarikçi	Ev Sayısı	Bağlantı Oranı
Verizon	18,000K	34%
KT	8,750K	38%
China carriers	8,500K	40%
Telefonica	10,000K	13%
Orange Fr.	2,500K	16%
Mobily	2,000K	27%
Reggefiber	2,000K	90%
JazzTel	1,600K	<5%
Telmex	1,200K	26%
CenturyLink	1,200K	30%
Danish Energy	1,000K	20%
AT&T	300K	30%
DT	200K	10%
BT	100K	10%
NBN	65K	20%
Chorus	60K	<5%

Asia: 100M hc !!!

MDU ÇÖZÜMLERİ
Marc Van Heck
PM segment lead EMEA

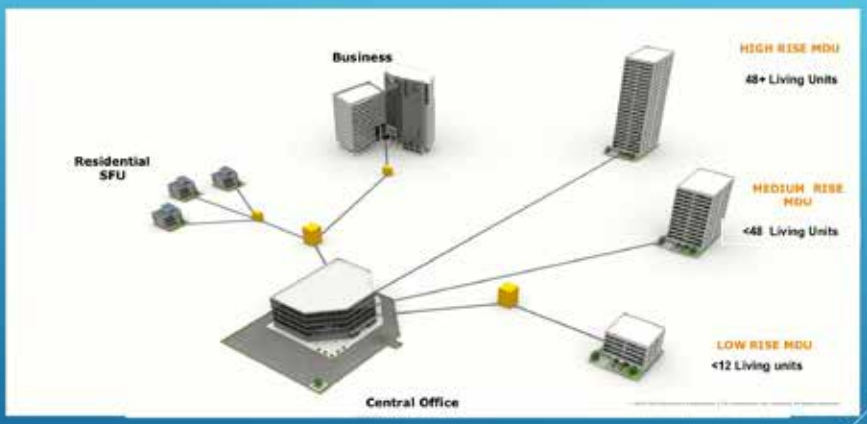
MDU'LARA GENEL BAKIŞ
Çoklu Mesken Birimleri (MDU), iki veya daha fazla yaşam biriminden oluşan binalardır.
Dünya çapındaki barınma birimlerinin yüzde 35'ten fazlası apartman binalarıdır.
Avrupa'da yaşayan insanların yüzde 50'si ve daha büyük Avrupa şehirlerindeki insanların yüzde 70'den fazlası MDU'larda yaşar.
Yoğun yerleşim alanlarındaki binaların çoğunluğu üç ila sekiz katlı binalardır.
Avrupa, Ortadoğu ve Afrika bölgesindeki ortalama MDU'lar her katta 6 dairesi olan 8 katlı binalardır.
MDU türlerini üç grupta ele alabiliriz:
Alçak binalar: 4ten az katta yer alan 12den az yaşam birimi
Orta yükseklikte binalar: 4 ila 8 katta 12 ile 48 arasında yaşam birimi
Yüksek binalar: 10dan fazla katta yer alan 48den fazla yaşam birimi

MDU UYGULAMALARINDAKİ TİPİK ZORLUKLAR

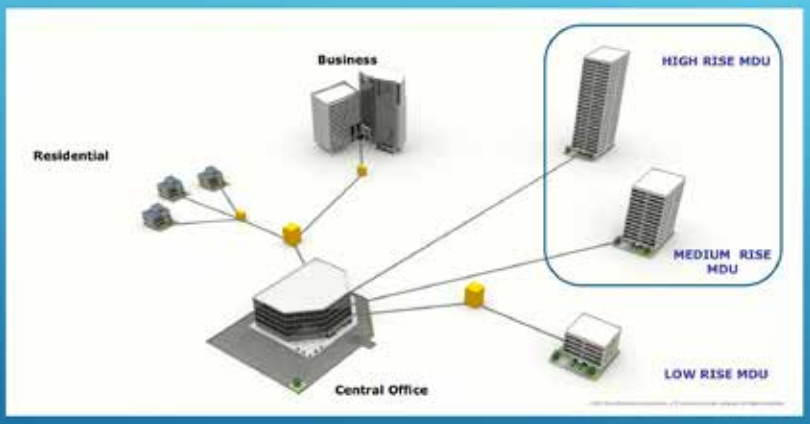
- Bina sahipleri ve sakinleri, günlük yaşamlarının olabildiğince az engellenmesini ve kurulumların olabildiğince çabuk gerçekleştirilmesini ister.
- Her MDU farklıdır ve yerel binanın gereksinimlerine uyarlama için kayda değer ölçüde esneklik gerektirir.
- Bir bina sahibinin eve kadar fiber uygulaması gerçekleştirmeye karar vermesi ile eve kadar fiber altyapısının kurulması arasında çok kısa bir zaman vardır.
- Altyapıları oluşturmakla görevli kurulum ekipleri genellikle farklı beceri seviyelerine sahiptir.
- Her bir yaşam birimine giden fiber yönlendirme yolları genellikle karmaşıktır.
  - Kullanılabilir borular ve/veya mikro kanallar genellikle küçük ve sıkışıktır.
  - Aynı binada birden fazla operatör hizmet sunuyor olabilir.
  - Her şeyin gelecekte de işe yarar olmasını planlamak gerekir.

GERÇEKLİK

MDU MİMARİLERİ VE UYGULAMALARI
MDU YAPILARININ TİPİ VE ÇEŞİTLERİ



ORTA VE YÜKSEK MDU'LAR



ORTA YÜKSEKLİKTE/YÜKSEK BİNALARA BAKIŞ VE ZORLUKLAR

- Yüksek binalar: 10'dan fazla katta yer alan 48den fazla yaşam birimi
- Orta yükseklikte binalar: 4 ila 8 katta 12 ile 48 arasında yaşam birimi
- Bu tür binalara özgü zorluklar ve dikkate alınması gereken noktalar şunlardır:
- Binalarda genellikle ticari müşteriler için karma hizmetler gerekir.
- Dikey olarak uzun yollar gerekir.
- İhtiyaç duyulan fiber ürün sayısı yüksektir.

ORTA VE YÜKSEK BİNALARDA ÇÖZÜMLER

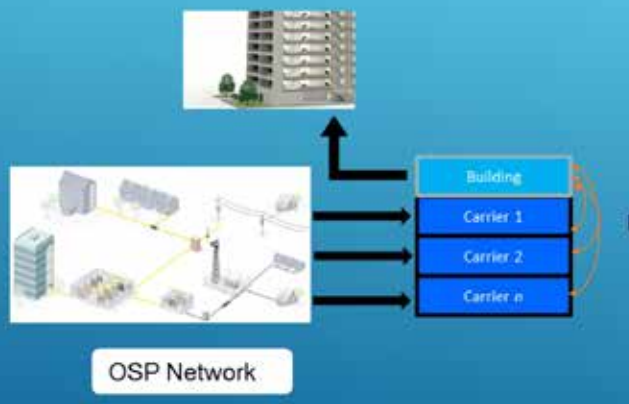
ORTA VE YÜKSEK BAĞLANTILI ÇÖZÜMLERİ
Duvar Soketleri
Çoklu Operatör Kutusu
Döşeme Kutuları
Bina Dağıtım Kutuları

ORTA VE YÜKSEK TAK ÇALIŞTIR ÇÖZÜMLERİ
Duvar Soketieri
Çoklu Operatör Kutusu
Döşeme Kutuları
Bina Dağıtım Kutuları

ORTA VE YÜKSEK KONEKTÖRLÜ TAK ÇALIŞTIR ÇÖZÜMLERİ
Yatay Kablolar
Katlar Arası Kablolar

TAKILMASI KOLAY
KATLAR ARASI KABLOLAR

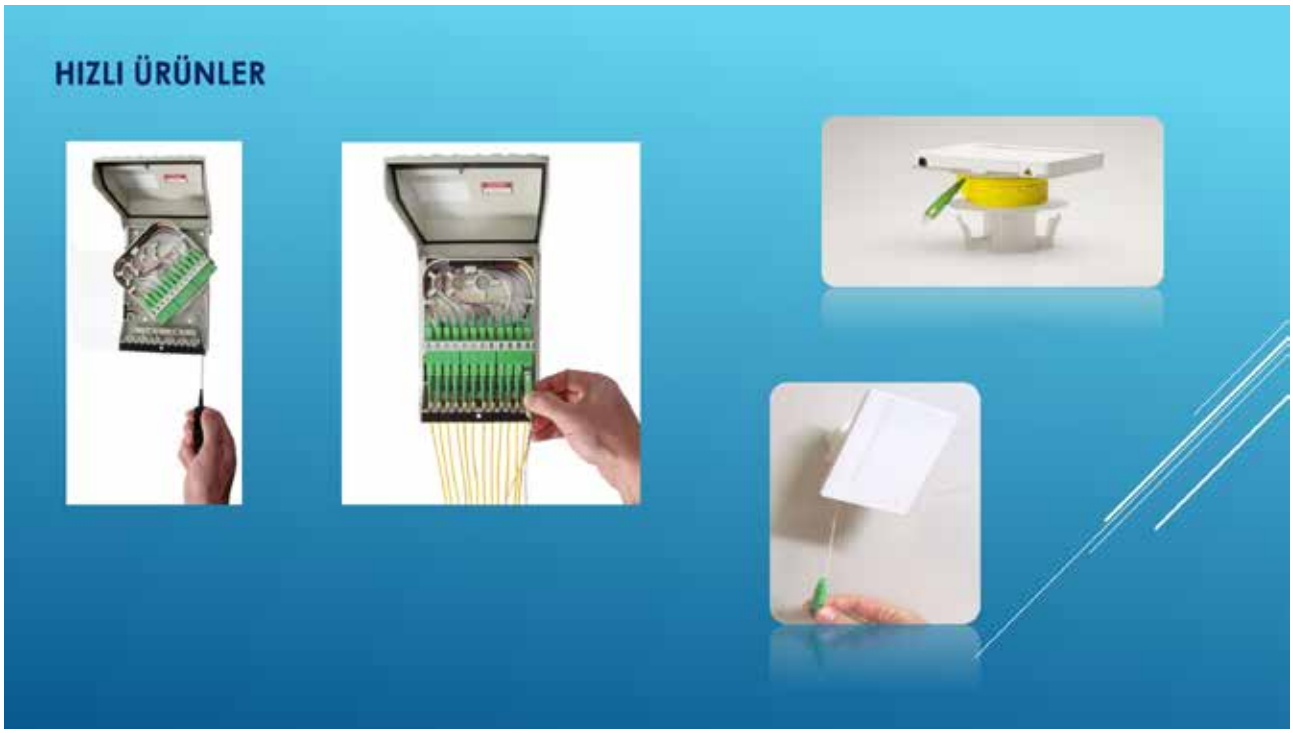
BİRDEN FAZLA OPERATÖR SÖZ KONUSU OLDUĞUNDA TOPOLOJİ



- Birden çok telekomünikasyon operatörünün paylaşımlı müşteri fiberleri (paylaşımlı dikey hat) üzerinde hizmet sunmasına imkan verir.
- Her bir operatöre ayrılmış özel bir operatör kutusu vardır. Operatörün kablosu bir operatör kutusunda son bulur, dikey hat ise bir müşteri kutusunda son bulur. Hizmet, operatör kutusu/kutuları ile müşteri kutusu arasında bir PtP çapraz bağlantı ile sağlanabilir.
- Bina içi çalışmaların bir kez yapılması yeterlidir.

ÇOKLU OPERATÖR ÜRÜN ÖRNEKLERİ

TAK – ÇALIŞTIR ÜRÜNLERİ


HIZLI ÜRÜNLER

KONEKTÖRLÜ ÜRÜNLER

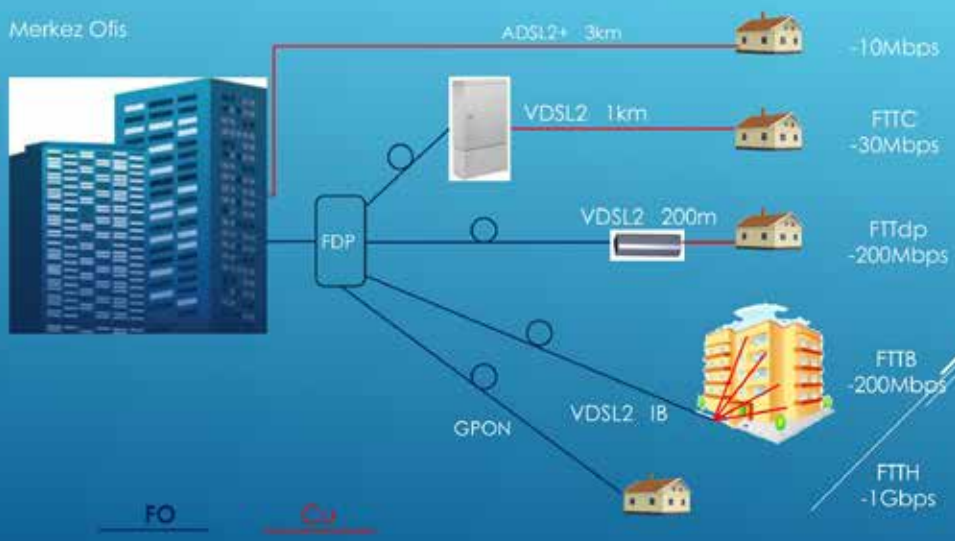
SARILI TİP KABLO YALITIMLARI

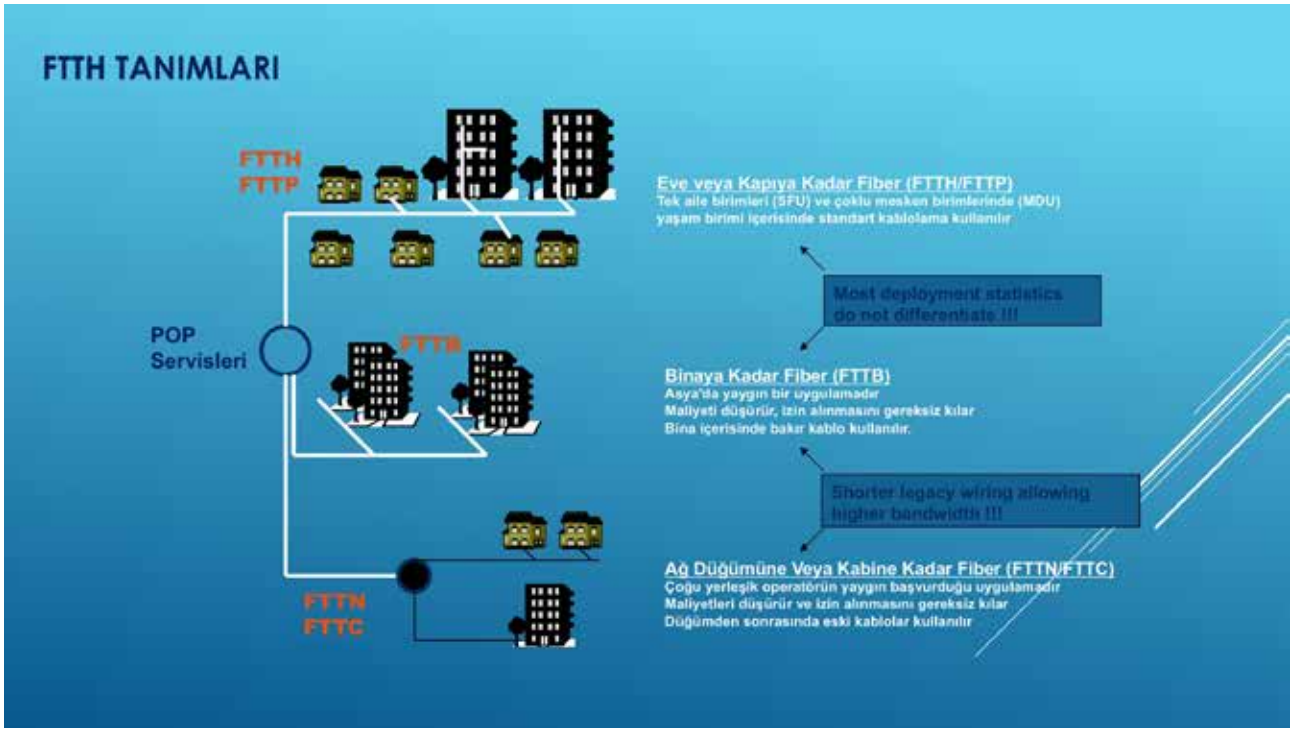
TEKNOLOJİ ÖZETİ

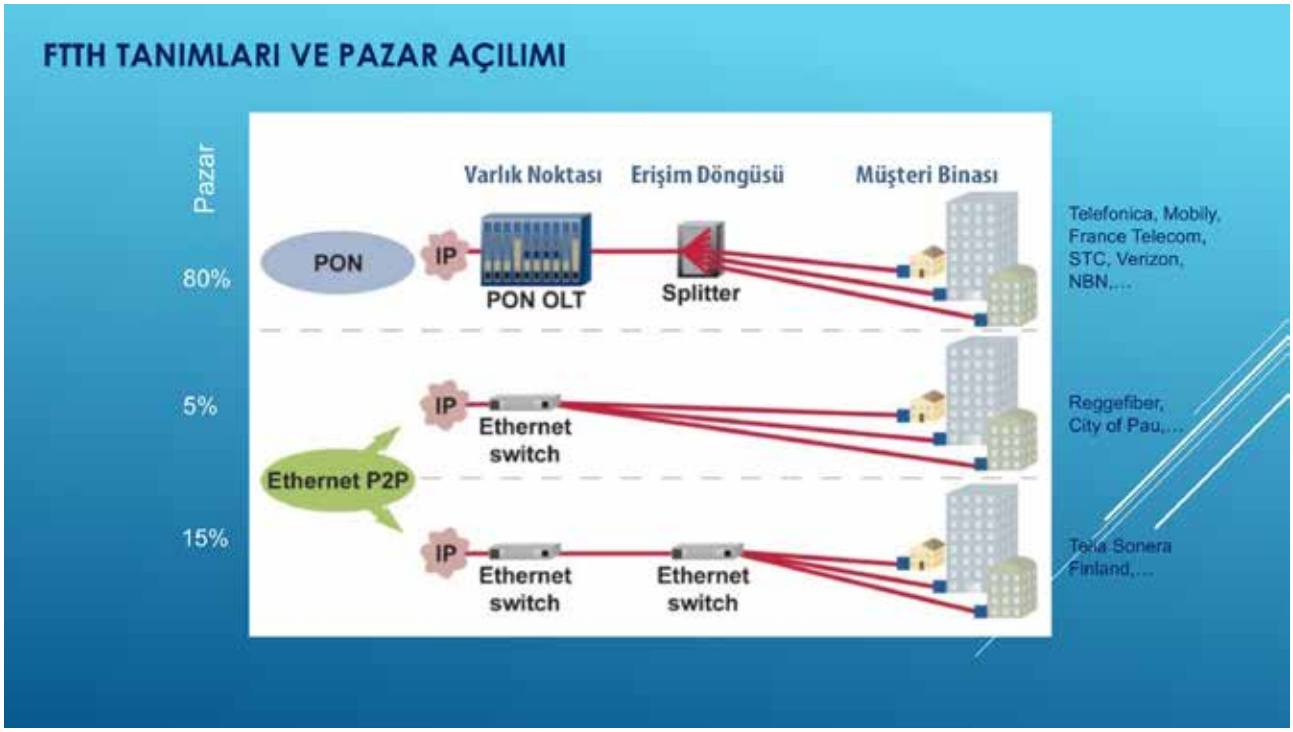
Marc Van Heck

PM segment lead EMEA

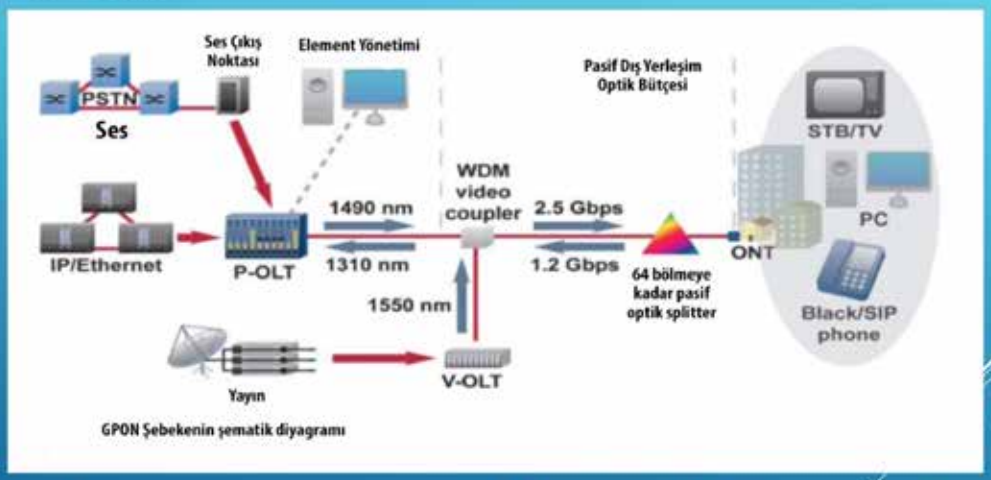
GENİŞ BANT SEÇENEKLERİ



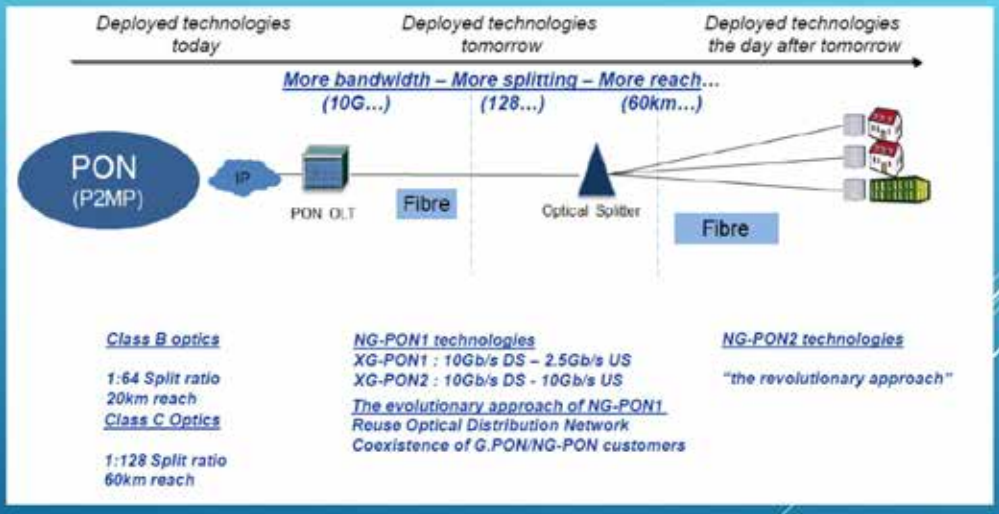

FTTH TANIMLARI
FTTH
FTTP
POP
Servisleri
FTTB
FTTN
FTTC
Eve veya Kapıya Kadar Fiber (FTTH/FTTP)
Tek aile birimleri (SFU) ve çoklu mesken birimlerinde (MDU)
yaşam birimi içerisinde standart kablolama kullanılır
Most deployment statistics
do not differenbiate !!!
Binaya Kadar Fiber (FTTB)
Asya'da yaygın bir uygulamadır
Maliyeti düşürür, izin alınmasını gereksiz kılar
Bina içerisinde bakır kablo kullanılır.
Shorter legacy wiring allowing
higher bandwidth !!!
Ağ Düğümüne Veya Kabine Kadar Fiber (FTTN/FTTC)
Çoğu yerleşik operatörün yaygın başvurduğu uygulamadır
Maliyetleri düşürür ve izin alınmasını gereksiz kılar
Düğümden sonrasında eski kablolar kullanılır


FTTH TANIMLARI VE PAZAR AÇILIMI
Pazar
Varlık Noktası
Erişim Döngüsü
Müşteri Binası
80%
PON
IP
PON OLT
Splitter
Telefonica, Mobily,
France Telecom,
STC, Verizon,
NBN,...
5%
IP
Ethernet
switch
Reggefiber,
City of Pau,...
Ethernet P2P
15%
IP
Ethernet
switch
Ethernet
switch
Tele Sonera
Finland,...

PON DİYAGRAMI



PON EVOLUTİON TO NG-PON2



PON EVRİMİ NG-PON2

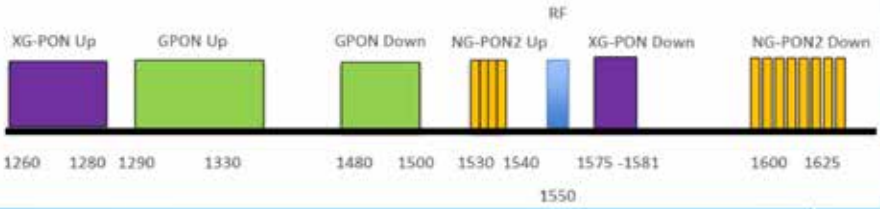
NG-PON2 will support multiple 10G (G.987) wavelengths

ONU has tunable upstream laser as well as a tunable receiver

4 wavelengths in the downstream, with an option of up to 8

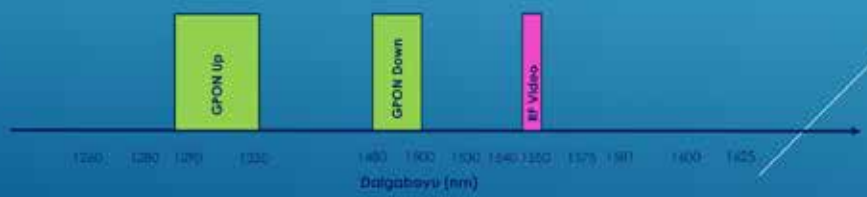
Up to 4 wavelengths in the upstream

RF overlay at 1550nm is not impacted by NG-PON2 and is continued to be supported



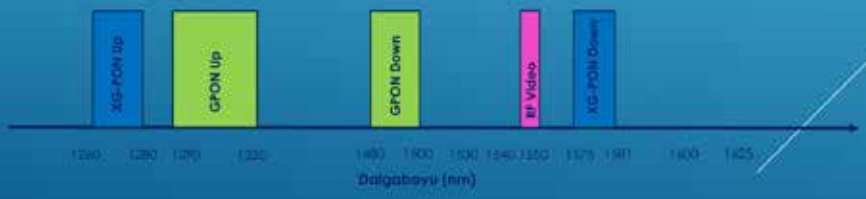
PON'DAKİ DALGA BOYU BANTLARI (ITU-T G.987 SERİSİ)

- GPON 2.5 Gb/s down, 1.2 Gb/s up, shared
- RF Video overlay



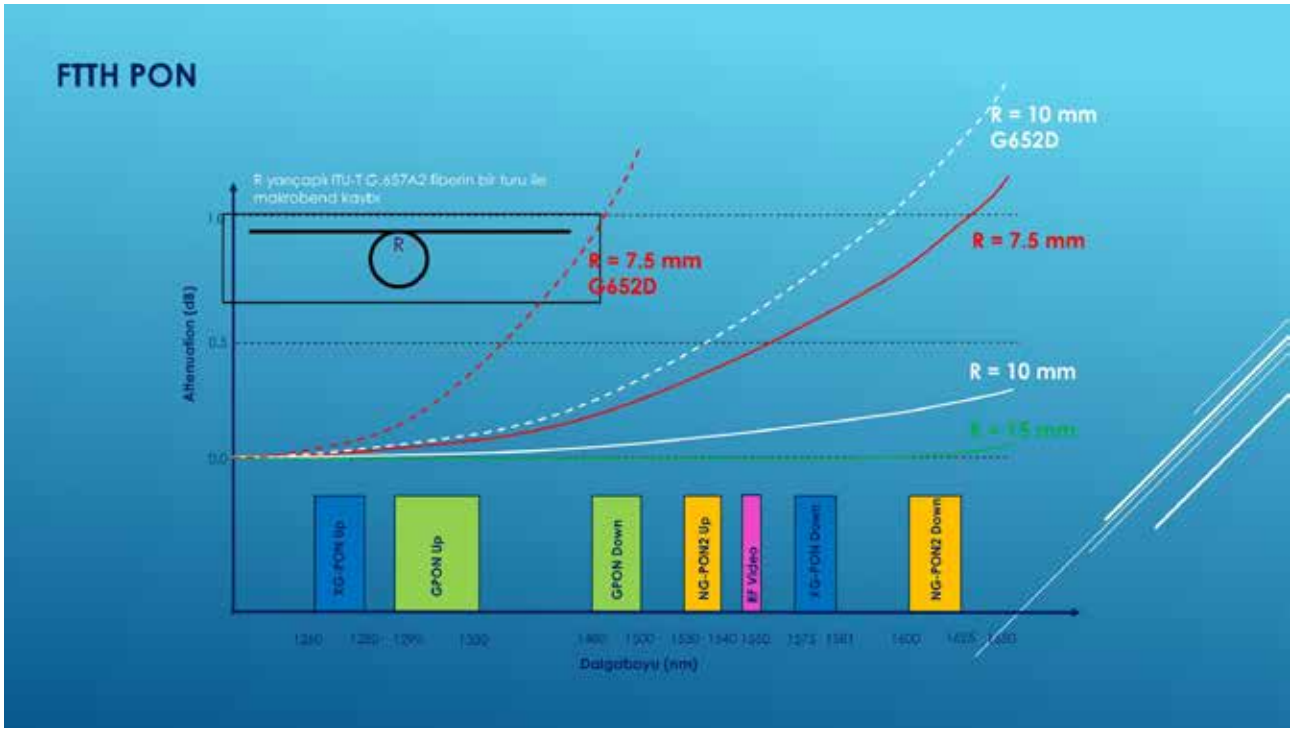
PON'DAKİ DALGA BOYU BANTLARI (ITU-T G.987 SERİSİ)

- GPON 2.5 Gb/s down, 1.2 Gb/s up, shared
- RF Video overlay
- XG-PON1 10 Gb/s down, 2.5 Gb/s up, shared



PON'DAKİ DALGA BOYU BANTLARI (ITU-T G.987 SERİSİ)

- GPON 2.5 Gb/s down, 1.2 Gb/s up, shared
- RF Video overlay
- XG-PON1 10 Gb/s down, 2.5 Gb/s up, shared
- XG-PON2 10 Gb/s up and down, shared
- NG-PON2 10 Gb/s per wavelength (4 wavelengths downstream, 8 wavelengths upstream)
- Network monitoring


FTTH PON
R = 10 mm
G652D
R = 7.5 mm
G652D
R = 7.5 mm
R = 10 mm
Attenuation (dB)
XG-PON Up
GPON Up
GPON Down
NG-PON2 Up
RF Video
XG-PON Down
NG-PON2 Down
Dalgaboyu (nm)

YORUMSUZ

YORUMSUZ

YORUMSUZ

YORUMSUZ

YORUMSUZ

72.5 kV Gaz Yalıtımlı Hücreler (GIS) için Sismik Test ve Analiz

Kwang-jin Ko[1], Hae–eun Jung[2], Tae–young Lee[2], Je-uk Yeon[2], Hee-sub Ahn[2], Seok-weon Park[2], and Young- geun Kim[3]
EKOSinerji Elektrik San. ve Tic. A.Ş.
ekosinerji@ekosinerji.com

Özet

Son yıllarda endüstride yaşanan enerji tüketim talebi artışı ile birlikte daha yüksek gerilimlerde elektrik enerjisi iletimi uygulamada giderek yaygınlaşmakta ve giderek daha geniş bölgeler için kullanıma alınmaktadır. Bu yönelim doğrultusunda böylesi sistemlerin kararlılık ve güvenirliğinin önemi de ne kadar vurgulansa yeridir. ***Gaz Yalıtımlı Hücreler****in* ***(GIS)*** *sismik kapasite özelliği, giderek "olmazsa olmaz" bir kriter haline gelmektedir, çünkü yaşanan depremlerin sıklık ve şiddetinin giderek arttığı görülmektedir. Bu makalede* ***72.5 kV Gaz Yalıtımlı Hücre****lerin* ***(GIS)*** ***IEEE693-2005*** *standardına göre yapılan* ***Sismik Test*** *ve* ***Sismik Analizler****inin bir kıyaslanması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sistemin "Çöküş Katsayısı"na [1] göre* ***Sismik Test*** *ve* ***Sismik Analizler*** *yine bu makalede ayrı ayrı değerlendirilmeye alınmıştır.*

Bu çalışmada ele alınan elektrik teçhizatının tümü "Titreşim Masası Testi" için fazla büyük olduğundan, titreşim masasında tüm teçhizatı tekli bir grubun temsil etmesi tercihi benimsenmiştir. Anılan "Tekli-Grup" devre kesici, transformatör, ayırıcı, topraklama şalteri, vs… gibi birçok cihaz içermektedir. Ayrıca seçilen bu tekli grubun yapısal durumunun alternatif herhangi bir diğer tekli grubunkinden çok daha fazla riskli olmasına da özen gösterilmiştir. Takiben, anılan Tekli-Grup için ***Midas NFX*** *kullanılarak öngörülen Sismik Analiz çalışması gerçekleştirilmiş olup, öngörülen Sismik Test çalışması ise* ***Pusan****'daki* ***Sismik Simülasyon Test Merkezi (SESTEC)*** *bünyesinde gerçekleştirilmiştir.*

Son olarak, yapılan ***Sismik Kalifikasyon Analizi*** *ile 72.5 kV Gaz Yalıtımlı Hücrelerin* ***(GIS)*** *belirlenen yüksek şiddet seviyeli sismik olayın* ***(Gerekli Yanıt Spektrumu****'nda* ***0.5g ZPA*** *) yarattığı streslere karşı yeterli yapısal dayanıma sahip olduğu gösterilmek istenmiştir.*

Arama için kullanılabilecek anahtar kelimeler: *Devre Kesici, Sismik Kalifikasyon, Yanıt Spektrumu, Titreşim Masası Testi, Modal Analiz, Gaz Yalıtımlı Hücre*

1. Giriş

Endüstrinin gelişimi ile paralel olarak enerji talebinde görülen olağanüstü artış ile birlikte ultra yüksek gerilimli elektrik enerjisi iletim sistemleri giderek yaygınlaşmakta olup gerilim yelpazesi de giderek çeşitlenmektedir.

Ayrıca bunun doğal sonucu olarak, enerji santrallerinin kararlılığı ile güvenirliğinin önemi giderek artmaktadır.

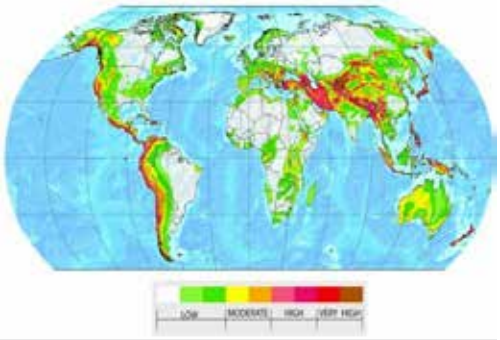
* Dept. of Transmission Equipment Research Team, LS Industrial system, Korea (kjko@lsis.com)

** Dept. of Power Grid Lab, LS Industrial system, Korea (seokweonp@lsis.com)

*** Dept. of Electrotechnology R&D Center, LS Industrial system, Korea (youngk@lsis.com)

Enerji sistemlerindeki kararlılık ve güvenirliği sağlama almak amacıyla transformatörlerin önüne ve arkasına Gaz Yalıtımlı Hücreler (**GIS**) konulmaktadır. Gaz Yalıtımlı Hücreler (**GIS**) sayesinde, enerji santralleri ve trafo istasyonlarında normal kullanım şartlarında olduğu gibi, bir arıza veya normalin dışında kısa devre akımı oluşması durumunda da artık elektrik hattı güvenli bir şekilde açılıp, kapatılabilmekte ve enerji sistemi komple yeterli bir şekilde korunabilmektedir. Bu sistemde bir tank içerisinde yer alan iletken ve transformatör aracılığı ile dış ortamın etkileri asgariye indirilmekte ve enerji iletimi güvenli bir şekilde sürdürülmektedir. Bir arıza anında enerji sisteminin hızla açılıp kapanması sağlanarak sistem korunmaktadır. Enerji sistemin güvenliği, sisteminin bileşenlerine göre çok daha önemli taşıdığından, işletim sırasında meydana gelebilecek değişik arızalara ve depremlere karşı önlemler mutlaka alınmalıdır.

Son zamanlarda depremlerin sıklığı ve şiddeti giderek artmaktadır. Buna paralel olarak da enerji cihazlarının sismik performansı giderek daha çok öne çıkmaktadır. Özellikle de **Amerika** civarındaki bölgelerde bunların her birinin artık sismik performans garantisine sahip olmaları gerekmektedir. **Şekil 1**'de Küresel Sismik Faaliyet (risk) Dağılımı, **Şekil 2**'de ise Küresel Deprem Sıklıkları gösterilmektedir.



Şekil 1. Küresel Sismik Faaliyet (Risk) Haritası

Şekil 2. Küresel Deprem Grafiği

Bu çalışmadaya konu 72.5kV Gaz Yalıtımlı Hücrelerin **(GIS)** kurulum alanı, **Şekil 3**'te de gösterildiği üzere, yüksek bir deprem sıklığına sahip olan **Kanada**'daki **Silverdale** bölgesidir. Bu bölge deprem risk alanları arasında yer almaktadır ve bu durum **IEEE693-2005**'te de belirtilmektedir.

Bu çalışmada sismik verilerin edinilmesi ve Gaz Yalıtımlı Hücreler'in **(GIS)** sismik dayanımının doğrulanması, sismik analizler ve sismik testlerin tamamı **IEEE693-2005** standardı uyarınca gerçekleştirilmiştir

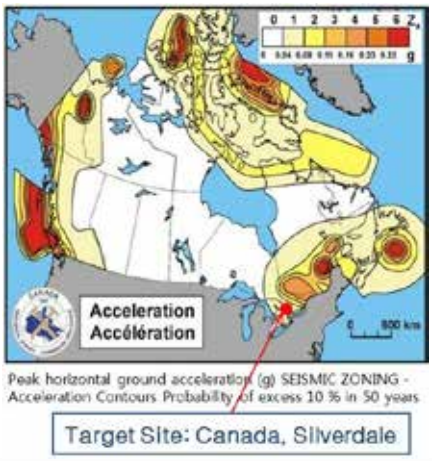
Sismik performans değerlendirme standartları, söz konusu **Sonlu Elemanlar Analiz Teknikleri** ile **Titreşim Masası Testi** içeriklerinde sunulmaktadır.

Parasal ve zaman maliyeti nedeniyle "**Titreşim Masası Test Yöntemi**"nin yerine, hassasiyet dezavantajına rağmen, çoğunlukla **Sonlu Elemanlar Analiz Teknikleri** kullanımı tercih edilmektedir.

IEEE693-2005 standardına göre genellikle, **121 kV** ve altı gerilimlerde **Statik Analiz**, **121 kV – 169 kV** arası gerilimlerde **Dinamik Analiz** uygulanmakta olup sadece **169 kV** ve üstü [**1**] gerilimlerde **Sismik Test** uygulaması öngörülmektedir. Ancak ilgili mühendislik firmasının isteği üzerine, bu çalışmada 72.5kV Gaz Yalıtımlı Hücreler **(GIS)** için **Sismik Analiz** ve **Sismik Test** birlikte uygulanmıştır.

Bu çalışmada bir Trafo İstasyonunu (6 grup) temsilen bir "Tekli-Grup" kullanımı tercih edilmiştir. Bunun nedeni bir Trafo İstasyonu'nun büyüklük ve ağırlığının titreşim masasında test edilemeyecek kadar fazla olmasındandır. Ayrıca tercih edilen bu Tekli-Grup"un bünyesinde yapısal olarak en zayıf modeli temsil eden bir cihazın yer almasına da özen gösterilmiştir

Sismik Analiz uygulanmasından sonra, söz konusu Tekli-Gruba **Sismik Test** yapılmış olup elde edilen sonuçlar öngörülen "**Kalifikasyon Seviyesi**"nin karşılandığını doğrulamaktadır.



Şekil 3. Kanada'nın Sismik Bölgeler Haritası ,1985: İvme (NBCC)

2. Sismik Analiz yöntemleri

Sismik Analiz prosedürü **Şekil 4**'teki akış diyagramında gösterildiği şekilde adım adım gerçekleştirilmiştir. Öncelikle **Geometrik Modelleme** temelinde yapılan **FE Modelleme** ile her bir parça için gereken **Mesh**'ler elde edilmiştir. Daha sonra söz konusu her bir parça için özellikler ile kısıtların yanısıra, yer çekimi ve operasyon kuvveti de ayrı ayrı girilmiştir.

Bütün bu çalışmalar temelinde **Doğrusal Statik Analiz** uygulanarak oluşturulan bu modelde herhangi bir sorun olmadığı belirlenmiştir

Bunun ardından, **Normal Mod Analizi** uygulanarak bu modele ait doğal rezonans frekansı elde edilmiştir.

Ayrıca yapılan analizin güvenirliği bakımından kütle olarak toplam etkin kütlenin **%80** veya daha fazlasının kullanılmasının doğru olacağı değerlenirilmiştir.

Bundan sonra, kararlılık değerlendirmesi için yapılan **Yanıt Spektrumu Analizi** üzerinden bu değer doğrulanmıştır İzin verilen stres değerini aşan parçaları belirlemek için **Karelerin Toplamının Kare Kökü (SRSS)** yöntemine göre

her bir parça için ayrı ayrı stres değerlendirilmesi de ayrıca yapılmıştır.

Önce pek çok "içi dolu katı kısımlar" ile "kabuklar" için geometrik modelleme yoluyla modelleme tamamlanmış olup, daha sonra her bir parça için ağırlık ve diğer fiziksel özellik verileri teker teker girilmiştir.

Bunun ardından "Sonlu Elemanlar Modellemesi" yapabilmek amacıyla her bir parça için Mesh'ler girilmiştir. **Şekil 5**'te gösterildiği üzere, bu çalışmada hem bir "Sonlu Elemanlar Modeli", hem de "İlgili Sınır Koşullarını birlikte verilmektedir.

Devamla, Gaz Yalıtımlı Hücreler **(GIS)** için **Doğrusal Statik Analiz** yapabilmek amacıyla gereken **yer çekimi**, **basınç**, **işletim yükü** ve **sismik yük** değerleri teker teker girilmiştir.

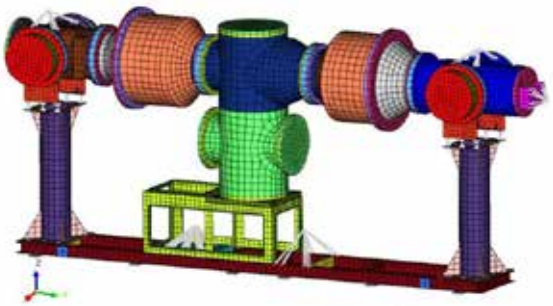
Doğrusal Statik Analiz sonucunda bir problem olmadığı doğrulandıktan sonra **Normal Mod Analizi**ne geçilmiştir.

Bu modelin temelinde **Normal Mod Analizi**ne göre bulunan doğal rezonans frekansı bulunmaktadır.

Ayrıca toplam etkili kütlenin toplam kütlenin **%80** veya daha fazlası olarak alınmasının güvenilir bir analizi yapmak için gerekli olduğu düşünülmelidir.

Bu çalışmadaki sismik analizde doğal rezonan frekansı **Şekil 6**'da gösterildiği gibi elde edilmiştir; Toplam etkili kütlenin ise **Tablo 5**'te sonuçlarından toplam kütlenin **%90**'ından fazla olduğu görülebilir.

Şekil 4. Sismik Analiz Prosedürü

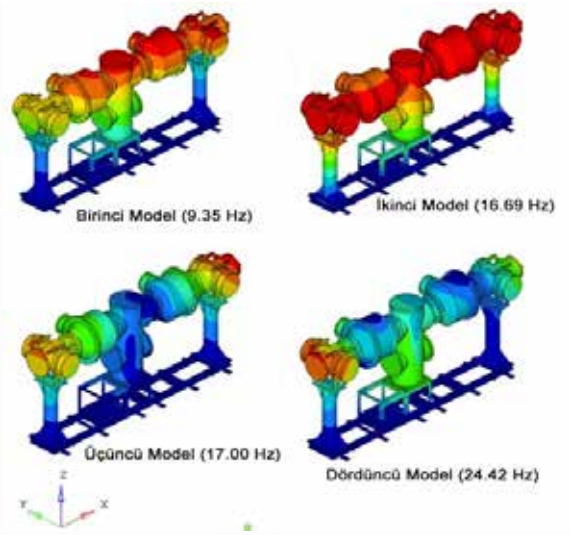


Şekil 5. 1-tekli Grubun Sonlu Elemanlar Modeli

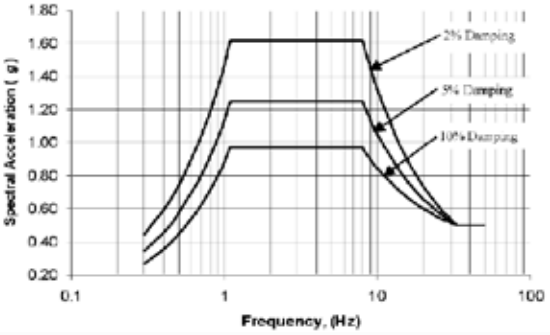
Gerekli Yanıt Spektrumu **Şekil 7**'de gösterilmiştir. Spektrum yatay yönlerde tam ölçekte, dikey yönde ise **%80** uygulanmıştır.

Sistemin tepe değerine tepkisini genel tepkisi ile birleştirebilmek için **Karelerin Toplamının Kare Kökü (SRSS)** yöntemi kullanılmıştır. Depreme maruz kaldığında yapının güvenliği, Yanıt Spektrumu Analizi gerçekleştirilerek elde edilen von **Mises stresi** ile değerlendirilmiştir. Söz konusu stres değeri **SRSS** yöntemi kullanılarak üç eksene göre birleştirilmiştir. Sönümlendirme oranı **%2** olarak uygulanmış olup, yüksek **Gerekli Yanıt Spektrumu** ise **0.5 g** olarak alınmıştır.

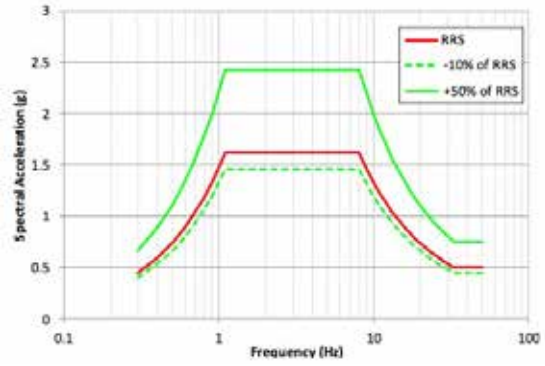
Masa çıkışı **TRS,** her bir oktav için 12 bölüm veya üstü çözünürlükte, **RSS**'i **-%10 / +%50** veya üzeri bir tolerans bandında kapsayacaktır.



Şekil 6. Sismik Analiz Prosedürü



Şekil 7. Yüksek Gerekli Yanıt Spektrumu, 0.5 g



Şekil 8. RRS Töleransı

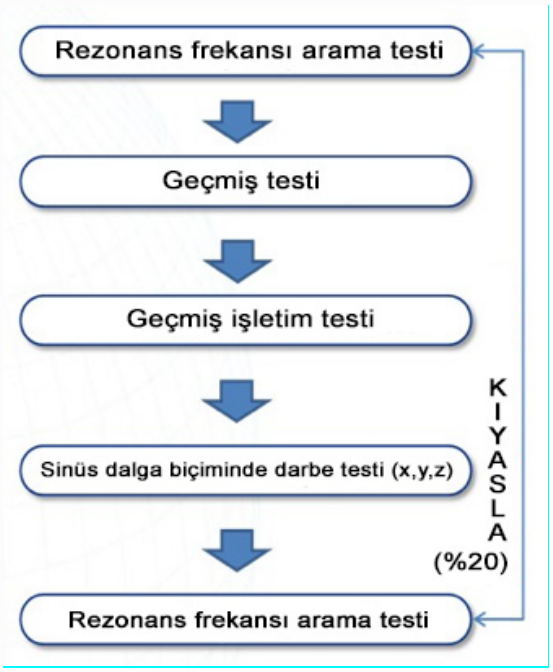
3. Sismik Test ile Sismik Analizin Korelasyonu

3.1 Sismik Test

IEEE – 693 uyarınca, bir sismik testin performans değerlendirmesinde kalifikasyon seviyesi ile performans seviyesi ayrımları yapılmaktadır. Mevcut ivmeye değerine bağlı olarak, ayrıca, yüksek sismik seviye, **0.5 g**, orta sismik seviye ve düşük sismik seviye ayrımları da yapılmaktadır. Sismik Test Prosedürü **Şekil 10**'da gösterildiği şekilde gerçekleştirilir. Öncelikle **(1) GIS**'in doğal rezonans frekansını bulmak amacıyla Resonans Frekansı Arama Testi yapılır, **(2)** Geçmiş Testi yapılır, ki aslında bu bir **GIS**'in girişine, gerçek bir deprem dalga biçimini uygulama yöntemidir, **(3)** Geçmiş Operasyon Testi sırasında ise, **GIS'**in çalışması üzerindeki sismik etkileri belirlemek imkanı mevcuttur. Eğer ilk test ile son testin sonuçlarının farkı **%20**'lik bir aralık içinde kalıyorsa, yapılan test sırasında **GIS'**in iyi bir performans gösterdiği belirlenebilir. Bu çalışmada, **Şekil 9**'da gösterildiği üzere, söz konusu "Sismik Test" için bir adet Tekli-Grup kurulmuştur.

GIS'in titreşim masasına kurulumu tamamlandıktan sonra, sismik test için **GIS** ayrıca bir mekanik gerilme ölçüm sensörü ile bir ivme sensörüne bağlanır.

Şekil 9. GIS'in Titreşim Masasına Montajı



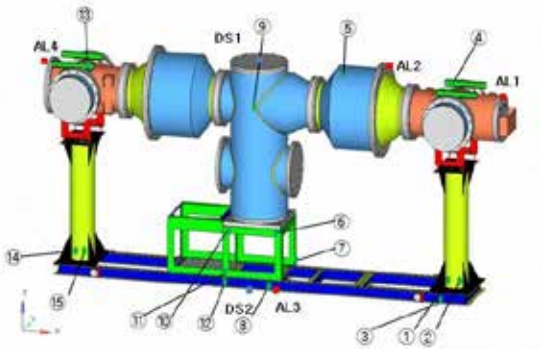
Şekil 10. Sismik Test Prosedürü

3.2 Korelasyon

Öncelikle, sismik testten sonra elde edilen test verileri analiz verileriyle karşılaştırılarak farkları belirlemek için korelasyon analizi gerçekleştirilir.

Korelasyon analizinin yöntemi **Şekil 12**'de gösterilmiştir. Analizin nihai hedefi, doğal rezonans frekansı, ivme ve mekanik stres için iyi bir korelasyon sağlanmasıdır ki her bir hedefi karşılamak için üç analiz türü (**Normal Mod Analizi**, **Doğrusal Statik Analiz** ve **Yanıt Spektrumu Analizi**) gerçekleştirilebilsin.

Normal Mod Analizi, doğal rezonans frekansları ile mod biçimleri gibi dinamik karakteristikleri elde etmek için gerçekleştirilir. Bileşik mekanik stres, **Doğrusal Statik Analiz** ile **Yanıt Spektrumu Analizi**'nin sonucundan hesaplanır. Bileşik stres, değer olarak izin verilebilir mekanik stresten az olmalıdır. Bileşik mekanik stres Denklem (1) kullanılarak hesaplanır.



Şekil 11. Ölçüm yapan sensörlerin yerleşimleri

Tablo 1: Sensör Sayıları

Kalemler	Açıklamalar
Mekanik Gerilim Ölçer	1-15
İvmemetre	AL1-AL4
Yer Değişim Sensörü	DS1-DS2

Yüksek klafikasyon seviyesinin 0.5 g. olması durumunda,

$$\sigma_{total} = 1.0\sigma_{gravity}+1.0\sigma_{pressure}+1.0\sigma_{impact\ load}+1.0\sigma_{seismic\ load} \quad (1)$$

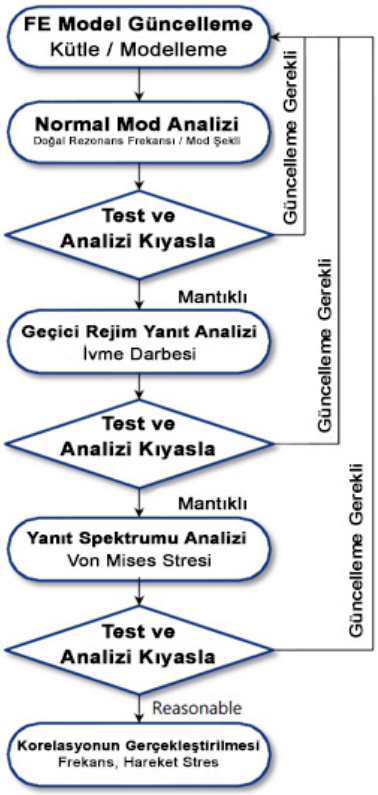
4. Test sonuçları ve doğrulama

4.1 Sönümlenme

Sönümlendirme oranları, **Resonans Frekansı Arama Testi** gerçekleştirildikten sonra **Yarı-Güçte Bant Genişliği Yöntemi** ile hesaplanmıştır. **Tablo 2**'de gösterilen sönümlenme oranları, bir **Yanıt Spektrumu Analizi** gerçekleştirmek için kullanılmıştır.

Tablo 2: Resonans Arama Testinden elde edilen Sönümlenme Oranı

Yön	Açıklamalar
X	% 3.25
Y	% 4.80
Z	% 0.73



Şekil 12. Analiz ve Test Korelasyon Prosedürü

4.2 Resonans Frekansı Testi

Bölüm 3.1'de açıklandığı üzere, ilk test ile son testin sonuç farkı **%20**'lik bir aralık içerisinde kalıyorsa, yapılmış olan testin iyi performans gösteren bir test olduğu belirlenmiş olmaktadır.

Tablo 3'te yer alan ilk, ikinci ve son testlerin Resonans Frekans Testi olduğu ve her bir eksen için verilerin

kıyaslama yapılarak listelendiği, sonuçların **%20** aralığı içerisinde kalması nedeni ile de sistemin testinin problemsiz sonuçlandığı görülmektedir.

4.3 Normal Mod Analizi

Doğal rezonans frekansı, kütle ve katılığın bir fonksiyonudur. Malzemenin seçiminin yapılması ile katılık zaten otomatik olarak seçilmiş olmaktadır. Bu nedenle, ölçülen toplam kütle ile kontrol kütle dağılımını, resonans frekansı arama testinden elde edilen doğal rezonans frekansı ile ilişkilendirerek, ele alınan 1-tekli grubun **CAE modeli** artık güncellenebilir

Test ve analiz arasında iyi bir korelasyon elde etmek için Normal Mod Analizi birkaç kez yinelenmiştir. Son olarak, test ve analiz arasındaki doğal rezonans frekansı farklılıkları **Tablo 4**'te gösterilmiştir. Analizdeki doğal rezonans frekansları, testte elde edilenlerden daha yüksektir, çünkü iki parçayı birleştiren cıvatalar, analizde **RBE2** katı elemanı olarak basitleştirilmiştir, bu nedenle söz konusu cıvata bağlantısı analizde gerçekte olduğundan daha katıdır.

Ekipmanın dinamik yanıtının yeterli bir şekilde temsilini sağlamak için yeterli modlar dahil edilecektir. Dikkate alınan modların kümülatif katılım kütlesi, tüm modların etkili kütlesinin toplamının en az **% 90**'ı olacaktır.

Toplamda yüz modun (**380.3 Hz**'e kadar), etkili kütlelerin toplamının **% 90**'ından fazlasını gerçekleştirdiği düşünülmektedir ve etkili kütle yüzdesi **Tablo 5**'te gösterilmektedir. Belirlenmiş olan mod sayısı, **Geçici Rejim Yanıt Analizi**ni ve **Yanıt Spektrumu Analizi**ni gerçekleştirmek için kullanılacaktır.

*Tablo 3:*Rezonans Frekansı Kıyaslaması

ID	Eksen	Rezonans Frekansı (Hz.)		
1	X	6.875	12.5	23.56
	Y	13.5		
	Z	23.75		
2	X	6.625	12.63	23.56
	Y	13		
	Z	33.75		
3	X	6.603	12.13	23.13
	Y	12.5		
	Z	32		

Tablo 4: 1-Tekli Grup Doğal Rezonans Frekans Kıyaslaması

Mod	Doğal Rezonans Frekansları ((Hz.)			Mod Şekli
	Test	Analiz	Sapma	
1	6.88	9.35	+2.5	X-yönünde
2	13.50	16.69	+3.2	Y-yönünde
3	12.50	17.00	+4.5	Z-yönünde
4	23.56	24.42	+0.9	X-yönünde
5	33.75	-	-	Z-yönünde

Sapma = Analiz – Test (Sapma/Test)

Tablo 5: Etkin Kütle

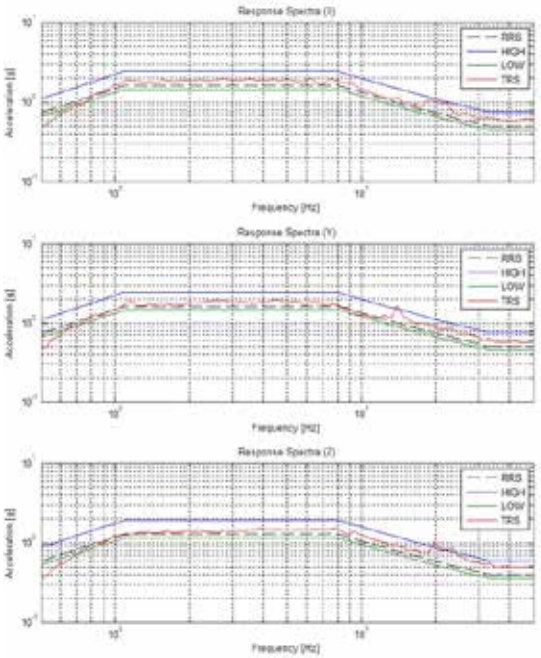
Yön	Mod Kütlesi (kg)	Yüzde (%)
X	3659.7	90.7
Y	3646.6	90.4
Z	3767.3	93.3

4.4 Geçici Rejim Yanıt Analizi

Geçici Rejim Yanıt Analizi için baz alınan model, Normal Mod Analizi gerçekleştirerek elde edilen korelasyonu yapılmış modeldir. Bu analiz sadece deprem yükü geçmişini ele alır, çünkü bu benzetimin amacı, yanıt hareketini (ivme) kontrol etmektir. titreşim masasını sallayan üç eksenli ivme darbeleri, denklemde (2) harici yükleri simgeleyen F(t) için kullanılan girdilerdir.

$$mü(t) + cu(t) + ku(t) = F(t) \qquad (2)$$

Söz konusu ivme darbeleri **Şekil 13**'te gösterilmiştir [**4**]. Bu darbeler, test darbeleri ile tümüyle aynıdır ve analiz süresinden kazanmak için sadeleştirilmiştir. **Test Yanıtı Spektrumu** (**TRS**) ile **Gerekli Yanıt Spektrumu**nun (**RRS**) karşılaştırma çizimleri de ayrıca kontrol edilmiş ve **Şekil 13**'te gösterilmiştir.



Şekil 13. Geçmiş Testi'ne ait TRS ve RRS

Şekil 13'te üç ayrı konumda ivmenin kıyaslaması gösterilmektedir. Normal Mod Analizi sonuçlarından sonlu eleman modelinin, gerçek yapılardan daha katı olduğu bilinmektedir. Bu yüzden, analiz sonucu elde edilen ivmelerin şiddeti, **Şekil 6'**da gösterilen testen elde edilmiş olanlardan düşüktür.

Şekil 6'da Z yönündeki test ve analiz arasındaki en büyük farkı gösteren ivmenin **AL-1** olduğu görülmektedir. Bu ivme farkının nedeninin, titreşim masası ile test takımı arasındaki kısıt eksikleri olduğu düşünülmektedir.

*Tablo 6:*Test ve Analiz arasında en yüksek ivme kıyaslaması

No.	Eksen	Test (g)	Analiz (g)	Sapma (g)
AL-1	X	2.2	1.5	-0.7
	Y	0.5	0.8	+0.3
	Z	1.2	0.5	-0.7
AL-2	X	1.9	1.7	-0.2
	Y	1.1	0.8	-0.3
	Z	0.5	0.5	0.0
AL-3	X	2.1	1.3	-0.8
	Y	1.1	0.8	-0.3
	Z	0.6	0.5	-0.1

Sapma = Analiz – Test (Sapma/Test)

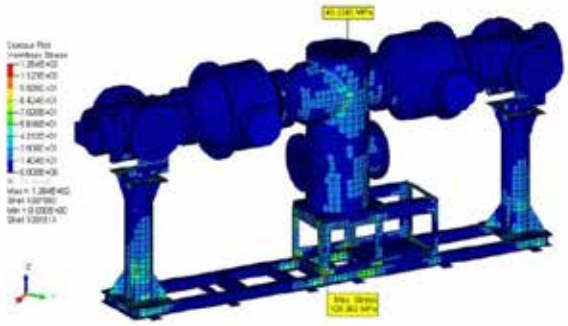
4.5 Yanıt Spektrumu Analizi

Doğrusal Statik Analiz ile **Yanıt Spektrumu Analizi** için baz model, **Geçici Rejim Analizi** gerçekleştirerek elde edilen korelasyonu yapılmış modeldir. Yanıt Spektrumu Analizi, **%2** sönümlemeye sahip "Yüksek Gerekli Yanıt Spektrumu" ile gerçekleştirilmektir. (**IEEE 693 Şekil A.1**) Bu analiz her yönde üç defa gerçekleştirilmektedir. Sonuçlara hesaplanan değerlere göre sönümlendirme oranı uygulanır.

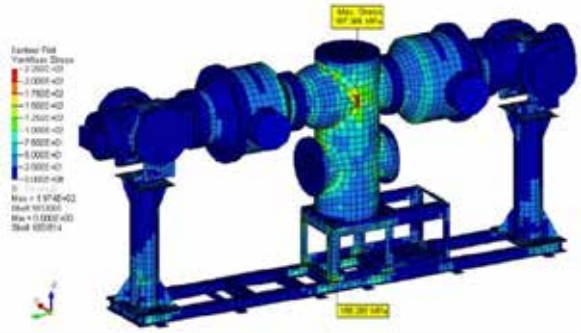
Dik ivme etkilerini hesaba katmak için analizde **SRSS** yöntemi kullanılır. **SRSS** yönteminde, tekli grubun belirli bir konumundaki sismik stresler **(3)** denklemi kullanılarak birleştirilir:

$$\sigma_{seismic\ load} = \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sigma_Z^2} \qquad (3)$$

SRSS yöntemi ile hesaplanan "von Mises Stresi**" Şekil 14**'te gösterilmektedir. Maksimum stres **126** N/mm^2'dir.



Şekil 14. Bir adet Tekli-Grup için Birleşik Sismik Stres



Şekil 15. Bir adet Tekli-Grup için Birleşik Toplam Stres

4.6 Sonuçlar

Aşağıdaki yük durumlarının her biri için "**von Misel stres"**leri, **Lineer Statik Analizi** ile **Yanıt Spektrumu Analizi** gerçekleştirilerek elde edilmiştir.

$$\textit{Toplam Yük} = 1.0\ D + 1.0\ OP + 1.0\ E_{RSS}$$

$$= 1.0\ D + 1.0\ IP + 1.0\ IL + 1.0\ E_{RSS} \qquad (4)$$

D: Statik Yük (Yerçekimi)

OP: Normal Çalışma Yükü

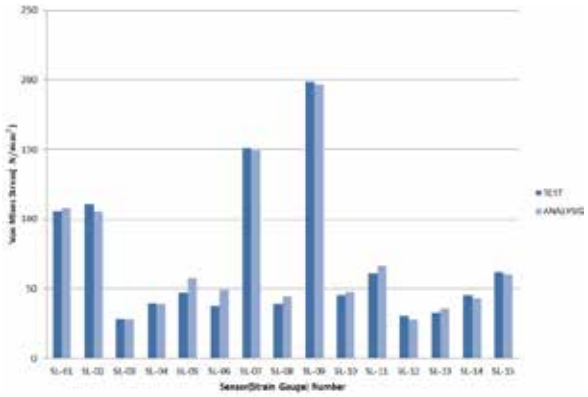
IP: İç Basınç

IL: Darbe Yükü

E_{RSS}***:*** Sismik Yük

Bileşik Toplam Stres, Denklem **(1)** aracılığı ile hesaplanır.

Test ve analiz arasındaki stres kıyaslaması **Şekil 16**'da gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere, analiz stresleri, mekanik gerilim ölçümlerinden elde edilen test stresleri ile iyi bir korelasyon göstermektedir.



Şekil 16. Test ve Analiz arasında Stres Kıyaslaması

5. Sonuç

Test ile Analiz arasında mantıklı bir korelasyon elde etmek için dört tür analiz gerçekleştirilmiştir.

(1) Doğal rezonans frekanslarını kontrol etmek için **Normal Mod Analizi**

(2) İvmeleri kontrol etmek için **Geçiçi Rejim Analizi**

(3) Bileşik stresleri kontrol etmek için **Doğrusal Statik Analiz** ve **Yanıt Spektrumu Analizi**

Sonuç olarak, doğal rezonans frekansları, ivmeler ve bileşik stresler sonuçları arasında iyi bir korelasyon olduğu gösterilmiştir. Korelasyon analizi için kullanılan modelleme teknikleri, sekiz gruplu Gaz Yalıtımlı Hücrelerine (**GIS**) de aynı şekilde uygulanmıştır.

Referanslar

[**1**] 2005, "IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substations,"*IEEE Power Engineering Society* [Trafo Merkezleri Sismik Tasarımında IEEE'nin Uygulama Tavsiyeleri]

[**2**] Davis, J. R., 1996, "ASM Speciality Handbook: Carbon and Alloy Steels," *ASM International* [Çelik Alaşımları Uzmanlık Elkitabı Karbon ve Çelik Alaşımları]

[**3**] 1989, "Manual of Steel Construction Allowable Stres Design – Ninth Edition,"*American Institute of Steel Construction* [Çelik Yapılarda İzin Verilen Mekanik Stres Tasarımı Kılavuzu]

[**4**] 2013, "Seismic Test Report of 72.5 kV Gas Insulated Switchgear (GIS) ," manufactured by LSIS Co., Ltd." *Seismic Simulation Test Center* [*72.5 kV Gaz Yalıtımlı Hücre* (GIS) Sismik Test Raporu]

Panel: SAVUNMA SANAYİNİN BUGÜNÜ VE GELECEĞİ

Oturum Yöneticisi: Dr. Erdener Ildız (EMO)

Nihal Türüt (EMO): Değerli hocalarım, meslektaşlarım, değerli konuklar…

EEMKON 2015 "Savunma Sanayisinin Bugünü ve Geleceği" konulu paneline hoş geldiniz. EEMKON 2015, yedi ayrı sempozyumdan oluşuyor. Kontrol ve Elektrik Sempozyumunda yer alan bu paneli, Elektronik Komisyonu Başkanımız Dr. Erdener Ildız yönetecek. Dr. Erdener Ildız, Hava Kuvvetleri adına askeri öğrenci olarak devam ettiği İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Fakültesinden 1972 döneminde yüksek mühendis olarak mezun oldu. Teğmen rütbesiyle Eskişehir Hava İkmal Bakım Merkezine atandı ve burada beş yıl süreyle görev yaptı. 1977 yılında Hava Harp Okuluna öğretim üyesi olarak atandı. 1982 yılında İstanbul Teknik Üniversitesinden doktora unvanını aldı. Hava Harp Okulunda on yıl süreyle elektronik, elektronik devreler, lojik devreleri ve otomatik kontrol dersleri verdi. Hava Kuvvetleri temsilcisi olarak NATO'nun uzay ve havacılık alanında danışmanlık görevini yapan teknik komitesi AGARD'da güdüm ve kontrol paneli üyeliği yaptı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Anadolu Üniversitesi ve Ege Üniversitesinde lisans ve lisansüstü dersler verdi. Eskişehir İkmal Bakım Merkezinde F-4 uçaklarının elektronik sistemlerinin modernizasyonu ve F-16 uçaklarının elektronik sistemlerinin bakım ve onarımlarının yapılacağı atölyelerin kurulmasında görev yaptı. Hava Kuvvetlerinden 1989 yılında kıdemli binbaşı rütbesiyle emekli oldu. Halen ILDIZ Şirketler Grubu Başkanlığını ve aynı zamanda da EMO İstanbul Şubesi Elektronik Komisyonu Başkanlığını yürütmektedir. Dr. Erdener Ildız'a çok teşekkür ediyor, sözü kendisine bırakıyorum.

Dr. Erdener Ildız (Panel Yöneticisi)- Değerli katılımcılar, sevgili hocam, kendisini aramızda görmekten büyük mutluluk duyduğum Prof. Dr. Kemal Sarıoğlu'na ayrıca teşekkür ediyorum. Sabahın erken saatlerinde de olsa kalkıp geldi.

Sunumu yapacak arkadaşlarımız; Yalçın Yılmazkaya, KALE Genel Koordinatörü ve aynı zamanda Havacılık ve Uzay Kümelenmesi Derneğinin Genel Sekreteri. Özgeçmişleri söz verirken ayrıca okuyacağım. Harun Solmaz kardeşimiz, Savronik'in Genel Müdürü. Yarbay Hakan Gürkan da Hava Kuvvetlerinde Elektronik Yüksek Mühendisi.

Şimdi ilk sunumu yapmak üzere Yalçın Yılmazkaya'yı davet edeceğim, kendisinin kısa özgeçmişini sunuyorum:

1956 yılında İstanbul'da doğan Yılmazkaya, yükseköğrenimini İTÜ'de tamamladı. 1982 yılında elektrik yüksek mühendisi unvanını aldı. 1982-1984 yılları arasında TÜBİTAK Marmara Araştırma Enstitüsünde çeşitli projelerde araştırmacı olarak çalıştı. 1984 yılında General Elektrik Medikal Sistemler bölümünde destek mühendisi olarak İngiltere'de göreve başladı. Ürdün ve Mısır'da 2 yıl kalan Yılmazkaya, 1987 yılında General Elektrik Medikal Sistemlerinin Türkiye'deki doğrudan operasyonunun kurucuları arasında yer aldı. 10 yıla yakın bir süre servis, satış ve pazarlama bölümlerinde çeşitli yönetim kademelerinde görev yaptı. 1996 yılında General Elektrik Corporate bünyesinde çalışmaya başlayan Yılmazkaya, Türkiye, Doğu Avrupa ve Pakistan'da yürütülen askeri ve sivil projelerin ofset çalışmalarının sorumluluğunu üstlendi. General Elektrik'in bu bölgelerden yapmış olduğu alımları ve yatırımları koordine etti. Şirket içerisinde yürütülmekte olan Six Sigma

çalışmalarına liderlik etti. 2000 yılı sonunda yürütmekte olduğu General Elektrik Türkiye Yönetim Kurulu Başkanlığı görevinden ayrıldı. Aynı tarihte CRM Institute Turkey'in kuruluş çalışmalarında yer aldı.

Yalçın Yılmazkaya, müşteri odaklı hareketin bilinçli olarak yaygınlaşması ve yaratacağı ulusal rekabet gücünün faydaya dönüşmesi konusunda çeşitli sektörlerdeki CRM projelerinde danışman olarak çalıştı. Uluslararası bir kuruluş olan CRM International Consortium'un kurucuları arasında yer aldı. Bugün Kale Grubu'nun savunma ve havacılık çalışmalarında danışman olarak çalışmakta. Türkiye'de Birleşik Arap Emirlikleri, Suudi Arabistan, Katar ve diğer birçok ülkede ofset ve endüstriyel ortaklıklar konularında danışmanlık hizmetleri vermektedir. Kendisi Türk, Ortadoğu ve Körfez ülkeleri Dış Konseyi Yürütme Kurulu üyeliği yanı sıra İzmir'de kurulmuş olan Türkiye'nin ilk havacılık kümelenmesi oluşumu olan Havacılık ve Uzay Kümelenmesi Derneği Genel Sekreteri görevini de yürütmektedir. Birazdan söz vereceğim değerli kardeşim Yalçın Yılmazkaya, bize savunma sanayinin bugünü ve geleceği konusunda bir resmi burada ortaya koyacak. Bilindiği gibi İstiklal Savaşını çok güç şartlar altında veren Türkiye Cumhuriyeti kurulduktan sonra yavaş yavaş savunma sanayi önem kazanmış ve yatırımlar başlamıştır (Mühimmat Fabrikası, MKE'nin kurulması, vb).

Şimdi sözü Yalçın Yılmazkaya'ya bırakıyorum, buyurun.

Yalçın Yılmazkaya (KALE)- Teşekkür ediyorum. Sayın hocam tekrar teşekkür ediyorum burada olduğunuz için, benim için çok büyük şeref. Sizlere de katıldığınız için tekrar teşekkür ediyorum, hepiniz hoş geldiniz. Söylenecek çok şey var. Türkiye eski Türkiye değil ama bir yerde de bir eleştiri yapmam lazım, bazı teknolojilerde hâlâ hocamın 35 yıl evvel bıraktığı yerdeyiz, bunu da söylüyorum. Kongre sergi alanına bakıyorum, yurtdışından aldığımız kontak göstergesi var hâlâ hocam, bunları ülkede yapmamız lazım. Yani uçak yapan bir teknolojimiz var hâlâ sergide, Siemens benim 1985'teki bitirme ödevimi anlatıyor. Siemens alınmasın ama kendimizi de maalesef eleştirmek zorundayız. Biraz sonra sunumumda bunlara temas edeceğiz.

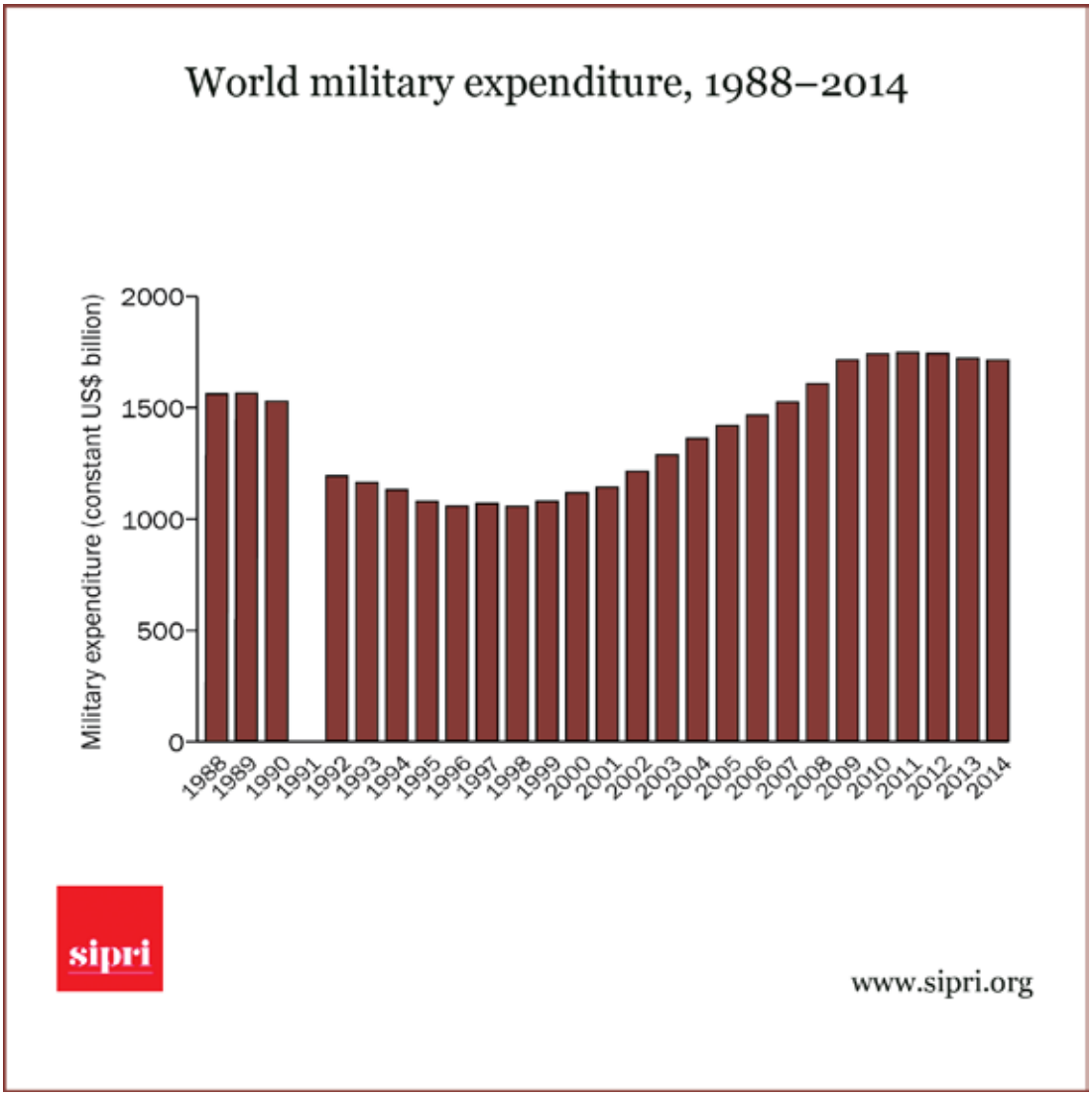
Ben bazen çok konuşanlardanım. Bir gün gelip belki öldürecekler, belki vurulacağız ama bundan korksaydım, Türkiye'ye gelmez Amerika'da yaşardım. Sordunuz 'niye geldiniz?' diye, siz biraz evvel cevabını verdiniz, benim bu genç arkadaşlara borcum var, geleceğe borcum var. Eğer ben bu arkadaşlara sizlerle birlikte o şeyi sizlerle birlikte götüremezsem borcumu ödememiş olurum. Gençler benden bir yerde hesap sorar. O yüzden o hesap sorulmasın diye hesabı en azından iyi atlatayım diye buralarda koşturmamız var. Gençlerden bahsediyorum ama ben dün aynı zamanda zamanı da dolduruyorum. Bir de havacılık okulumuz var. Teknisyen yetiştiriyoruz. Çünkü Türkiye'de maalesef teknisyen olan pırlanta gibi arkadaşlarıma ara eleman diyen bir sistem var şu an. Şimdi bir insana siz ara eleman derseniz, aramaya başlıyor. Çocuk, galiba mühendislikte çok büyük bir iş var para dağıtıyorlar diye gidip dikey sınavlara giriyor. Daha kötüsü Anadolu Üniversitesi diye bir açıköğretim sistemi var. Çocuk teknisyen, pırlanta gibi çıkıyor, iki sene orda işletme gibi bir şey okuyor, geliyor diyor ki abi ben o zaman genel müdür olacağım. Bunlar eleştirmemiz gereken ve düzeltmemiz gereken şeyler. Birkaç kurum daha var onları da söyleyeyim. YÖK konusunda benim derdim var. İşte hâlâ ara eleman diyen YÖK'le. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü konusunda derdim var. Kendilerinin yüzlerine de söyledim; siz olmasanız sivil havacılık başka yere gider. 1930'larda Nuri Demirağ'ın yaptığı uçağı sertifikalandırıp bu konuyu devam ettirebilseydik, bugün Boeing'in yanında biz olacaktık, Airbus olmayacaktı. Airbus çok sonraları ortaya çıktı.

Düşman da biziz, dost da biziz. Başka yerlerden dost düşman aramayalım. Ben dışardaki sergide hâlâ bunları koyuyorsam düşman benim. Başka yerlerde aramayalım.

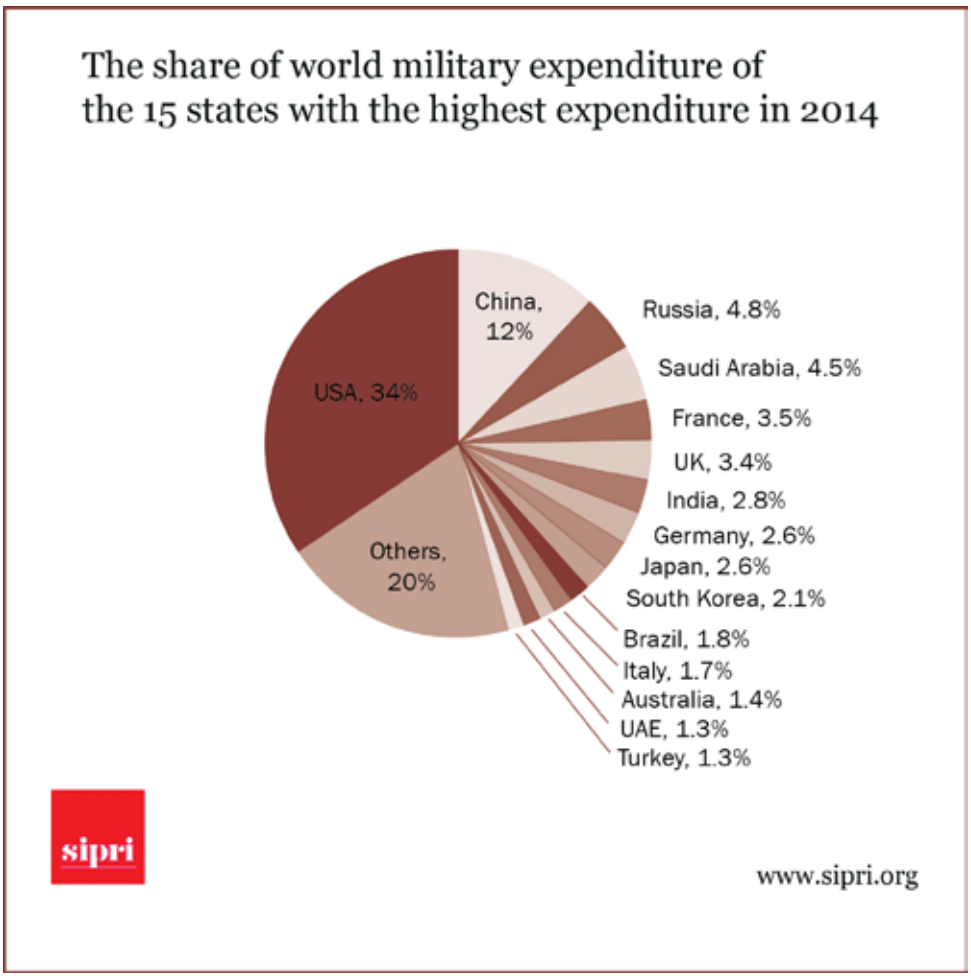
Şimdi sunumumu çok hızlı geçeceğim, sonra muhakkak sorularınız olacak. Ben şöyle bir fikir vermek üzere dünyada savunma ve sivil havacılığı da koymak istedim sunumumun içine çünkü sivil havacılıkla savunma yan yana gidiyor. Eğer kompozit malzemeyle bir şey yapıyorsanız, direk olarak adamlar zaten onu ya savunma sistemlerinden almışlardır ya da bir yerlerden geçmiştir. Dikkat ederseniz kullandığımız çok büyük teknolojiler, internet dahil savunma sanayisinden gelir, yani

savunma sanayisi olmayan bir ülkenin diğer sektörlere hitabı yoktur diye düşünüyorum. Gelişme de olmaz. Şimdi Türkiye'de DARPA gibi bir kuruluş yok. Darpa'nın ne olduğunu biliyor musunuz? Amerika'da böyle DARPA diye bir mevzu var. Türkiye'de maalesef teknoloji transfer ofisleri diye bir yanlış içerisindeyiz. Diyorsunuz ki, akademide ampulü bulacağız, akşam da o ampulü sanayiye çıkaracağız. Böyle bir yaşantı yok. Devlet Amerika'da gelir der ki; benim askerim ölmeyecek. Bunu kime söylüyor, hem sanayiye söylüyor hem üniversiteye söylüyor. Direk üniversite diyor ki; ben öyle bir tampon olacağım ki, o askeri vurdukları zaman 7.65'le, o adam dört saat içinde hastaneye götürülebilecek. Chitosan (Karides Kabuğundan elde edilen bir madde) kullanıyorlar, dört saat kanama olmuyor.

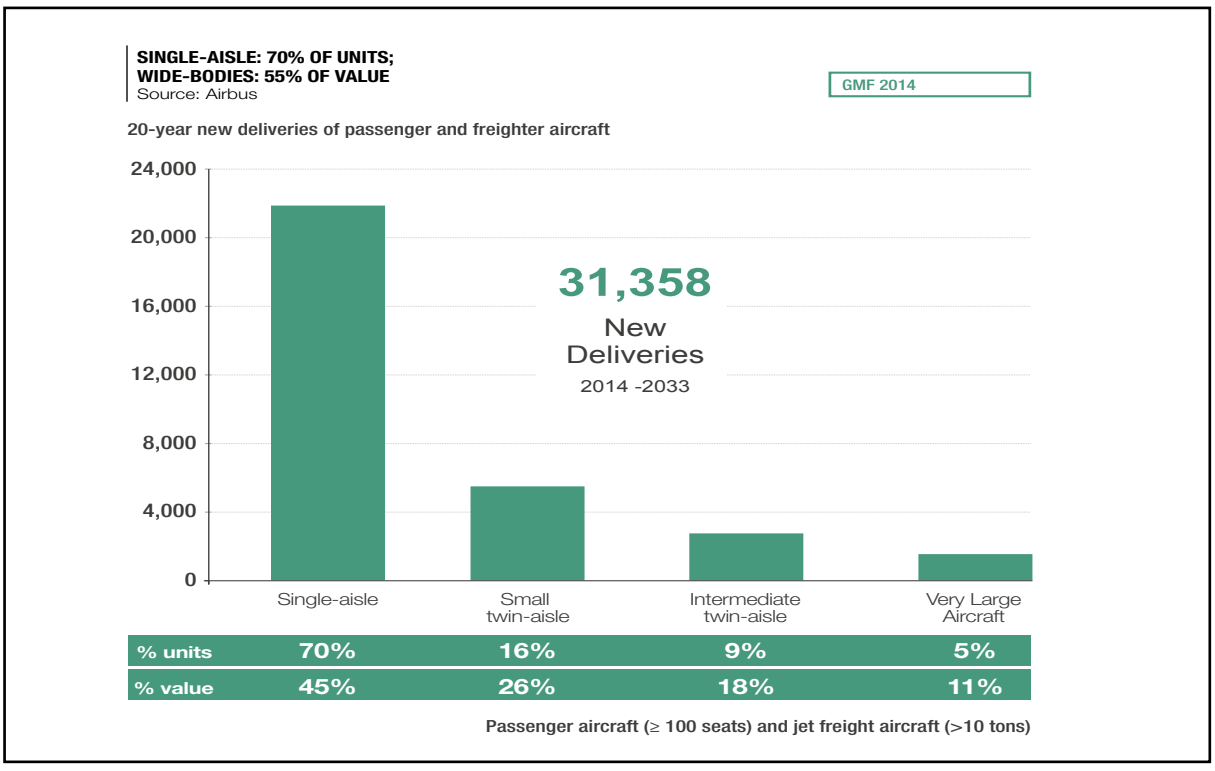
Kayda mı geçiyorlar? Savunma sanayisinde kayda geçirmek yasaktır. İzin aldınız mı? (Savunma sanayinin de böyle güzellikleri var!) Bir şey olduğu zaman, ben savunma sanayisindenim. Benim Facebook, Instagram, Whatsapp'ım gibi şeylerim yok hocam, benim ilk telefonum iPhone'lardan, çoğu şeyleri çalışmıyor. Hanıma söylüyorum, o da diyor ki; niye yok, efendim ben savunma sanayisindenim...

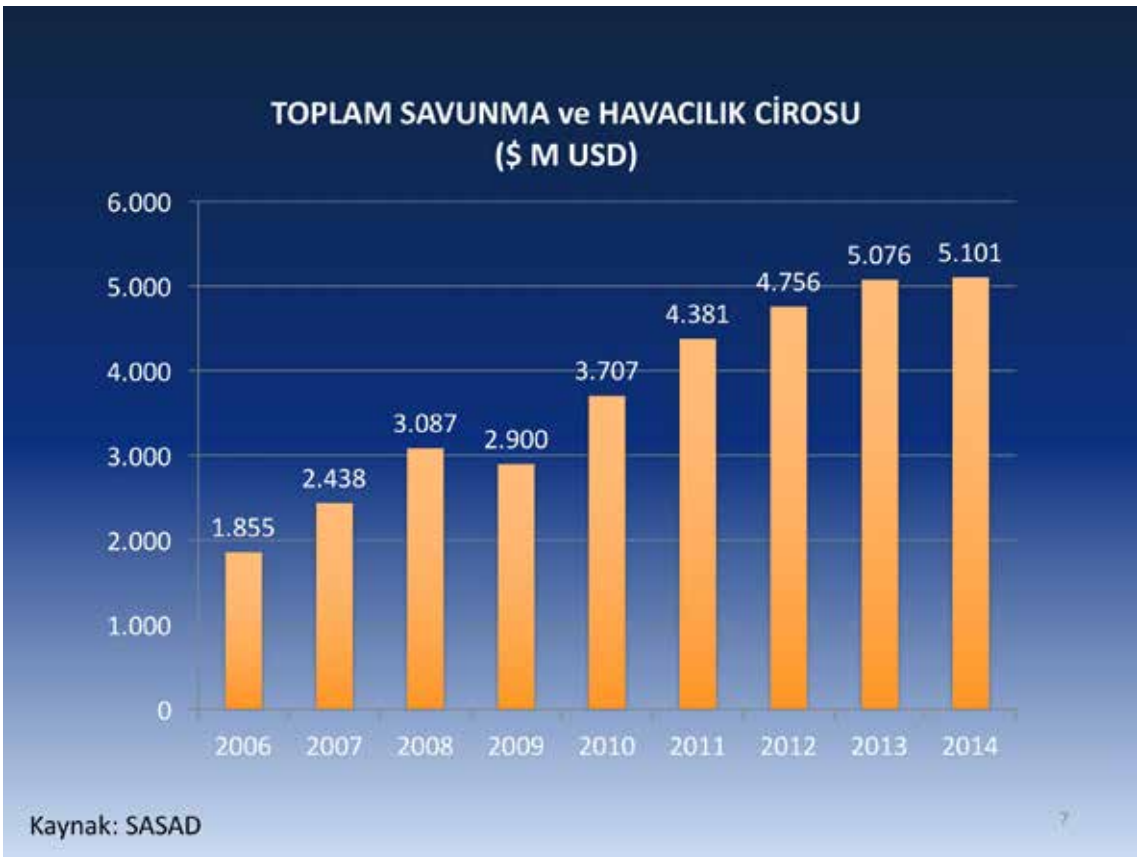


Şimdi dünyaya bir bakalım, 1988-2014 arasındaki savunma harcamaları böyle bir trend göstermiş. 1,5 trilyon demek bu. Rakam bu civarlarda bir yerde. Yani çok büyük bir iş hacminden bahsediyoruz. Bunun bir üstü nedir tahmin edin, yani savunma sanayinin üstü; ilaç sektörü. O da büyük bir güçtür. İlaç sanayimizin de olması lazım yoksa birileri sizi kontrol eder. Evet, 1,5 trilyon civarı bir rakam, dağılımı da böyle:



Amerika yüzde 34 gibi bir rakamda duruyor. Çin yüzde 12'de, diğerleri yüzde 20 ve şöyle bir dağılıma bakarsanız Türkiye'de 1,3. Bu 1,3'ü 1,5 trilyonla çarptığınız zaman yaklaşık 20 milyar dolara falan gelir. Bu toplam, Türkiye'deki askeri harcamaların hepsi anlamında. Yani askerimizi ayakta tutmak için de yeni projeler için verilen rakamlarda aynı zamanda bir şeyleri satın alıyorsak veya onlara proje halinde destek veriyorsak...



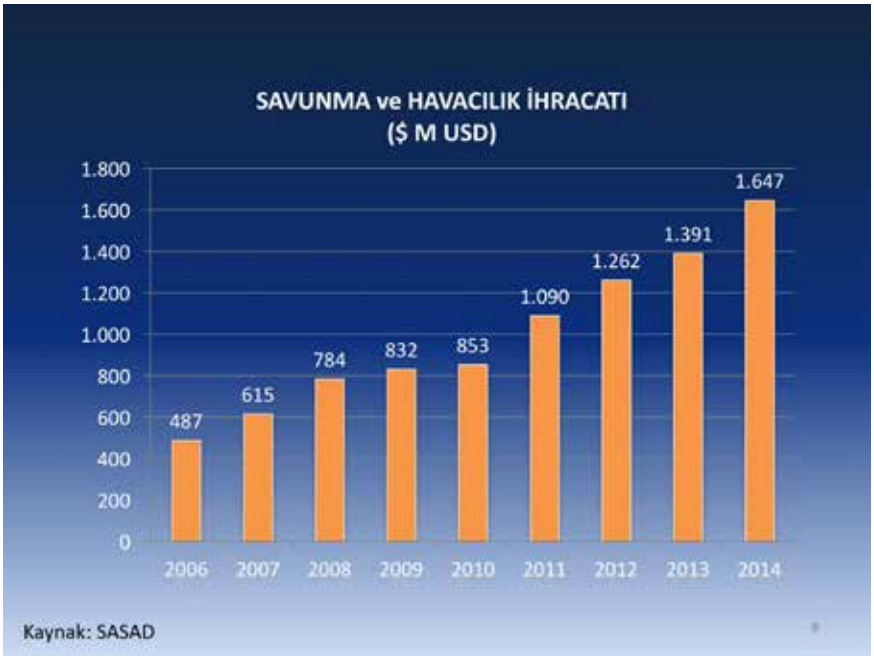


Türkiye'de genel bakış aşağı yukarı bizim 2014 bütçelerimiz havacılık ve toplam ciromuz 5,1 milyar dolar civarında. Bunun içinde projeler var genel anlamda ama diğer askeriyenin bakımı, şusu busu yok içinde. Bu gerçek anlamda proje, 5,1 milyar dolar. Gördüğünüz gibi 2006'dan sonra epey bir değişiklik oldu. Çok haklısınız aslında bizim bu savunma sanayinin kırılma noktası 1974 harekatı. O tarihte biz elimizin kolumuzun bağlı olduğunu hissedince… Türk milleti bağımsızlığını seven bir ulus, hiçbir zaman kimseye bağlı olmak istemedi. Onun için çırpınıyoruz, zaten bağımsızlığı biraz sonra anlatacağım, buralarda yoksanız bağımsız olamazsınız, mümkün değil. O yüzden 1974 yılından itibaren yavaş yavaş, Savunma Sanayi Müsteşarlığının 1980'li yıllarda kurulması, ben gururla söylüyorum TAI ve TEI'nin kurulması sırasında buradaydım. Onlar biraz ofset çalışmaları ama Türkiye'de çok ciddi çalışmalar oldu. Gene eleştiriyorum doğru yerde miyiz, değiliz. Şimdi biraz sonra Kore örnekleri falan vereceğim. Hep Kore deniyor ama adamlar iyi yaptıkları için deniliyor, doğru yaptılar. Konu konuyu açıyor, benim genç arkadaşlarım var, müsaadeniz olursa bir soru sorabilir miyim arkadaşlara hocam?

Bana bilgiyi tanımlar mısınız? Nereden geliyor? Bilgi nedir? Çünkü biz bilgi toplumu oluyoruz savunma sanayisinde falan diyoruz ya. Bana bilgiyi tanımlar mısınız, ben sizin teyzenizim bana anlatın. Bilgi nedir? İkinci sorum da bilişim nedir diye soracağım.

Tecrübelerin toplanması değil mi? Bilişim ne demek? Tanımını bilen var mı bilişimin? Türkiye'nin hedefleri arasında bilişim. Siz tanımını yapamazsanız, nasıl hedef koyar bu ülke bunu? Yanlış mı anladım? Yanlış mı anladınız? Hedeflerimizi çok net anlatamıyoruz genellikle. Teyzenize anlatamadığınız bir şey hedef olmaz. Bilişim ne diye hedef olmaz. Knowledge management, IT mi bunun altında, control engineering mi? O yüzden kendimizi eleştirmemiz lazım, ta alttan bir yerlere kadar. Bilgiyi de niye sordum, biz information'a da bilgi diyoruz. Küçük çocuklara soruyorum "bilgi aldın mı?", evet abi, internete girdim bastım düğmeye diyor. Dezenformasyon, sizi yönlendiriyorlar çok rahatlıkla. Geçenlerde Türkiye'nin yüzölçümünü 814 bin kilometre yazan bir web sitesi vardı. Dedim ki, herhalde biz savaşa girdik birileriyle, bir şeyler kazandık. Efendim diyor ki plandan değil de böyle ölçtüm. Hâlbuki 765 bin 800'dü, bunu bize böyle öğrettiler, ezberlettiler. Kim doğru biliyor biliyor musunuz hocam, CIA in The World Factbook'ta yazanlar. İçinde o kadar çok fazlasıyla şey var

ama bu bilgi değil. Bilgi, dediğiniz gibi aklınızı kullanarak çıkarttığınız şey. Savunma ve Havacılık'ta bilgiyi düzgün kullanamazsanız yanlış yaparsınız. Uçaklardan bir tanesi düşerse bir daha hayatınız kayar. Savunmada ve havacılıkta hataya yer yok. O yüzden ben şanslıyım Six Sigmacı olarak yetiştim. Onun da ne olduğunu zaman içinde anlatacağım, siz de bakın bakalım Six Sigmacı olarak yetiştiğiniz zaman bu hata faktörlerini çok düşük hale getiriyorsunuz. Özellikle bu iki tane dev sektörde hatanın yeri yoktur. Hata yapmayacağız diye hiçbir şey yapmamak… O da başka bir şey, o da yanlış.



İhracatımız da 1,6 milyar dolar. Bunun içinde şu ana kadar yaptığımız özellikle iki konu var. Kara ve denizde çok kötü değiliz. Kara araçları konusunda iyiyiz, deniz araçları konusunda iyiyiz. Bunları iyi olarak değerlendirdiğimiz için bizden satın alan ülkeler var. Ve ben birbirleriyle kıyasladığım zaman da bu konuda çok çok kötü yerde değiliz diyorum ama havacılık konusunda yapacak çok şeyimiz var. Havacılık ve savunma konusunda… Nedir yapacaklarımız, sayın konuklarım biraz sonra bu TF-X Projesi konusunu bize daha da detaylı anlatacak. Bu Türkiye'nin milli projesi. Biz şu ana kadar F-35 üzerinde çalışmaktayız. Kale Grubu'nu birazdan anlatırken onunla ilgili bilgiler var, onun için parçalar yapıyoruz ama bizim milli uçağımız TF- X olacak. Allah bir aksilik vermezse bu tür bir çalışma içinde kendi milli uçağımız olacak. Çalışıyoruz, dediğim gibi çok fazla detay vermek istemiyorum.

Bu ise -Bölgesel Yolcu Uçağı- yani birlikte konuşacağımız bir proje, iyi veya kötü. Bu Sierra Nevada Corporation, Dornier 328 uçağının satış haklarını ve aynı zamanda uçuş haklarını da almış durumda. Biz de onlardan belirli bir paraya, -fiyatını söylemeyeyim, vergi veriyoruz gene de bilmeniz lazım belki ama Amerika'da olsa söylememiz lazımdı- yaklaşık 1,5 milyar dolar gibi bir paraya bunun haklarını alıyoruz biz. 30 kişilik filan bir küçük uçak bu. Bu nedir, bizim deneyimlerimiz gelişsin diye. Bu zamana kadar niye biz deneyimlerimizi geliştirmedik? Bu gençlerimiz niye yatıyorlar sorusunu başka zaman sorarız. Bu bizim 2017'ye kadar hazır olmasını istediğimiz bir uçak, küçük bir uçak bu ama dediğim gibi sertifikasyonları olduğu için bizi hızla bir yerlere götürebileceğine inanıyoruz. Nuri Demirağ buna karşıydı. Nuri Demirağ, benim olmayan bir şey, dışarıdan getirilen teknolojiyle benim olmaz diyordu. Nuri Demirağ'ı dinleyelim o zaman daha. Onun karşılığında 2023 diye değerlendirdiğimiz 628, yani 80 kişiye 80-90 kişiye visual jet dedikleri bölgesel uçağımıza, bundan öğrendiklerimizle geçeceğiz. Şurada önemli bir derece var, sizlere, gençlere çok şeyler düşüyor. Bunun dizaynında dışarıdan bir şey almayalım artık çocuklar, siz de elinizi bir taşın altına koyun şunun için şuralarda bir yerlerde. Komutanlarınızla, Türk Hava Yolları'yla, Türk Hava Yolları Teknikle, bizim gibi havacılık kümelenmeleriyle, ben kümelenmemi anlatacağım, bizim yarınlarımız öğrencilerimiz. Öğrencilerden ben çok şey öğreniyorum, onlar bizim geleceğimiz. Biz onlara bir şey anlatmıyoruz, ben dinliyorum onları. Öğrenmeye çalışıyorum çünkü siz geleceksiniz. Ben yarın belki balık tutmaya gideceğim. Ama gelecek sizsiniz, siz düşünmezseniz bunun gene biz farkına varırız veya bunun devamı olur. O yüzden bir yerlerde biz elimizi taşın altına koyup çalışmalıyız, deneyimlerimiz var, TAİ'de deneyimlerimiz var, Hava Kuvvetleri'nde deneyimlerimiz var, Hava Kuvvetleri'nde çok güzel bir okulumuz olduğunu bilir misiniz, lisans ve lisan üstü eğitim veriliyor, bilmiyorsunuz... Hem de Yeşilköy'de denize nazır, güzel yemekleri var. Karşıda müzesi var ama bizim haberimiz yok kimse gidip bakmıyor siz Hürrem Sultanı izliyorsunuz, AVM'ye gidiyorsunuz, Kösem Sultan oynuyor değil mi, ben ona da şaşırdım.

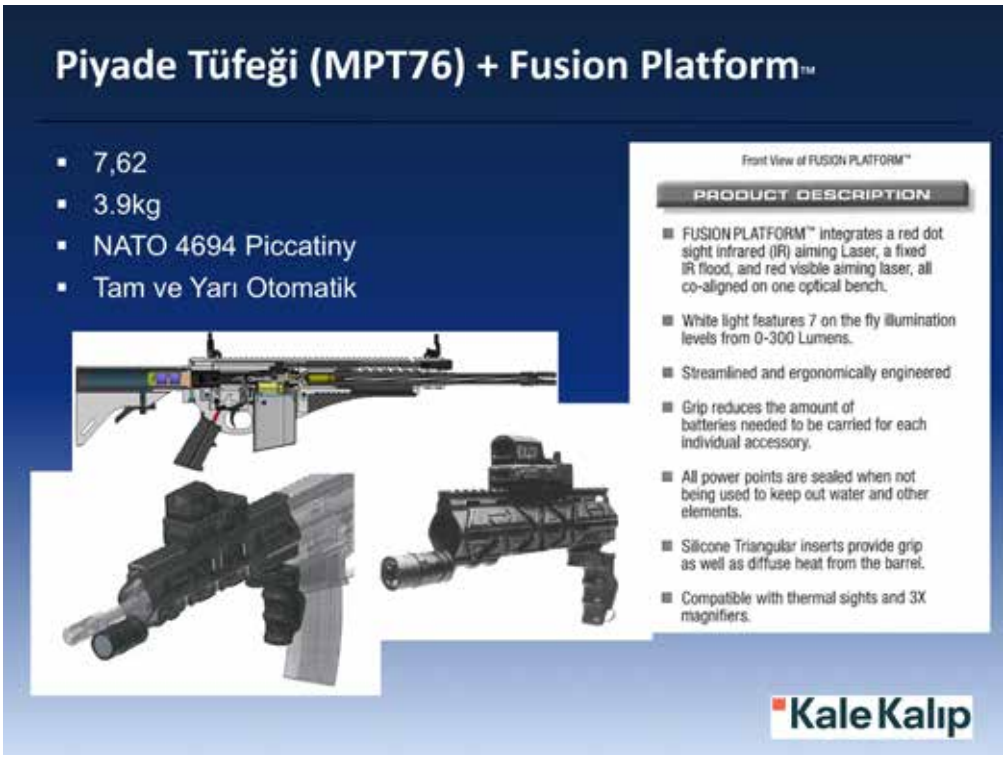
Biraz kendimizden bahsedelim, hani bugünü anlatacağım, gelecek de biraz sonra var. Bizim Kale Grubu altında, bu İbrahim Bodur'un şirketi. Kale Kilit falan değil bu. Seramik diye de söyleriz. Sayın hocam yaklaşık biz 20 yıldır savunma sanayinin içindeyiz. Füze rampası dediniz, biz çok güzel füze rampası yaparız, şimdi göstereceğim size. Biz Lockheed Martin'in alt yüklenicisiyiz, Lockheed Martin benden parça aldı ve güzel bir hikâyesi vardır onun, kitap haline getirdim ben. Amerikan askeriyesinin kullandığı bir parçayı ben gayet rahatlıkla buradan yolluyorum. 30 yıl evvel Amerikalı satın almacı, Türk malı işte, almayacağım demişti, şu anda beğenerek alıyor benden. Bu Kale'ye F-35 dedikleri bu JSF'in (Müşterek Taarruz Uçağı) parçaları yapılıyor hatta gururla söylüyorum, ilk Türk parçası Kale Havacılık'ta üretildi ve ilk F-35'te uçtu. Bunun üzerinde bir Türk bayrağı vardır, o Türk bayrağı bizde, Kale'de duruyor. Yani onlar için de bu şekilde çalışabileceğiniz bir yer. Gördüğünüz gibi çok çok hassas parçalar yapıyoruz. Bu parça blok gibi bir şeyin içinden çıkıyor. Şimdi tabii bu da bana göre eski teknoloji. Yarın bir gün 3D – Katmanlı Teknolojiler çıkacak. Doğru mudur, çok hızlı ona doğru gidiyoruz. Türkiye aslında yarışta sizler iyi olursanız biz bu yarışı kapatırız ama sizlerin uyumaması lazım, gençlere söylüyorum veya genç kalanlara. Biz Silver mertebesinde üreticileriyiz Boeing'inde aynı zamanda Lockheed Martin'in de Star Üreticisiyiz, kalite konusunda çok iyiyiz. Onun dışında müthiş mühendisliğimiz var, sizler bizlerle çalışıyorsunuz gençlerimiz. Ar-Ge laboratuvarlarımız var. Pratt and Whitney ile Türkiye'de bir motor fabrikasında ortağız, bu F-35'in motorunun parçalarını da Türkiye'de yapıyoruz. Avrupa'da bu kadar yüksek teknolojili bir fabrika yok açıkçası. Çocuklarımız, 170 çalışanımız var 750'ye çıkacağız. Hepsi bunların Türk, pırlanta gibi hepsi. Tabii çok fazla pırlantayla çalışmak da zor. Bunların hepsini özellikle eğitiyoruz. NDT (Tahribatsız Muayene) konularında yeni special process'ler konusunda çok ciddi deneyim ve altyapımız var. Amerikalı beğenmez ise çat diye bırakır. O yüzden insan kaynağının en iyi olduğu ülkede ama bu kaynağın en kötü kullanıldığı ülkede hissediyorum kendimi. Daha iyi kullanmamız lazım. Bu bizim fabrikamız. Aşağı yukarı 14 bin metre kare kapalı alan ama burada çalışan kişi sayısı 157, dün oradaydım 170'e çıkmış, çok yakında çok hızla artacak tabii bu kaliteyi de sürdürülebilir halde tutmak için çok ciddi çaba sarf ediyoruz. Tabii burada Amerika ve Kanada'yla birlikte çalışıyoruz. Hatta onlarla ortaklıklarımız var. Yani Amerikalıdan çok uzakta bir yerde değilim. Hatta onlara

yüzde 49 hocam yüzde 51 bizim, kötü değiliz o yüzden. Kale Grup olarak bir Çanakkale Ruhu taşıyoruz. Hani savaşa karşıyız falan ama savunma konuşuyoruz.

Şu silah… Türkiye 600 yıldır kendi silahını yapmamış. Hep Almanya'dan ya da Amerika'dan almışız. Şimdiye kadar Ankara'daki bir müstesna şirketimiz var senin, hep ben yaptım olmuş, halbuki Kırıkkale (tüfeği) bile bizim değil hocam. İlk defa olarak Türk mühendisi, şunu dizayn etti, bunun adı MPT-76, 7.65'lik çok ciddi vurucu bir silah. AK-47'den çok daha iyidir, G-3'den çok çok daha iyidir. Havacılık'ta öğrendiğimiz teknolojileri kullanıyoruz burada. Çok büyük bir know - how var altımızda, kompozit malzeme kullanıyoruz, o silah çıktı 4 kiloya, daha doğrusu indi. Çok ciddi, komutanlarımız geçenlerde Katar'da, kendi komutanlarım şimdi oraya bir de askeri birlik yollamışız eğitim için aman bu silahlardan bize lazım dediler, biz şimdi bunları inşallah üreteceğiz. Çok yakında kimseye de muhtaç olmayacağız inşallah. Sayın hocam şu tekerlekli kısmının dışındaki her şeyi üretiriz biz.

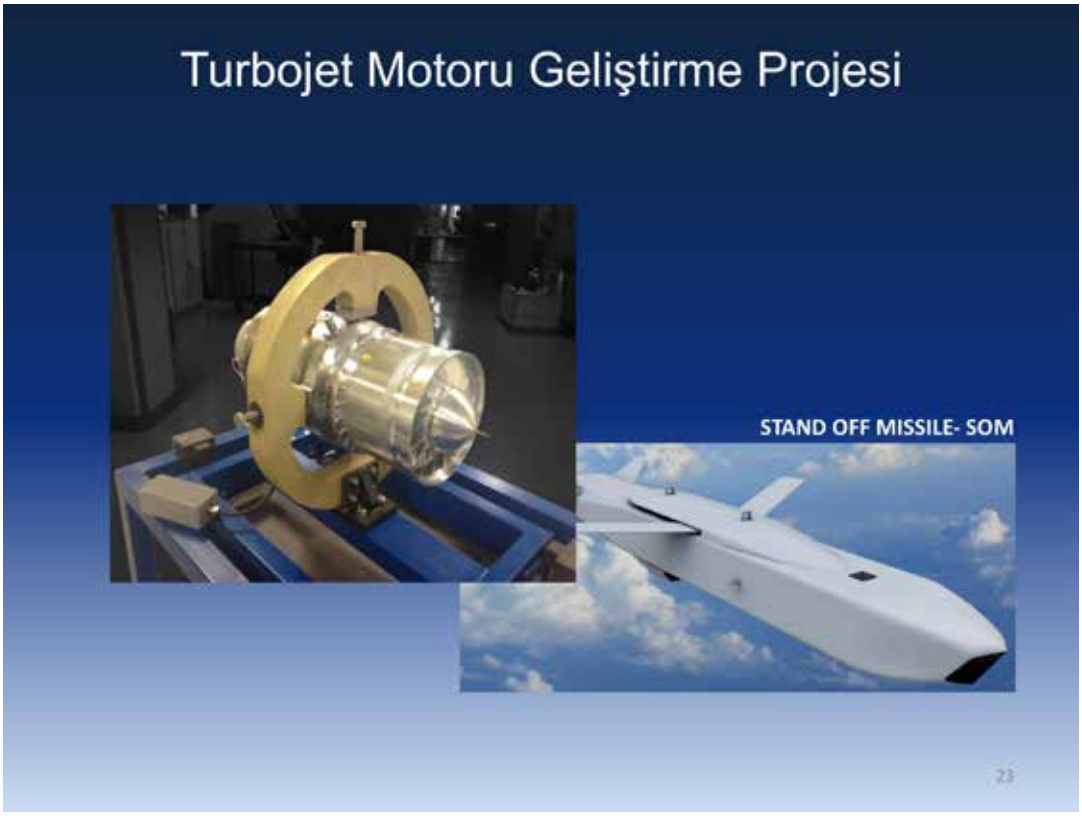
Bunlar 302 mm, bunlar 120 mm, bunlar çok namlulu rampalar. Yani bunlarda da kimsenin bir şeyine ihtiyacımız yok. ASELSAN gibi çok büyük bir şirketimiz var, elektronikleri onlar giriyor, HAVELSAN gibi bir devimiz var simülasyon konularına onlar giriyor.

Bunlar bizim ufak silahlarımız, şu geliştirmekte olduğumuz işte büyük ihtimalle Amerikalılar da bizim peşimizden koşacaklar. Burada helikopterin üzerine elektrikli olarak veriliyor, 320 tane bomba atıyor hocam.



Bu nasıl bir alet? Bu biraz evvel söylediğim 7.62, bunun üzerine gene Amerikalılarla birlikte gene birlikte ortak geliştirdiğimiz cold spot dedikleri hedefi alıyorsunuz, o kırmızıyı karşı taraf görmüyor, siz görüyorsunuz. Yani silahın iyisi olmaz ama savunmada olmak zorundasınız. Onun dışında başka bir takım yaptıklarımız da var. Bu yeni askerin çok fazla elektriğe ihtiyacı var, yürürken elektriğe ihtiyacı var. Onun için fuel cell dedikleri katı yakıt hücreli şeylerle ilgili çalışmalarımız var. Bir Avrupa Topluluğu projesi yürütüyoruz Birmingham Üniversitesiyle birlikte. Patentlerimizi almaya

çalışıyoruz onlar biraz bu konuda korumacılar ama biz de iyiyiz. Onun dışında bizim insansız hava araçlarıyla ilgili bir iş ortaklığımız daha var. Kale Baykar, Türkiye'nin envanterinde olan insansız hava araçlarının sahibidir. 180 tane küçük 8 tane de galiba Taktik Sınıfı… envantere girdi. Küçüğünü tarif edeyim 2 metre boyunda surveillance için gezen. Yani kimseye muhtaç değiliz ben bunu sahada gördüm, çalışırken de gördüm. Eskiden bilgi demeyeyim enformasyon başka bir ülkeye gidip oradan temizlenip geliyordu. İki saniye verseniz adam oradan oraya gidiyor, bulamıyorsunuz o adamı. Şimdi bunlarda artık bizim herhangi birine ihtiyacımız yok. Güzel olan taraf da bu insansız hava araçlarının büyüğü, bunlar 8 tane, bu büyük ihtimalle zaman içinde silah da taşıyabilecek. Roketsan'ın çok güzel bir füzesavarı, çok başarılı bir şey, gayet güzel. Kimseye muhtaç olmayacağız yani. Burada muhtaç değilseniz güzel. Şimdi burada da önemli bir şey var, export kontrolunuz var mı diye biri geliveriyor Katar'dan, hocam yüzde 98'i Türk malı içindeki her şeyin, bir tek sadece kamera o da off –the –shelf yani ben onu evde bilmem ne kamerası diye kullanacağım diye alabilirsiniz, çünkü arkadaki elektronik bize ait, bu hakikaten çok gurur verici, artık kimseye bu konuda muhtaç değiliz. Muhtaçlığın dışında şu ufaklıklardan Katar'a da sattık. İhracat çok zor bir şey. Hele savunma ihracatı biraz daha politik bir şey, politikanız düzgün olmazsa satamazsınız bir şey.



Bu başka bir güzellik, bu SOM füzesini, TÜBİTAK SAGE yaptı. Bu, çok değerli bir füze. Bunu inşallah F-35'e taktıracağız. Fakat bunun motoru, turbo jet motoru Fransa'dan. Dediler ki bunu biz veririz, siz yapamazsınız, biz bunun prototipini geliştiriyoruz şimdi. Bunu yapmak çok kolay bir şey değil, biraz evvel atladım. Böyle bir test merkezi kurduk Tuzla'da Bu yüksek irtifa test merkezi. 5 bin metrede bu motor nasıl çalışıyor diye bunun için deneyimliyoruz. Bunların hepsi Türk, yani o yüzden gurur bunların hepsi. Güzel olan beklentimiz böyle bir know - how'la biz çalışırsak, düşüncemiz, hayalimiz buraya doğru gidebiliriz, bunu devam ettirebiliriz yukarı doğru diye düşünüyorum ama ortamın gözü hep riskli bakıyor herhalde bir eleştirisi olacak, olmaz diyecek, olur diyecek, yaparsınız diyecek yapamazsınız diyecek. Şimdi ben biraz hayal tarafına geçeceğim. Dikkat ederseniz bana geleceği sordular, ben buraya yakın geleceği koydum. Çünkü geleceği biraz anlatırsam uzun olacak ve burada biz hayale dalacağız. Çünkü gelecek, Amerikalılar bugün bu geleceğin üstünde konuşuyorlar. Ben Amerikalılarla çalışmaya başlayınca bir şey öğrendim hocam, gelecek dedikleri bizim gibi 3 yıl sonrası değil, 100 yıl sonrası. 100 yıl sonra işte ben motor konusundaki çalışmama… Biri geldi dedi ki 2060'ta mı, ben sanırım 2016 yazılacaktı dedim, sen nereden geldin dedi, Türkiye'den dedim,

kardeşim dedi, bilirsin sen bir motorun ömrü 50 sene değil… Şapa oturdum sustum kaldım. 100 sene sonrayı düşünmezseniz savunmanız olmaz. O yüzden ben size yakın geleceği, olanı göstereyim, hayal dünyası sizi oralara götürsün.

Şimdi neler var savunma malzemeleri içinde, ileri malzemeler girdi devreye. Artık metalin dışında da kompozit var. Lazer sistemleri 1970'ten beri var ama artık silah olarak bir fiil kullanılıyor. Şimdi göstereceğim, elektromanyetik sistemler var, sayın hocam bilir.

Niye bu ülke elektromanyetik top yapmaz, ben anlamam. Siz bize o teoriyi öğrettiniz, tristör de var top da var, her şey de var. Niye yapmaz bilmiyorum çocuklar, orasını bilmiyorum. Karanlık güçlere bırakıyoruz dediğiniz gibi varsa. Yapay zekâlar var artık, insansız sistemlerde kendi ufak tefek algıları yok artık. Farklı eko sistemleri farklı itki sistemleri, manyetik itkiye geçiyoruz artık o katı yakıtla bilmem ne kadar kısıtlı mesafe, onlar kalkacak. Koyacaksınız arkasına Tesla bobinini, doğru mudur hocam, gidecek. Swarm teknolojileri var artık tepenizde 1 uçak değil, tepenizde 100 bin tane uçak olacak, nefes bile alamayacaksınız. Dünyanın en büyük savunma şirketinin kim olduğunu bilen var mı? Google! Çok yakında her türlü şeyinizi, nefesinizi dahi kontrol edecek, hava sahanızı da kontrol edecek, arkadaşlarınızla konuşmalarınızı da kontrol edecek onun dışında da Boston Dynamics'i (Robot Şirketi) satın aldılar. Şimdi çok hızlı malzemeler, artık bu gördüğünüz uçakların hepsinde yüzde 50 ile 60 civarında kompozit kullanılıyor. Metal hakikaten azaldı. Geçenlerde ben Airbus'taydım, A380'in yüzde 30'larda olan miktarda kompozit malzeme var gövdesinde, bir yeni uçakları var A350 XWB diye şu arada, A-350 XWB'de yüzde 70'e çıkartmışlar kompoziti. O yüzden malzeme bilgisine çok ciddi ihtiyacımız var sivil havacılıkta veya savunmada. Gördüğünüz gibi A-350'de yüzde 50'nin üzerinde ki gerçekten gördüm ben. Askeri uçaklarda yüzde 18 ile yüzde 45 kullanılıyormuş, AV8'de yüzde 40 gördüğünüz gibi helikopterler yüzde 22 her şeyde kullanıyorlar ve yavaş yavaş bu malzemeler hayatın içine çok girmeye başlayacak.

Gördüğünüz gibi burada hepsinde var. Bizim Altay tankımız var, bu Altay tankının şurasında (kenarları) benzeri kendi içlerinde geliştirdikleri çok müthiş zırhlar var. Bunlarda da var, bunların alt tarafındaki zırhlar özellikle muharebede çok ciddi konular bunlar çok basit anlatarak geçtim ama şimdi aslında çok hızlı 5 tane slayt göstereceğim size.

Bunu hayatınızda gören var mı? (ABL – Air borne Laser) Bir B 747'de uçuyor. Siz gördünüz mü? Hocam koydular içine bir tane lazer, bunu tepeye çıkarıyorlar, istediğini vuruyor. Güzel olan tarafı bunlar niçin böyle, bunların hep arkasında Amerikan askeriyesinin bütçesi var. Bir tane füze atacağım, 1 milyon dolar. Bu parayı nereden bulacağım, bundan bir tane ateşleyeyim ciddi anlamda bunu kullanmaya başladılar.

İkincisi, bunları biliyor musunuz komutanım, bunlar müthiş lazerler, bunlar çok kuvvetli lazerler. Şimdi zannediyorum 100 KW'a çıkarmaya çalışıyorlar. Yani lazer dediğimiz teknolojiler, girerseniz internete görürsünüz, yapılabilecek bir şey, onun için çocuklarınıza söylemeyin. Yakın gelecekte, uzak gelecekte belki siz izleyeceksiniz belki lazerin yerine başka bir şey koyacaklar. Bunlar var olanları anlatıyor.

İşte bakın burada (EM – Elektromanyetik Top) çok önemli bir şey var, yanılıyor olabilirim. Sizin normal çıkış topunuzdan çıkanın 3-4 katı hızla çıkıyor buradan. Normal kimyasal ile ateşlenen mermi 950 metre/saniyeyle çıkıyor hocam. Burada ise 2.7 kilometre/saniyeyle çıkıyor. Yani bir şeyi kinetik enerjiyle parçalıyorsunuz, üstüne kimyasal koymanıza gerek yok.

Bu bizim şimdi gündemimizde olan bir proje, yüksek irtifa savunma sistemi. Hani Çinlilerden alıp kendimiz yapacağız diyoruz ya, orada Pack3 diye bir şey var, yani füze füzeye çarptığı zaman öyle bir çarptırıyorlar ki birbirine, toz oluyor, kinetik enerjiyle. Bunlar mühendislik, burada sadece güzel mühendislikler var. Bu geziyor tepelerde (LM Sinyal Söndürücü) , bunu görmüş olmanız mümkün değil. Bu sizin binanızın veya bir enerji tesisinizin tepesinde geçerse, sağ tarafınızda elektrik var, sol tarafınızda elektrik var, üstünüzde sizde hiçbir şey yok anlayamazsınız bile. Ve bu şu anda ortalıklarda dolanıyor.

X47-B bu büyük bombardıman uçağı hani o müthiş görüntülü insansız bu araç. Tamam, insansız bu araç, bunların insanlarla alakası yok. Neden insanı çıkarıyoruz devreden? İnsan çünkü kısıtlı bir varlık 8-9 g'den sonra bayılıyor, onlar 16 g'ye bilmem nerelere çıkıp, istediğinizi verin, yaptırın bir de düşünce arkasından ağlayacak bir aile falan olmadığı için Amerikalılar bunlara dikkat ediyor. Biz de biraz bu konuda hassas değiliz yeteri kadar. İnsan çünkü çok kıymetli, Amerikan askeriyesinin en önemli şeyi askerim ölmesin, az evvel söylediğim şey doktrindir.

Lockheed Martin'in SMSS diye insansız kara aracı var. Bizim asker 70-80 kiloyla bir yerlerden bir yerlere giderken adam bunların üstüne koymuş bunu, gel diyorsunuz geliyor. Ben bunu gördüm. Bu yürüyor arkanızdan şey gibi, suyunuzu, bataryanızı, elektriğinizi taşıyor. Bunlar artık çok kullanılıyor, bu robotlar daha revaçta olmaya başladı. Savaşa sokuyorsunuz çünkü 300-400 kiloyu kaldırabiliyor, taşıyabiliyor.

Bu benim korkularımdan bir tanesi. Bunun için Google da çalışıyor. Hocam bunu Google'ın ekipleri tabiattan almışlar. Kuran'da filan şey var ya çekirge afeti. Çekirge bir kilometre kare içinde 80 milyon tane oluyor. 80 milyon çekirge birbirine çarpmıyor. Şimdi bununla ilgili Swarm teknolojisi geliştirilmeye çalışılıyor. Bu kalabalıkta ben nasıl ilerleyebilirim? Bu zaten Avatar, ben Hollywood'da savunma sanayinin yerine gittim. Orada oynuyorlar bazı şeyleri hocam, onları size film olarak veriyor, bunlar tutarsa onları ürüne çekiyor, şaka gibi. Bunları aynı zamanda ikaz sistemlerinde de kullanıyorlar, MS hastalarında gayet rahatlıkta. Bunun güzelliği bir insanın kaldırabileceği 60-70 kilonun karşısında bunların kollarıyla 300-400 kilo kaldırıyorsunuz. Ben şeyde gördüm, bir denizaltının kaynağı yapılıyor. Kaynak şu şekilde, 20 dakika tutmanız lazım koca kaynak aletini. Robotla tutarsanız robot tutuyor, siz burada kahvenizi içiyorsunuz. Yani sanayiyi ele geçirdiler, bunlar aslında eminim ki bizde var. İstanbul Teknik Üniversitesinde Kontrol ve Otomasyon Kürsüsünden yakın arkadaşım var, Prof. Dr. Metin Gökosan. Görüyorum onlar da… Ama bizim bir eksiğimiz var, sanayiyle çok iç içe çalışmıyoruz. Bizim büyük eksiğimiz, hep söylüyoruz sanayi – üniversite birlikteliği. Daha yapacak çok şeyimiz var.

Bu benim son slaytım, burada dikkat ederseniz uçak değil, bunlar uçan cisim. Bunlar şu anda yukarıda görseniz hakikaten anlatamazsınız birilerine. Şu sistemin sürati 20 March. Bunlar hani 3-5'e falan çıkmışlardı ama 20 March için çalışıyorlar. Bunlardan bir tanesi Boeing'in diğeri Lockheed Martin'in... Bu bir uçaktan atılıyor. Bunu geçenlerde kaybettiler, nereye gittiği belli olmadı. Niye bunları anlattım, bunlar var. Geleceği söylüyorsanız geleceği hep beraber kurmamız gerekecek, bunlar zaten yakın ve var. Evet, ben Tesla'yı koydum, Tesla çok meşhur, ben bu adamı çok seviyorum. Diyor ki, "Bırakın doğruları gelecek söylesin ve herkesi eserlerine ve başarılarına göre değerlendirsin. Bugün onların olsun; ama uğrunda çok uğraştığım gelecek, benimdir." Bunun başlangıcı nedir biliyor musunuz artık şimdi biz iphone'larımızı masanın üzerine koyuyoruz ve şarj ediyor. Yarın bir gün büyük ihtimalle kabloyu da kaldıracaklar. Teşekkür ediyorum.

Atilla Erdoğan- Ben daha yeni geldim trafik nedeniyle. Çok güzel bir söylemdi. Şimdi siz malzeme bilgisine önem verilmesi gerektiğine ve 100 yıllık geleceğe dönük olarak bakmamız gerektiğini söylediniz. Acaba bahsedildi mi, bor alaşımları madeninin savunma sanayisindeki önemi nedir?

Yalçın Yılmazkaya- Size bir tek şey söyleyip yerime geçeceğim. Geçen hafta Teknopark İstanbul'da bir toplantı yapıldı. Bor Enstitüsü nerededir biliyor musunuz?

Atilla Erdoğan- Bilmiyorum.

Yalçın Yılmazkaya- Ankara'da. Roketsan diye bir şirketimiz var. Roket yapar, bor kullanır. Nerededir o, Ankara'da. Bu iki şirket geçen hafta birbirleriyle ilk defa buluştu.

Atilla Erdoğan- 100 yıllık geleceğe dönük olarak bakarsak biz bor alaşımlarının önemine haiz olursak.

Yalçın Yılmazkaya- İsminizi bağışlayabilir misiniz?

Atilla Erdoğan- Atilla.

Yalçın Yılmazkaya- Atilla bey, hocam beni mezun ettiği gün borla konuştum, çalıştım. Bugün geldim 60 yaşıma hâlâ aynı konuşmaları konuşuyoruz. Bence siz bir şey yapın, borla ilgili bir şeyler yapın ben sizi takdir edeyim. Ama Türkiye'de maalesef hep konuşma var, bunların hiçbir tanesi, siz Türkiye'den bor alabilir misiniz? Alamazsınız. "American Borate" satar onu.

Atilla Erdoğan- Ama o da işte daha önce yapılan hata. Ben görüşümü söyleyeyim. Eğer biz borlarımıza sahip çıkarsak tüm dünya savunma sanayisinde bize bağlı olacak.

Yalçın Yılmazkaya- Efendim sizinki çok güzel bir hayal. Bunu hayal edelim ve birlikte yapalım.

Atilla Erdoğan- Dünya ülkelerinin tüm savunma sanayileri bize bağlı olacak. Çünkü tüm bor yatakları bizim. Ama daha yapılmış olan Marshall planları, yardımları sırasında borların işletmesi Amerika'ya verilmiş.

Salondan- Dünyada bizden başka kimse ağlamıyor düşmanım var diye. Eğer varsa düşmanın da var, beline makinayı tak bitti.

Atilla Erdoğan- Ama dün de gördünüz ki sokağa çıkanı devlet ezsin diyorlar. Sizinle ben bu konuları tartışmayacağım, ayıp buraya gelip 2023'ün savunuculuğunu yapan insanlarla ben tartışmıyorum artık.

Erdener Ildız- Değerli arkadaşlar soruları konuşmacıların konuşmaları bittikten sonra alacağım. Konuşmacılara müdahale etmeyelim ve ayrıca zaman açısından da biraz sıkıntıya girdik, zaten teknik nedenlerle geç başladık. Dolayısıyla konuşmacılar konuşmalarını yapsın daha sonra soruları alacağım teşekkür ederim.

Yalçın kardeşim güzel bir resim çizdi bize, bugünün ve geleceğin savunma sanayisiyle ilgili kendisine teşekkür ediyorum. İkinci konuşmamız Savronik firmasından Harun Solmaz. Kendisi Savronik Geliştirme Yöneticisi. Kısa özgeçmişini arz ediyorum:

1975'de İzmir'de doğmuş olan Harun Solmaz, ilk ve orta öğrenimini Eskişehir'de tamamlamıştır. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Bölümünde 1999 yılında lisansını, yüksek lisansını ise 2003 yılında tamamlamıştır. Ayrıca 2004 yılında tamamladığı Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Organizasyonu Bölümünde "Savunma Program Yönetiminde Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri" adlı teziyle, çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Anadolu Üniversitesi Bilecik Meslek Yüksek Okulunda öğretim görevlisi olarak başladığı iş hayatına 2000-2010 yılları arasında savunma projelerinde sistem mühendisi, teknik ve program mühendisi olarak sırasıyla Savronik ve TUSAŞ'ta görev alarak devam etmiştir. 2010 yılında tekrar geri döndüğü Savronik'te iş geliştirme yöneticisi olarak çalışma hayatına Ankara'da devam etmiştir. Evli ve iki çocuk babasıdır.

Harun Solmaz (SAVRONİK)- Öncelikle herkese hoş geldiniz diyor ve katılım sağladığı için teşekkür ediyorum. Aslında sunumum, önceki sunuma benziyor, sadece ben biraz daha günümüz sayısal verilerini size aktaracağım, hedeflerden söz edeceğim. Hedeflerin gerçekleştirilmesi için günümüzde özellikle savunma sanayi sektörüne ilişkin atılması gereken adımlara yönelik görüşlerimi aktaracağım. Daha sonra da sorularınıza cevaplar vermeye çalışacağım.

Savunma sanayi nedir? Bakanlar Kuruluna göre savunma sanayisini tanımlayacak olursak harp silah, araç, gereç ve mühimmatıyla bunların yedek parçalarını üreten sanayi tesislerinin bütünü olarak tanımlamış; bu resmi tanımı. Günümüzde savunma sanayi neyi kapsıyor, neler yapabiliriz dendiğinde ise aslında teknoloji üretmeye ve sahipliğe imkân veren, kendi geleceğini kendisi yaratan, kendisini eğiten bir sektördür denilebilir.

Savunma sanayisinin gelişim sürecine göz atarsak... Osmanlı İmparatorluğu döneminde yapılan çalışmalara değinmeyeceğim,1923'ten sonra biliyorsunuz Türk Savunma ve Havacılık Sanayi Gelişimini dört döneme ayırabiliriz.

Birinci dönem, ülkemizin yatırım yaptığı ve ürünlerini ortaya koyduğu bir süreç; akabinde NATO'ya dahil olduğumuz, Marshall yardımlarıyla birlikte milli bir savunma sanayi yerine daha çok bağımlı hale gelen bir savunma sanayi dönemi yaşıyoruz. Daha sonrasında özellikle 1974 Barış Harekatı'ndan sonra ciddi anlamda bir yatırım yapılmaya ve özgür sistemlerle bağımsızlığımızı ilan etmek adına savunma sanayisinde çalışmalar yapılıyor. Son 20 yılda ise özellikle 1980'lerin başlarında yapılan çalışmaların savunma sanayisini çok farklı bir yere getirdiğini görüyoruz. Bunların hepsinin örnekleri aslında somut olarak size aktaracağım. Kim bizim oyuncularımız savunma sanayisinde? İhtiyaç makamı, tedarik makamı ve savunma sanayi… Döngünün esası TSK ve benzer şekilde kolluk kuvvetlerimizin ihtiyaçları. İhtiyaç belirlenir ve Genel Kurmaya ulaşır. Hazır alım ve/veya yerli üretim olarak tedarikine karar verilir. Akabinde MSB ve/veya SSM üzerinden ilgili ihtiyaç, sanayiden tedarik edilir.

Tedarik makamı Milli Savunma Bakanlığı ya da Savunma Sanayi Müsteşarlığıdır. Türk savunma sanayisini özetleyecek olursam, kamu kurum ve kuruluşlarından ve sivil sektörlerden oluşan (bu sivil sektörleri destekleyen dernek, birlik ve kümelenmelerden) yaklaşık 195 firmadan bahsedebiliriz. Küçük KOBİ'leri de kattığımızda yaklaşık 320 gibi bir savunma sanayi girişimcisinden bahsedebiliriz. Yaklaşık 31 bin civarında çalışan var savunma sanayisinde. Hazır alımla başladık, sonrasında ortak üretim ile devam ettik ki savunma sanayisini öğrenmemizin en büyük adımı teknoloji transferi adı altında başlayan çalışmalardır. Arkasından bu iş nasıl yapılır dedik ve ortak üretim yaptığımız projeler bizi yetiştirdi ve geliştirdi. Bu sebeple kısmi tasarımımızı, yani bizlerin mühendisler olarak efor sarf ettiği ortak projeler gerçekleştirdik. Günümüzde özgün projelere doğru ilerliyoruz. Tamamen kendi ihtiyaçlarımız doğrultusunda geliştirdiğimiz sistem ve projeler üzerinde... Proje yaptıkça en büyük eksiğimizin temel ve ileri teknolojik ürünlerde olduğu ve bağımlı kaldığımızı gördük. Ayrıca biz ürün için ömür döngüsünü tamamlamış bir sanayi değiliz. Demek istediğim şu, proje ömrü dediğimiz, gereksinimin tanımlanmasında envanter girdikten ve envanter çıkasıya kadar olan ömürden bahsediyorum ben. Biz şu anda envantere sistem giriyoruz, onun lojistiği arkasından

modernizasyonuyla ilgili süreçleri henüz bir koşulunu şu anda savunma sanayi olarak tam olarak gerçekleştiremedik. Bir iki istisna örnekten bahsedebiliriz. Savronik'in de görev aldığı T-122 çok namlulu programlı roketatar sistemleri buna bir örnektir. Bunların lojistiği sağlanıyor ama savunma sanayi diğer çözümlerine baktığımızda biz ömür döngüsünü sağlamış bir savunma sanayi değiliz. Bütçemiz yaklaşık 15 milyar dolar civarına sahip geçen sene 14,4 milyar dolarlık bir bütçemiz vardı ki bunun yüzde 19,4'u tedarik ve modernizasyon projeleri için, kalan kısım ise silahlı kuvvetlerimizin ihtiyaçlarını karşılamak üzerine kuruluydu. Savunma ve güvenlik için ne kadar büyük bütçe ayırırsanız, savunma sanayi o kadar çok gelişir. Bütçeyi artırmak ihracatı da artırıyor, sanayisini de geliştiriyor, istihdamı da artırıyor, kullanıcı ihtiyacını da karşılıyor. Siz söylediniz ben bunları atlıyorum.

Savunma ve havacılık alanındaki ihracatımız nedir? Savunma Sanayi İhracatçılar Birliğimiz var, onların hesaplamalarına göre yapılan değerlendirmeler sonucunda ve firmaların verdiği bilgiler ışığında gerçekleşen bir planlama, normalde resmi olarak 5,1 milyar dolarlık ciro yapılmış, 1,65 milyar dolar ihracat sağlamış bir savunma sanayimiz var. Savunma Sanayi İhracatçılar Birliğine bağlı olmayıp ama yine de savunma sanayisinde dünyaya ihracat yapan firmalarımız var, yani 1,95 milyar dolarlık bir eforumuz var şu anda ihracatta. Bunları neden anlatıyorum, çünkü 2023'e bazı hedefler konuldu. Hedeflerin bazıyla bu karşılaştırmaların, sayıların aklınızda kalmasını özellikle istirham ediyorum. (5,1 ciromuz var, 1,9 ihracat. Bu satış, kâr değil.)

Bu rakamlar, şu anda savunma sanayinin özellikle 1980'lerde ortalama verdiği değerlerden çıkarılmış bir veridir. Şu anda alınmış 11 milyar dolarlık projelerimiz var. Bu 2015 sonrasında aslında bizleri destekleyecek bir fon görevi içeriyor.

Savunma sanayinde rekabet çok önemli, işte dediğim gibi, 5,1'le, 1,9 ihracat yapıyoruz. Her yerde görebilirsiniz. Bir sürü şirketler var savunma sanayinde, Amerikan şirketlerini de göreceksiniz. Ki bir Amerikan şirketiyle ülkemiz şirketleri arasındaki sayısal bir uçurum farkını da göreceksiniz. Yani bir Lockheed Martin 40 milyar dolar, ASELSAN ise sadece 1 milyar dolarlık bir ciroyla bu sektörde görev alıyor. O yüzden aramızda ciddi anlamda bir uçurum var. Bu neyle kıyaslanabilir, Amerika'nın savunma sanayisini herhangi bir ülkeyle karşılaştırdığınızda oranlar birbirine aşağı yukarı çok yakın. Burada analiz yapmıyorum sadece sayıları konuşuyorum bilginiz olsun.

Türkiye savunma sanayisinin geleceğini kimler belirliyor. Öncelikle biliyorsunuz bir Milli Güvenlik

Kurulumuz var. Burada Milli Güvenlik Siyaset Belgesi çıkıyor, strateji belirleniyor, bu stratejiye göre yerel stratejimiz ortaya çıkıyor. Herkes payını alıyor. Savunma sanayine baktığımızda da bunu kimler alıyor; tabii ki Bakanlar Kurulu, arkasından Savunma Sanayi Yüksek Koordinasyon Kurulu. Bunlar bu stratejik hedefler kullanılıyor, içerisine savunma sanayinin ihtiyacı olan alt yapıyı kurmakla ilgili hedefleri koyuyorlar. Daha sonra zaten bu hedefler doğrultusunda silahlı kuvvetlerimiz ihtiyacı doğrultusunda da savunma sanayi icra kurulu dediğimiz kurul içerisinde bunların planlamaları yapılıyor ve bütçeleri onaylanıyor. Kimlere veriliyor? Öncelikle Milli Savunma Bakanlığı. Milli Savunma Bakanlığı daha çok ihtiyaçları bilinen, SSM ise gereksinimleri tanımlayan, savunma sanayisine aktaran bir kurum olarak görev alır. Bizim geleceğimizi aslında tüm bu delegasyon belirliyor. Bunları yönlendiren ve destekleyen çalışmalar neler? Tabii ki bizi, birçok farklı çalışmaları, bu konuda ciddi anlamda savunma sanayimizin bu dediğim delegasyonunu yönlendirir. İlk başta 2003 yılında yapılan, Türkiye'nin 2023 projesiyle ilgili başlayan bir süreç, burada gerçekten savunma sanayimizi yönlendirecek birçok kararlar alındı. Bunlar şu anda uygulamalara birebir aktarılan aslında çalışmaların da başlangıcıdır. Bunun dışında Ekonomi Bakanlığı, teknoloji ve savunma sanayini yönlendiren Savunma Bakanlığı, Cumhurbaşkanlığının son dönemlerde yaptığı rapor tartışmalarıyla ilgili yapılan çalışmalar gibi birçok devletin içerisinden yapılan toplantılar, görüşmeler, seminerler aslında bu dediğimiz bir önceki Türkiye'nin savunma sanayine yön veren delegasyonun temelini oluşturuyor Bunun dışında SSM'de ve savunma sanayisinde sempozyumlar, semineler, fuarlar düzenleniyor. Burada birçok sivil, kamu kurumlarından gelen müfettişler, bu konularla ilgili bilirkişilerin verdiği feedbackler, girdiler, savunma sanayinin geleceğiyle ilgili bu dediğimiz delegasyonun yönlendirilmesinde önemli bir etkene sahiptir.

Bizim 2023 hedefimizde konulan hedefler savunma sanayi için nedir? Somut örnekler, kısa vadeli 8 Milyar dolar ciro ve 2 Milyar dolar ihracat hedefidir. Ekonomi Bakanlığının bir eylem planı çıktı. Burada ihracat hedefimizin tutması için 2023'te 500 milyar dolar konuldu. Bunun savunma sanayisinde olan payı ne; 25 milyar dolar. Bunun için çalışacağız savunma sanayisinde. Dikkat edin bizim normalde ihracatımız şu anda 1,4 civarında. Bizim 2023'te 25 milyar dolara çıkmamız hedefleniyor. Aradaki farkı siz hesaplayın. SSB, tabii ki Ekonomi Bakanlığımızın verdiği karar doğrultusunda Savunma Sanayi Müsteşarlığı, stratejiler belirliyor. Onlar ne hedefler koyuyor, onlar daha kısa vadeli dönemler için stratejik hedefler belirliyor. 2016'ya kadar stratejik hedefler doğrultusunda 1.8 milyar dolar gibi bir hedefimiz var, ciro hedefimiz var. İhracat hedefi olarak 2 milyar dolar. Bunun nasıl yapılabileceğine dair eylem planları hazırlanıyor. SSM'nin web sayfasına girdiğinizde direk savunma sanayi stratejisiyle ilgili her türlü bilgiye erişebilirsiniz. Bu önümüzü görmek, savunma sanayinde çalışmak isteyen arkadaşlarımız için de aslında güzel bir vizyon Bu kapsamda birçok eylem planı hazırlandı SSM'nin bunları nasıl uygulayacağına dair planlamaları da var. Tabii bunların her birinin uygulanması en önemli şey. SSM elindeki bu veriler ışığında sağlanan fonlarla savunma, birçok projeleri başlattı. Hedef doğrultusunda adımlar atıldı. En önemli şeyler platform ve Ar-Ge projelerine ciddi anlamda destekler sağlandı. Neler yapıldığını hepiniz biliyorsunuz. Son dönemde işte helikopter projesi, eğitim uçağı projesi Tx/Fx projesi, roket fırlatma projesi. Bunlar gerçekten önümüzü açacak ve bir şekilde bizim katma değerimizi artıracak projeler.

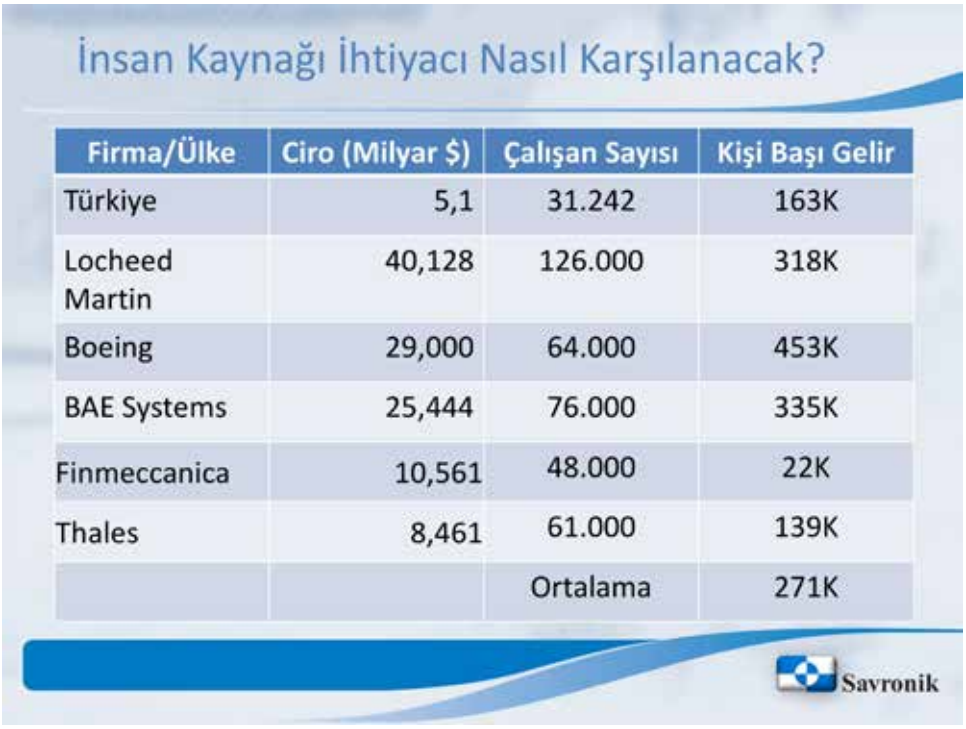
Dış tedarik olarak ihtiyaç duyulan sistemlere yerli sanayi tarafından katkı sağlanması için de ciddi anlamda ofset kuralları olarak yani sanayinin gelişmesine önem verildi. Bir diğer çalışması da ki kıymetli bir şeydir, özgür platform. Buradaki kastım şudur, biz birçok platformu şu anda gerçekleştirmiş bulunmaktayız. İnsansız hava araçlarımız var ki siz burada ciddi bir rakam söylediniz. Ona benzer atak helikopter projelerimiz var. Platformun üzerine kendi yaptığınız silah sistemini tanıtmakla ilgili problem yaşıyorsunuz. Nasıl yaşıyorsunuz? F-16'mız var, füze sistemi geliştirmişsiniz ve F-16'ya takamıyorsunuz. Neden takamıyorsunuz, çünkü platform sizin değil. Özgür platformdan kastım bu. Eğer bir sistemi satabiliyorsanız kimseye bağlı olmadan özgürsünüz demektir. Bununla ilgili projeleri başlattılar ki bu gerçekten hepimizin mühendis olarak gelişmesinde ve savunma sanayinin ilerlemesindeki en büyük etkenlerden biri olacak. Onun dışında test ve geliştirmeyle ilgili alt yapı çalışmalarını başlattılar. Bunlar tabii Savunma Sanayi Müsteşarlığı üzerinden oluyor ama savunma sanayinin ilerlemesi bu hedefler doğrultusunda yol alması için delegasyonların destekleri çok

önemli. Ne kadar bütçe ayırabiliyorlar, o konuda da ciddi anlamda problem yaşıyoruz, sayılarını vereceğim. Uluslararası projelerde de özellikle destekleme anlamında da ciddi girdiler var ki bu sadece müsteşarlık değil müsteşarlığı yönlendirilmesinde birçok kişinin girdisi var bu seminerlerde özellikle. Bu konunun önemi şu, bir pazar var, bir pazara girmenin yolu özgün sistemlerle olduğu gibi paydaşlarla da olabilir. Önemli olan ne kadar katma değer sağladığı bu paydaşlıkla birlikte, teknolojik derinliği olan sistemler. Bunun dışında Savunma Sanayii Müsteşarlığı ve Mili Savunma Bakanlığı desteğiyle bir sektörün geliştirilmesi için benzer sektörlerde iş yapabilmek... Bu teknolojik verimliliği artırmak için yapılan adımlardır Tabii bu hedeflere nasıl ulaşabileceğimiz konusunda kendi verilerimi de sizinle paylaşmak istiyorum. Öngörülen bütçeler, sağlanan destekler gerçekten bizim bu hedefi yakalamamız konusunda yardımcı olacak. Tabii bu hedeflere ulaşabilmek için en önemli şey insan kaynakları. Bu insan kaynaklarına biz sahip olabilecek miyiz, bu çok önemli bir şey. Genel modelimiz var acaba bu eğitim modeli doğru mudur? Yoksa buna biraz katkı sağlanması gerekiyor mu? Onun dışında teknolojik yeniliğimizi nasıl sağlarız ki bağımsız oluruz, kendi sistemlerimizi herkese rahatça satabiliriz. Tabii bir de en büyük risk, savunma sanayinin geleceği ve iş ihtiyacı, bunu diğer sektörlerde nasıl destekleyebiliriz. Bunları bekliyorum… Biraz önce de söylediğim gibi. Savunma sanayisine ne kadar bütçe ayırırsanız o kadar çok istihdam sağlıyorsunuz, daha çok kaynağınız oluyor. Bunu başarmış ülkeleri görüyorsunuz; ABD, Rusya, Japonya gibi... Gerçekten ciddi bütçeler ayırıyorlar, bunların karşısında çok güzel sanayi ekonomisi oluyor. Dediğim gibi Türkiye'nin ayrılan bütçesi 19,4 yani yaklaşık 15-20 milyar dolar arasında değişen bir bütçeden bahsediyoruz. ABD'ye baktığımızda bütçenin tedarikle ilgili (kısmı) yüzde 19 ama Ar-Ge'ye bakıyorsunuz yüzde 11. Buradan yüzde 34'lük bir savunma sanayine pay veren, sektörü destekleyen bir ülkenin Ar-Ge işine ayırdığı bütçeyi kıyaslayabiliriz. Dolayısıyla orada çok özel fikirler geliştirilebiliyor, ciddi anlamda

yan sanayi, teknoloji verimliliği sağlanabiliyor.

Türkiye ne yapıyor? Türkiye yüzde 19'luk Savunma bütçesinden sadece yüzde 15'ini Ar-Ge'ye ayırıyor ki bu da gerçekten büyüme anlamında problem yaratıyor. Kaldı ki bu dönemde yaşadığımız en büyük şey, Ar-Ge bütçesi onayı ki ciddi anlamda sanayimizin söylediği birçok Ar-Ge projesini şu anda hayata geçiremiyoruz. Gelişmiş savunma sanayi gördüğümüz zaman aşağı yukarı bizim oraları yakalamamız ve 2023 hedefi için de eğer bu moralle devam edersek bu durum ciddi bir problem olarak karşımızda duruyor. Sağlanan destekler yeterli mi? En önemli şeylerden biri de destekler. Maalesef savunma sanayini destekleme konusunda bizim bütçemizde herhangi bir kurum yok. Bunun dışında bakanlıkların sağladığı, Ar-Ge faaliyetlerini destekleyici birçok çalışma gerçekleştirildi Türkiye'de

ama onların bütçeleri de gerçekten yeterli değil. Dolayısıyla biz bu hedefleri yakalamak istiyorsak, bu sanayinin de gelişmesini istiyorsak belli açılardan destekler sanayimize yön verecektir. İnsan kaynakları, bu hedeflere erişmedeki en büyük etken, her zaman olduğu gibi eğitimli insan... Türkiye 5,1 milyar ciroyu yaklaşık 31 bin insanla gerçekleştirdi. Kişi başına böldüğümüzde yaklaşık 163 bin dolar civarında.



Şimdi çok iyi örnekler değil ama Lockheed Martin 1 No'lu savunma sanayi şirketi şu anda dünyada. Onun 40 milyar dolarlık cirosu, 40 bin kişiyle gerçekleşti. Ortalama 270 bin dolar civarında bir kişi başı gelir diye düşünün. Bunu nasıl sağlayabiliriz? Bizim 195 üniversitemiz var, yaklaşık kontenjanı da 942 bin civarında ki bu alanda çalıştırılabilecek insanlar. Yüzde 100'ünü alsak herkes tabii ki şu an yetmiyor. Bize etkili insanlar gerekiyor, yurtiçi yurtdışı bunların hepsini bir bütün olarak değerlendirmek gerekiyor. Dolayısıyla bununla ilgili gerçekten bir analiz yapılmalı ve bir politika belirlenmeli ve mutlaka bunun desteklenmesi için ilgili çalışmalar yapılmalı.

Birçok farklı tedarik modeli var. Onun dışında ABD silahlı kuvvetlerinde tedarik modelleri aslında milli savunma kuvvetlerinin farklı tedarik zincirleri üzerinden sağlanıyor. İngiltere, Fransa, Güney Kore ise bizim gibi biraz önce anlattığım tedarik modelleriyle tedarik gerçekleştiriyor. İsviçre ve İsveç özel şirket üzerinden sağlıyor tedariklerini. Tedarik sisteminde bizim en büyük sorunumuz, ben bunu istiyorum şeklinde gelmesi. Bizim en büyük sorunumuz o oluyor işte çözümü maalesef kullanıcımız yönlendiriyor. Örneğin sınırdasınız, sınırdaki bir tehdit unsurunu görmekle ilgili sizi bir kameraya yönlendiriyor. Bize dese ki ben sınırdan şu tehdidi, şu kadar kilometrede görmek istiyorum, lütfen bunu nasıl yapacağını bana bildir. Sanayici çalışacak, kameralar yapacak, sensörler yapacak, çözüme dair ne farkındalık varsa bununla ilgili sistem çözümü getirecek, ondan sonra projeyi başlatacaklar. Bizim, maalesef sanayicinin özellikle kullanıcıyla ihtiyacın anlaşılması ve çözümü konusunda ciddi bir problemimiz var. Bunu gerçekleştirebilirsek kullanıcının istediğini gerçek anlamda anlayabilirsek, savunma sanayisini gerçekten daha iyi yerlere getirebiliriz diye düşünüyorum. Bununla ilgili ciddi model tartışmaları var, yakın zamanda bir düzenleme bekliyoruz.

Günümüzde uygulanan sanayileşme modeli özellikle 1980'ler tarafından 2000'li yıllardan itibaren kullanılan model. Bir ana yüklenici firmalar, onların hemen altında alt yüklenici KOBİ'den biraz büyükçe firmalar yer alıyor, bu KOBİ'leri destekleyen de küçük işletmelerimiz var. Burada en büyük sıkıntı şu oldu, özellikle hedeflerimiz içinde ilk 100'de Türk savunma sanayisinden birçok firmanın olmasını talep etti. Şuradaki (Yukarıdaki grafik) alt yükleniciler kısmındakiler maalesef kalkmış durumda ve küçük işletmelerde buraya doğru kaymış durumda. Bu sanayileşme modelinde de ciddi anlamda problemler yaşanıyor. Bunu çözmek için de gerçekten müsteşarlık nezdinde çalışmalar yapılıyor ama henüz bir sonuca ulaşılamamış durumda. Bunlara Savronik'ten sanayileşme modelinde yaşanan sorunlara dair bir iki örnek: Savronik, 1986 yılında atış kontrol sistemlerini Roketsan'la çalışırken ve Türkiye'de yerli olarak üreten bir firma iken bugün bu alanda yok ve ilgili alt yapı ASELSAN'a verilmiş durumda. Bizdeki bilgi birikimi heba edilmiş oldu. Savronik ilk milli kriptoyu yaptı bugün ise ilgili projeler Aselsan'a ve arkasından TÜBİTAK'a verildi. Belli ölçüde teknoloji devrimine başlayan ilk firma olmamıza rağmen bizdeki kabiliyet heba edildi ve ilgili yeni çalışmalar başka bir firmaya verildi. 1990'lı yıllarda STFA bünyesindeydik, STFA Sedef Tersanesinde ilk yerli askeri gemi üretimi gerçekleştirildi. Gemi üzeri ilk sistem geliştirme ve entegrasyon çalışmalarını yaptık, bugün bu alanda HAVELSAN ve ASELSAN var.

Sektörde bizim gibi firmalar belli ölçüde teknoloji üretmeye başladığı anda derinleşmeyi sağlayamadan hayatlarını devam ettirmek için daldan dala atlıyor ve maalesef sadece bir müşterisi olduğu ve onun ihtiyacına göre çalıştığından bir teknoloji üzerinde tam verimlilik sağlayamadan ikinci proje, üçüncü, dördüncü projeye geçmek zorunda kalıyor ki bu bazen ihtiyaçtan kaynaklanıyor. Bu da bizim verimlilik sağlamamızda en büyük problem diye öne çıkıyor, bununla ilgili ciddi anlamda çalışmalar sürüyor. İhtiyaca dayalı olarak birçok platformda farklı sistemler kullanılıyor. Bununla teknolojik derinliği ve benzer çözümler kapsamında ciddi anlamda çalışmalar yapılıyor. Her platformun kullandığı sistem, teknolojisini oluşturan ekipmanlar, devreler, bileşenler ile ilgili derinliğiniz ve bağımlılığınız ve diğer kullandığı sistemlerle ilgili problemler de özellikle lisans problemlerinden dolayı platformların özgürlüğü gerçekten çok önem arz ediyor ve siz sektöre satış ve pazarlama açısından uyum sağlayamıyorsunuz; pazarlık yapamıyorsunuz, rekabet edemiyorsunuz sizin ürünleriniz gerçekten iyi olmasına rağmen rekabet sağlayamıyor. Bir de en büyük riskimiz tabii bizim bu hedefleri yakalamamızda ihtiyaç.

Savunma sanayi ile ilgili gerçekten birçok ülkede bütçeler azalıyor. ABD bütçelerinin azalması neden önemli? ABD biliyorsunuz çok farklı platformlarda ürün üretebilen gerçekten kritik şirketlere sahip. Yüzde 55'i zaten savunma sanayinin ABD ve ABD ihtiyaçları için yapılıyor ki bunun yüzde 45'i için ABD'li şirketlerle yarışmak zorundasın. ABD dışında Fransa, İngiltere, Güney Kore'li firmalarla da yarışmak zorundasınız, sadece yüzde 45 için. ABD bütçesi azaldığında ABD savunma sanayisi geri kalan pazara saldıracak. Dolayısıyla bizim hedeflediğimiz marketlerde ciddi bir büyük rakibimiz olacak ki bu oradaki en büyük problemimiz. Dolayısıyla alternatif pazar araştırması yapılıyor. Özellikle sağlık, ulaşım ve enerjide ortak teknolojilerle ilgili çalışmalara devam ediliyor. Bunun için SSM nezdinde yapılan birçok çalışma var. Bu durumu idrak eden ve riski azaltmak için adım atan bir örnek için yine bağlı olduğum Savronik'i gösterebilirim.

Biz savunma sanayisinde özellikle 2003-2004'te sistemler üretirken benzer sistemleri ulaştırma alanında kullanmaya başladık. Özellikle Pamukova kazasından (22 Temmuz 2004 tarihinde Pamukova'da meydana gelen ve 41 kişinin yaşamını yitirdiği hızlandırılmış tren kazası) sonra Tren Bilgi Sistemi ve Sinyalizasyonunu geliştirip şu andaki tüm konvansiyonel ve hızlı tren hatlarına entegre etmiş bir firmayız. Ayrıca 7/24 onun bakımını gerçekleştiriyoruz.

Bunun dışında sağlık sektöründe, karayollarında özellikle akıllı otoyol sistemleri ve tünel otomasyon sistemleri üretiyoruz. Askeri sistemlerde ürettiğimiz 'aviyonik' sistemler şu anda demiryollarında kullanılıyor. Gemi için ürettiğimiz sistemler sivil sektörde birebir kullanılıyor. Haberleşme sisteminde oluşturduğumuz network, karayollarının trafik izleme sistemlerinde birebir kullanılıyor. Buna en iyi örnek, dolayısıyla savunma sanayinin geleceği aslında sektörün dışından sektörlerle iş yapmak anlamına geliyor. Burada başarılı olabilirsek hedeflere ulaşabiliriz diye düşünüyorum. Bu da diğer örnekti.

Bilişim sisteminde yaptığımız çalışmalar yine çok iyi bir örnektir. Bunun dışında Türkiye'de çok farklı yerlerde özellikle sivil alanda gerçekleştirdiğimiz projeler mevcut. Yaklaşık 500 personeli olan KOBİ statüsündeyiz. Bunun dışında yurtdışına da açıldık. Özellikle ulaştırma alanındaki sistemler Cezayir, Arnavutluk, Türkmenistan'da kullanılıyor. Hindistan ve Türkmenistan'da Savronik yerel bir şirket olarak çalışmalarını gerçekleştiriyor. 2023 hedefleri yakalamanın en önemli yolu; silahlı kuvvetlerin ihtiyaçları, onun bize ayırdığı bütçe ve bütçeden ayrılan Ar-Ge payı ve odaklılığıdır. Bunun dışında sivil havacılık çok önemli. Uluslararası ortak projelere teknolojik derinliği olan

alanlarda paydaş olunması, sağlık, ulaştırma ve enerji sektörlerinde ithalatın önüne geçilmesi ve bu alanda kamu alımlarında yerli katkıyı sağlayacak adımların atılması gerekiyor ki ofset uygulamaları yapılsın ve sanayimiz pay alsın ve gelişsin.

Teşekkür ederim sağ olun.

Dr. Erdener Ildız- Sayın Harun Solmaz'a çok teşekkür ederiz. Bizi, Türkiye'de ve dünyada savunma sanayi üzerindeki istatistiksel değerlendirme ve geleceğe dönük neler yapılması gerektiği konularında gayet güzel bilgilendirdi.

Şimdi konuşmasını yapmak üzere Yarbay Hakan Gürkan'ı davet ediyorum. Sayın Gürkan 1975 yılında Adana'da doğmuştur. Yükseköğrenimine 1993 yılında Ankara Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümünde başlamış, 1995 yılında Hava Kuvvetleri Komutanlığından burs kazanmış ve bu fakültedeki öğrenimine askeri öğrenci olarak devam etmiştir. 1997 yılında mühendis teğmen olarak Hava Kuvvetleri saflarına katılmıştır. Yüksek lisans eğitimini Ankara Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünde 2000 yılında yapmış, doktora unvanını ise aynı üniversiteden 2007 yılında almıştır. Ayrıca Atılım Üniversitesinde işletme dalında yüksek lisans yapmıştır. Elektronik füze program ve yazılım yoğunluklu sistemlerle ilgili çeşitli projelerde yurtiçi ve yurtdışında eğitim, sistem, test ve değerlendirme proje faaliyetlerine katılmış olup NATO kapsamındaki çalışma sahasıyla ilgili olan SET-212, SET-232 ve SCI-260 çalışmalarında panel üyesi olarak ülkemizi temsil etmiştir. Sırasıyla 10. Hava Üs Komutanlığı, Rapier Füzesi 2. Hat Komutanlığı, Hv.K.K.lığı Elektronik Harp Destek Merkezi Komutanlığı Radar Sistemleri Analiz Subaylığı, Ankara Hava İkmal Bakım Merkezi Mühimmat ve Elektronik Hat Şube Müdürü görevlerini yapmıştır. 2012 yılında Hava Kuvvetleri Komutanlığı, Milli Muharip Uçak Elektronik Harp Subayı olarak atanmıştır. Halen Milli Muharip Uçak Geliştirmesi Proje Yönetim Ofisinde çalışmaktadır. Buyurun.

NOT: Yarbay Hakan Gürkan'ın sunumu kendi isteği nedeniyle yayınlanmamıştır.

Dr. Erdener Ildız- Yarbay Hakan Gürkan'a teşekkür ederiz. Hava Kuvvetleri'nin bugünü ve geleceğe yönelik projeleri hakkında bizi aydınlattı. Ben genç bir teğmenken 1974'te Kıbrıs Harekatı olduğunda F-5 similatörlerinin yani pilotların eğitim aldığı sistemlerde arıza meydana geldiğinde birçok parçanın yurt dışından gelmesi ve ambargo nedeniyle sistemler devre dışı kalmış, pilotlar eğitim yapamıyordu. Biz bu kadar zorlu günleri yaşadık ve tabii sonra çok büyük çabalarla o sistemleri tekrar devreye soktuk ama o sıkıntıları, o acıları, o stresleri yaşamış bir kişi olarak ben burada gördüğüm bu gelişmelerden gerçekten çok gurur duyuyorum. Türkiye çok önemli adımlar atıyor savunma sanayisinde ve geleceğe yönelik çok güzel projeler var. Ben 25 yıl önce Eskişehir İkmal Bakım Merkezinden emekli olduğumda daha yeni yeni devreye sokmaya çalıştığımız projelerin ne durumda olduğunu görmek için, biraz da bu panel hazırlık olarak da özellikle gittim, bir göreyim dedim ne olmuş ne bitmiş, bu 25 yıllık sürede nasıl bir aşama kaydedilmiş, gerçekten gurur duydum, bu konuda emeği geçmiş tüm mühendis ve silahlı kuvvetler mensuplarına da teşekkür ediyorum. Şimdi söz dinleyicilerde, soruları artık sorabilirsiniz.

Atilla Erdoğan- Genel olarak sunumlar çok çok güzeldi, gurur vericiydi. Yalnız gözden kaçırılmaması gereken şeyler de var. Küçük bir siyasi şey var o da şu; benim sınıf arkadaşım, İstanbul Teknik Üniversitesini bitirdikten sonra Amerika'ya gitti, eğitimini yaptı, geldi HAVELSAN'ın genel müdürü oldu ve burada bazı yazılımlar yaptı. Fakat yazılımlar Amerika'nın bazı şeylerine karşı olduğu için Ak Saray'ın emrinde çalışan kumpasçılar eliyle hapse atıldı ve 2,5 yıl hapis yattı. Bu arkadaşımızın 2,5 yılının hesabını kim verecek. Şimdi bakın, bunlar çok güzel çalışmalar ama bazı siyasi şeyler bunun önüne geçiyor. Eğer bir ülkede bu savunma sanayi varsa çok güzel. Ama bir ülkede birilerinin emriyle kozmik odaya giriliyorsa, bu komplodur arkadaş, ben bu kadar söylüyorum, teşekkür ediyorum.

Harun Solmaz- Sadece bir bilgi olarak söyleyeyim, sözünü ettiğiniz kişi şu anda Savronik'in Yönetim Kurulu Başkanıdır bilginiz olsun.

Atilla Erdoğan- Faruk Ağa Yarman, çok değerli bir insandır ve 2,5 yılının hesabını birilerinin vermesi gerekir.

Erdener Ildız- Bu konuda ben de bilgi vereyim, Faruk (Yarman) çok değerli bir arkadaşımız. Yeni Amerika'dan dönmüştü, Savronik de yeni kurulmuştu ve Eskişehir'de Savronik firmasının şubesini kurup işe başlamışlardı. İlk projelerini biz verdik, yani ben 1977 yılında görev yaparken, Hava Kuvvetleri dergisinde de bir makalem yayınlandı. O makalede askeri elektronik sanayinin gelişmesi için sanayi ve üniversiteler işbirliği yapılmalıdır diye bir görüş savunuyordum. O görüş çerçevesinde, 1985 yılında Eskişehir İkmal Bakım Merkezi'ne de gidince, yetkimiz çerçevesinde sanayiye ve üniversiteye projeler verdik. Savronik'in ilk yaptığı projeleri Eskişehir İkmal Merkezi verdi. Faruk kardeşimiz bu projelerde çok değerli çalışmalar yaptı ve aldığı o tecrübelerden sonra da HAVELSAN Genel Müdürü olarak milli savunma sanayine hizmete devam etti. Tabii ki bu gelişmeler bir noktadan sonra global güçleri de rahatsız etmeye başlıyor, o noktada sıkıntılar meydana geldi. Hatırlarsınız belki, Faruk kardeşimizi EMO'da bir konuşma yapması için davet etmiştik, kendisine orada ben, "Bizim bu başlattığımız projeler ne durumda, nereye kadar gitti?" diye sormuştum, o da "sonuna kadar gittik" demişti. Ve tabii bu çalışmalar birilerini ister istemez rahatsız ediyor, o rahatsızlık nedeniyle Faruk, "Balyoz" tertibiyle tutuklandı. Sadece Faruk kardeşimiz değil, bu alanda çalışma yapan, Hava ve Deniz Kuvvetleri'nde çalışma yapan arkadaşlarımızın da başına geldi. Tabii bunlar olacak, biz de durmayacağız, çalışamaya devam edeceğiz. Şu anda savunma sanayi ihtiyaçlarının yüzde 50'ye yakınını kendimiz karşılıyorsak bu gerçekten çok büyük bir aşamadır. Faruk, EMO'daki o toplantıda, "Biz sonuna kadar gittik ama şu anda o kadronun yüzde 80'i tasfiye oldu" dedi. Bunun da altını çizmek lazım. Fakat o insanlar sonuçta o tecrübeleriyle bir yerlerde tekrar onu değerlendirebilir yeter ki perspektifleri olsun.

Buyurun hocam

Prof. Dr. Kemal Sarıoğlu- O insanları tasfiye edenlerin amacı nedir? Dış güçlerden mi geliyor, herhalde bizim kendi politikalarımız değildir çünkü zaten biz yetiştirmiş ve çalıştırıyoruz, onları tasfiye etmek milli politikamız olamaz, milli politika oluyorsa nasıl tasfiye ediliyorlar ben anlamıyorum, hiç anlamıyorum. Bari üniversitelerde de birileri gelsin bize ne üreteceğimizi söylesin de ondan sonra ona göre çalışalım. Soksunlar bizi de bir kavanozun içine, o kavanozun içinde çabalayıp duralım.

Ahmet Yürekli- Konuşmacılara teşekkür ederim, gerçekten değerli bilgiler verdiler. Ben emekli yüksek mühendis Albayım, uzun yıllar TSK'nın çeşitli yerlerinde görev yaptım, öğretim üyeliği dahil olmak üzere. Efendim şimdi ben de bir anımı paylaşmak istiyorum; Mardin'de Genelkurmay Jet Komutanlığı'nda teknik müdürdüm. 2003 ya da 2004 yılında ELINT (Elektronik İstihbarat) ve COMINT (Muhabere İstihbaratı) sistemlerinde muharip uçakları tespit ediyoruz. Malum uçakları takip ediyoruz. Bir F-4 ve F-16 çıkıyor sistemden, fakat F-35'ler uçtuğu zaman biz göremiyoruz, ekranda göremiyoruz. Çok enteresan bir şey, bir araştırdık ki, yazılımın altına F-35'i koymamışlar, çünkü yazılımı yapan Amerika veya Amerika firmaları. Bu sistemlerin tamamen milli olması ve devlet içinde bir kurum tarafından yazılıp geliştirilmesi gereklidir. Devlet dışındaki savunma sanayi firmaları ne kadar güvenilir, bunu yeniden gözden geçirmek gerekir. Çünkü Amerikalı ve İngilizlerin bize NATO sistemi diye kurduğu istihbarat sistemlerinde anlık bilgileri alamadığımız durumlar ve hatta sınır ihlalleri yapılan durumlar ne yazık ki takip edilip kayıt altına alınamamıştır. ELINT sistemiyle birçok yıl çalışmış bir mühendis olarak Amerikalı ve İngilizlerle yaptığımız ortak çalışmalarda kullanılan yazılımlara hiç erişemedim ve bu konuda da bir eğitim almadım. Kendi kendimize ne öğrendi isek öyle gitti.

Bu anımı da sizlerle paylaşmak istedim.

Yalçın Yılmazkaya- Bir düzeltme yapmak isterim. F35 uçakları hala Türkiye'ye gelmedi. Belki yabancı bir uçaktır. İkincisi ise, milli olarak yazılım yapılıyor ASELSAN yapıyor.

Harun Solmaz- Şu anda geliştirdiğimiz iki tane projeden bahsedeceğim size. Orta ve alçak irtifa savunma sistemi üzerine. Eski sistemlerle ilgili belki de envanterde yer almış kimi sistemlerle ilgili bel ki de müdahale edemeyebilirsiniz ama lakin özellikle CASTOR diye bir program var ve bunlar

zaten Türk Silahlı Kuvvetlerinin envanterine girmiş ve bu kabiliyetler kazanılmış durumda.

Dr. Erdener Ildız- Teşekkür ederiz, başka sorusu olan var mı?

Salondan-Yalçın beye soracaktım. Benim sorum şu: Şimdi Türkiye'nin son 60-70 yıldır sanayileşmeyle ilgili ciddi sıkıntıları var. Bahsettiğim ağır sanayi, dünyada hiç sanayileşmeyi yapamadan, savuma sanayinde başarı üreten birinci lige çıkmayı başaran bir ülke var mı? Yani şimdi biz burada hep iyi ve güzel temennilerden bahsediyoruz ama bunlar ne kadar gerçek? Türkiye'de doğru dürüst bir sanayi bile yok. Bizim bu hedeflere ulaşmamız için bir umut var mı veya ne yapmamız lazım siyasilerden bağımsız olarak. Siyasilerin böyle bir katkısı olduğunu zannetmiyorum. Daha çok inşaat ve rant ekonomisi ülkede hakim olduğu için, sizin görüşlerinizi merak ediyorum. Teşekkür ediyorum.

Yalçın Yılmazkaya- Şimdi bu nereden baktığınıza bağlı. İsterseniz bir Nasrettin Hoca fıkrası anlatayım size. Nasreddin Hoca bir gün hanımıyla birlikte yatarken bir ses duymuş, 'içeriye biri girdi dikkat et' demiş, -bunu bana Üzeyir Garih bey anlatmıştı, Allah rahmet eylesin- ama kimse yokmuş ortalıklarda aşağı inmiş, etrafta gezerken hakikaten işte biri çıkmış yukarıya. Eskiden kapılarda böyle gözetleme deliği var. İçeriye bir bakmış hakikaten içerde biri var ama demin yoktu. Sonra demiş ki "Allah'ım işler içerden nasıl görünüyordu dışardan nasıl… ikisi de birbirinden farklı". Bunu biz International Finance Corporation geldiğinde anlatmıştık. Şimdi nerden baktığınıza bağlı, Türkiye'de sanayi yok görüşünü, ben kabul etmiyorum. Hiç hayatınızda Ortadoğu'ya filan gittiniz mi? Gitmenizi tavsiye ederim, genç çocuklara da tavsiye ederim. O zaman varlıklarınızı öğrenmeye başlıyorsunuz. Şimdi Amerika'ya gidiyoruz yokluklarımızı görüyoruz ya, bir de varlıklarımızı görmek lazım. O yüzden nerden baktığınıza bağlı. Bizim sanayimiz yok demek yanlış. Bunu ben kabul etmiyorum. Ama sanayimiz nerede diye söylerseniz doğru söylersiniz, eksiklerimiz çok var. Ben biraz evvel sevgili hocama da aynı şeyi söyledim, hocam bıraktığınız yerde kalmışız diye. Benim bitirme ödevim dışarıda gösteriliyor hâlâ Siemens tarafından filan. Bir sanayimiz yok diye değil ama bir sanayinin bir yere çıkabilmesi için de bir takım şeyler yapmanız lazım. Burada savunma sanayi çok önemli bir kilit değer burada. Savunma sanayisi için yaptığınız bir takım teknolojik harcamalar aslında aşağı doğru iniyor. Şimdi size lazerden bir örnek vereyim. Şu demin ki lazerli kalem. Nedir onun değeri? Atın bir değer canım, 10 dolar diyelim. Eğer lazerle size bir ameliyat yapıyorlarsa o aletin değeri aşağı yukarı 1 milyon dolara çıkıyor. Sizin şurada yaptığınız ABL'nin (Airborne Laser) birden bire olay 100 milyon dolara çıkıyor. Şimdi aslında teknoloji aynı gibi görünüyor değil mi? Çıkış nedeni bunun aslında savunma ve havacılık teknolojisi. Şimdi siz şunu yapabilirsiniz, bir örnekle anlatayım ben size. Türkiye'de kompozit sanayi var. Biraz evvel anlattım, gelecek diye anlattım sayın hocam. Kompozit sanayi var ama şunu gördük ki bizim kompozit sanayisi sadece boru yapıyor. Ve kilosu 1 dolar. Şunu gördük ki, bu kompozit sanayimize bir yeterli sertifikasyon imkânı verirsek, yeterli devlet desteklerinden faydalanmasını sağlayabilirsek birden bire Termoset ve Termoplastikler ortaya çıkıyor. Aslında bunların içinde sadece ve sadece bilgi var. Biraz evvel dediğim gibi enformasyon değil. Birden bire kilo başına satış fiyatı bin dolara çıkmaya başlıyor. Şimdi çok fazla tutmak istemiyorum, nereden baktığınıza bağlı bizde sanayi yok değil, sanayi düzgün yönlendirilmiyor diyorsanız, size yüzde yüz hak veririm. Bizim en büyük problemimiz, ben inşaat sanayisinde de aynı şeyi yapıyorum. Katma değer yaratan teknolojiyi anlamıyoruz biz. Geçenlerde maden üreticileriyle İzmir'de birlikteydim. Başkanına dedim ki, sayın başkan katma değer dediğiniz nedir? Ben müthiş katma değer sağlıyorum dedi. Nedir dedim, kamyonculara iş veriyorum dedi. Şaka değil mi? Efendim dedim, burada bir tane madenimiz var kilosunu 180 dolara satıyorsunuz. Bunu insan vücudunda yavaş ilaç salınımı için kullanırsanız birden bire kilosu 180 bin dolara çıkıyor, yapma ya dedi. Şimdi bizde eksik olan aslında helvayı yapacak olan şu gençler. Bence alt sanayi o kadar kötü değil. Ben şimdi Havesanları, Savronikleri, komutanlarımı görüyorum, insan kesinlikle var. İnsanların eğitimi kesinlikle iyi. Bu çocukların herhangi bir tanesini herhangi bir ülkeye gönderin kesinlikle çok iyi olacak. Ben iyi bir örneğim. Ben Amerika'ya gittiğimde hocamdan aldığım diplomayı oraya götürdüm. GE bana soru sormadı. Beni tıp mühendisi olarak yetiştirdiler, çok iyi ultrason okurum ben. Biraz önce gösterilen Solid State Aperture Radar var ya sizin gösterdiğiniz, havada tarama yapan, bu sistem aslında ultrasonda, bebeklere baktığınız ultrason yani, aynı şeyi kullanıyor. Ben de bunun bir örneğiyim, ben

bunu 1980'de öğrendim, gittim oralara öğrendim. Şimdi tekrar ediyorum, sonra oturacağım. Bizde yok değil, iyi yönlendirilmesi, iyi hedeflenmesi, yüksek teknolojinin ne olduğunun güzel anlatılması, güzel hedefler verilmesi, komutanlarımızla artık konuşabiliyoruz. 10 yıl evvel ben komutanımın yanına giremezdim. Devleti eleştiriyorsunuz, haklısınız ama devletle artık şu anda konuşabiliyoruz. Birilerinin yanına gidip, efendim siz bunu yanlış yapıyorsunuz galiba deyince 1-2 dakika seni dinliyor. En önemli parçası, ben üniversitelerle konuşmaya başladım. Geçmişte sanayi üniversitelerin yanına gidemiyordu. Korkuyordum ben hocam bana yine ne yapacak diye. Şimdi sanayi… Bir örnek verip oturayım; İkitelli Organize Sanayi bölgesi içinde Havacılık Farkındalık Merkezi açtım ben, İSTKA projesi kapsamında. Sadece içeri gidecek, çayını içecek, benim böyle bir teknolojiye ihtiyacım var, bana destek olun diyecek. Ya da ben havacılığa geçmek istiyorsam benim hangi tür sertifikasyona ihtiyacım var diyecek… Devlette müthiş destekler var. Yüzde 50'sini devlet şakır şakır ödüyor, eğitimin yüzde 75'ini ödüyor. Şimdi var olanlara da bakmak lazım, o yüzden cevabım şu, alt yapımız var. Bir örnek vereyim; Birleşik Arap Emirlikleri'ne gittim geçenlerde, Leclerc Tankı (Fransız) dev bir tank. Dişli kutusunu koymuşlar böyle bakıyorlar. Ne oldu dedim. Bunu dediler Fransa'ya yollayacağız, -2,5 ton ağırlığında- şimdi tabii orada İstanbul'da zannediyorum kendimi, ben onu Levent'e götürsem akşama sökeriz, yeni bir dişliyi takarız orada göndeririz, dedim. Ooo dediler öyle bir altyapı bizde yok! Bizde altyapı var, sadece sanayide değil üniversitede de var, bunlar gerçek güzel hedefler doğrultusunda ki hedefler yavaş yavaş çıkıyor bakın; komutanımız söyleyince ben bilmiyordum 2035 hedefimizi okuyorum şimdi. Onları okuyun ve bunlar için neler yapılacak yoksa bizde her şey var, mühim olan helva. Teşekkür ederim.

Salondan- Yalçın beye teşekkür ediyorum. Yalçın bey her şeyi gayet iyi ifade ediyor. Ben de üniversiteye baktığım zaman şunu görüyorum, üniversiteyle endüstrimiz arasında kaynaşma, bir anlaşma, teknoloji transferi ya orada çok önemli olaylar var. Şimdi üretici bir dükkân açıyor, bir zorlukla karşılaştığı zaman başaramıyor ve orada duruyor, stop ediyor. Şimdi bunu söküp atmamız lazım, bu mekanizma yanlıştır. TÜBİTAK projeler veriyor, ben şu şu şu projeleri veriyorum, ben de TÜBİTAK'la çalıştım. Memlekette binlerce proje yapıldı, endüstrilerin yararına projeleri ben programa koyduruncaya kadar çok zorluk çektim. Şart olarak da böyle proje dağıtacaksanız ben yokum bir daha beni çağırmayın dedim. Bir Dumansız Yakıt Projesi yaptık, o projede de başarısız olduk Şimdi TBMM'deki milletvekili ne diyecek? Ya TÜBİTAK'a yardım veriyoruz, TÜBİTAK ne yapıyor, endüstrinin neresinde kullanıyor? İşte bunlar eksiktir, bunları muhakkak tamir etmemiz lazım. O zaman üniversiteler daha güzel projeler yaparlar, endüstriden yardım alırlar, endüstri de üniversiteden… Gayet güzel olur. Teşekkür ederim.

Süleyman Balkan- Değerli katılımcılar buradaki tartışmalara bir katkıda bulunmak istiyorum. Ben mühendisim ama liseden beri ekonomistim. Bizim mühendislik camiasının en temel probleminin ekonomik temel yapısının olmaması olarak görüyorum. Ve Türkiye'nin aslında ben matematikten anlamam meselesine karşı mühendislerin derin matematik kültürü, iktisatta veya temel ekonomiyi anlamalarında çok faydalı bir şeydir. Şöyle bir soru sormak istiyorum arkadaşlar, Osmanlı İmparatorluğu kurulduğunda nasıl bir ekonomi vardı Anadolu'da, bilen var mı içinizde? Bunu merak eden var mı? Bakın arkadaşlar tarım, hayvancılık diyor arkadaş, bunlar boş işler. Venedik'in bütün malları İpekyolu üzerinden Pekin'e doğru gidiyordu. Dünyanın bütün ticaretinin geçtiği yerlerden birisi Kayseri, birisi Antep, birisi Edirne, birisi Dubrovnik ve Diyarbakır. Bir İpekyolu üzerinden işlerdi bütün dünyan ticareti çünkü Amerika yoktu o zaman, deniz ticareti de yoktu. Biz oradan beslendik. Bir sürü insan diyor ki, Anadolu'da bir şey var. Ben onu buldum arkadaşlar, bizim çok derin, global kültürümüz var. İlk global kültür Anadolu'da gelişti. Bu bir, yani bunu bir defa bilelim. Bu batılıların sürekli söylediği şeylere ben inanmıyorum. Ben ekonomist İdris Küçükömer'in de öğrencisiyim. Teknik üniversitede ilk defa İdris hocaya konferanslar verdirdim. Kendisinin çok önemli bir kitabı var, "Türkiye Batılı Olamaz" batılılaşamaz. Peki, şu soruyu soracağım, niye zırvalıyorsun diye sorabilirsiniz, size bir sorum daha var, Japonya batılı mı oldu, hayır Japonya çağdaş oldu. Çin şu anda batılı mı oluyor, hayır. Hindistan batılı mı oluyor, hayır, sadece çağdaşlaşıyor.

İkinci söyleyeceğim bir şey daha var, çok önemli bir şey. Burada konuşulan ve kafa karıştırılan bir

şey var. Bilim ve teknoloji. Science and teknoloji. Peki, arkadaşlar science'ı biliyoruz bilimi biliyoruz ama teknoloji nedir, ben bunun peşine düştüm. Arkadaşlar teknoloji bir ürün veya hizmet ortaya koyan bilgilerin oluşturduğu matrikstir.. Yani teknoloji dediğimiz bir sihir değil, eğer biliyorsan yaparsın. Bu konuda çok önemli bir ekonomist ve filozof var. Friedrich List diyor ki 'Mavi göğün altındaki bütün bilgiler insanlığın malıdır. Bu bilgileri alırsın veya çalarsın'. Eğer bilgi sende var mı yok mu diye merak edersen eğer yapabiliyorsan bilgi sendedir, eğer yapamıyorsan bir daha al veya çal konu budur.

Burada canlı bir örnek var, Kemal hoca, hocasına gidip; 'ben bir motor yapmaya geldim buraya' deyince, hocası, biz motor yapma bilgisi değil sadece motor kullanım bilgisini veriyoruz demiş. Kemal hoca da; ben motor ustası değil, motoru yapan mühendis olmaya geldim, demiş.

Prof. Dr. Kemal Sarıoğlu- Şimdi yalnız bakın bu acıdır, üzülüyorum da. Biz sadece makineler nasıl geliyor onu öğretiyoruz, nasıl yapılıyor değil. Efendim ben kütüphaneye gittim biraz kütüphanedeki kitaplara baktım, sizin derslerinizden de gayet iyi anladığımı var sayıyorum, iyi notlar da alıyorum ama şunu görüyorum; bu kütüphanede gördüğüm problemlerin hiç birini çözemiyorum. Acaba bende bir şey mi var? Zekâ eksikliği mi var, yok yok biz makinelerin nasıl döndüğünü öğreniyoruz. Bu acı bir şeydir yanı nasıl gördüğünü değil yapıldığını ve esasının ne olduğunu, sisteminin ne olduğunu öğrenmek varken… Başka bir şey söyleyeyim; Elektrik makinaları dersinde gidersiniz siz 4. sınıftasınızdır ve birçok konuyu alt sınıflarda öğrenmişsinizdir. Bir de bakarsınız hocalarımız Türkiye'nin hemen her yerinde başlarlar, o öğrendiğiniz basit şeyleri tekrar etmeye… Halbuki o okuduklarımız üzerine bir şeyler söyleyip, sistemin ne olduğunu öğretmeliler, teşekkür ederim.

Süleyman Balkan- Değerli arkadaşlar bir konu daha var Illinois Üniversitesi'nde hocamız 4 tane computer science dersi alıyor tam full olarak. Devlet görevlisi olduğu yönetim kuruluna sunuyor. Yönetim kurulundan bir hoca şöyle diyor; 'kısa pantolonlu Kemal fazla ileri gidiyorsun', computer dediğin ne, bir kutu. Sonuç olarak arkadaşlar, Türkiye Cumhuriyeti'nde, İstanbul Teknik Üniversitesinde tam 35 yıl sonra Bilgisayar Fakültesi kuruldu, o karara rağmen kuruldu. O kararı veren insanlar şimdi ne oldu? Şimdi hararetle herkes politize oluyor, ben hepinizden politizeyim arkadaşlar. 2.5 yıl sene hapis yattım, bir cezam yok. Sadece Türkiye'yi fazla sevmekten dolayı. Politik oluşumlara girmemek lazım işin aslını araştırmak lazım. Türkiye Cumhuriyeti nasıl yönetilir? Onun için şu anda bir şey daha söyleyeceğim şu anda araştırma üniversitesi tartışması var, üniversiteler, üniversite çeşitleri var arkadaşlar, Abdullah Atalar ile konuştum Ankara'da yeni bir araştırma üniversitesi tartışılıyor. Bakın ne diyor; Araştırma üniversitesinde bir hoca en fazla haftada kaç saat ders verir? En fazla kaç saat verir, 4 saat. Burası lise değil diyor, işimiz icat etmek onun için bir hoca ders vermez sadece üniversitede.

Dr. Erdener Ildız- Çok teşekkür ederim. Gerek panelistler gerek katılımcılar gayet güzel sunumlar ve katkılar yaptılar. Çok güzel canlı ve verimli bir toplantı oldu. Katkısı olan tüm katılımcılara ve panelist kardeşlerime çok teşekkür ediyorum.

Nihal Türüt- Oturum yöneticisi Dr. Erdener Ildız'a kongremize yaptığı katkılardan dolayı çok teşekkür ediyoruz. Teşekkür belgesini sunması için doktora hocası, çok sevgili hocamız, Prof. Dr. Kemal Sarıoğlu'nu kürsüye davet ediyoruz.

Prof. Dr. Kemal Sarıoğlu- Erdener beyin çok kabiliyetli, yurdunu çok seven, yenilikleri yaratacak bir kabiliyetinin olduğunu düşünerek doktorasını verdik, beraber çalıştık. Sonuçta görüyoruz ki yanılmamışız.

ELEKTRİK KONTROL MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU-III

Oturum Yöneticisi: Doç. Dr. Mehmet Timur Aydemir (Gazi Üniversitesi)

Düşük Maliyetli Bir Stewart Platformu Prototipi
Yunus Gençay, M. Atalay Yenibertiz, Prof. Dr. Ahmet Denker (Bilgi Üniversitesi)..... 142

Modern Elektrik Şebekeleri İçin PTP (IEEE 1588) Zaman Sunucusu
Elşan Kahraman (EKOSinerji Elektrik)..... 147

Kocaeli'de Yenilenebilir Hibrit Enerji Kaynakları ile Beslenen DC Konutlarda Akıllı Enerji Depolama ve Yönetim Sistemi
Atakan Alkan, Yrd. Doç. Dr. Mehmet Zeki Bilgin (Kocaeli Üniversitesi)..... 152

Yeni Nesil Uçak Elektroniği ve Modernizasyonu
Dr. Erdener Ildız (EMO)..... 161

Kaçak Akım Rölelerinin Hatalı Çalışmalarına Etki Eden Faktörlerin Simülasyonla İncelenmesi
Ensar Korkmaz (Gebze Teknik Üniversitesi)..... 169

Düşük Maliyetli Bir Stewart Platformu Prototipi
Prototype of a Stewart Platform

Yunus Gençay,[1], *M. Atalay Yenibertiz*[2], *Ahmet Denker*[3]

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
İstanbul Bilgi Üniversitesi, 34060 Eyüp, İstanbul
[[1]yunus.gencay,[2]atalay.yenibertiz}@bilgiedu.net
[3]ahmet.denker@bilgi.edu.tr

Özetçe

Stewart platformu, altı serbestlik derecesine sahip bir paralel manipülatördür. Üzerine yerleştirilen bir objenin konumlandırılması veya sabitlenmesi amacıyla yaygınlıkla kullanılmaktadır. Yüksek hassasiyet gerektiren cerrahi sistemlerinden pilot eğitimlerinde kullanılan simülatörlere kadar geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Stewart platformlarında, genellikle altı adet doğrusal eyleyici kullanılmaktadır. Bu projede doğrusal eyleyiciler yerine servo motorlar kullanılarak maliyetin azaltılması yoluna gidilmiştir. Ayrıca Stewart platformunun kinematik ve dinamik analizi yapılmış, bu analizler ışığında bilgisayar ortamında simule edilmiştir.

Abstract

Stewart platforms are parallel manipulators with six degrees of freedom. They are being used in a variety of applications from surgeries to high-precision milling machines. Typically, Stewart platforms are actuated by linear actuators. Due to usage of these actuators, these systems are unreachable for low-budget users. In this study, rotary servo motors, which have much lower cost, are used instead of linear actuators. Kinematic and dynamic analyze of a Stewart platform was explained and these kinematic and dynamic characteristics of Stewart platform mechanism was observed with computer simulations.

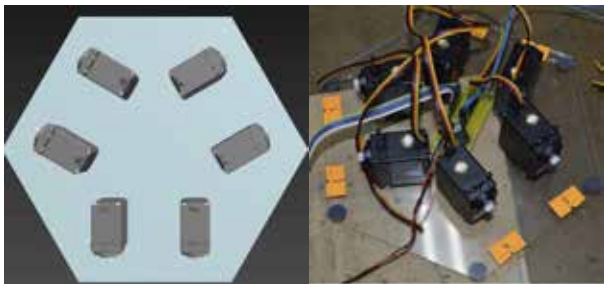
1. Giriş

Stewart platform serbestlik dereceleri çok olan paralel robotlar arasında en sık karşılaşılabilecek uygulamadır. Hareketli bir platformun sabit platforma göre hareket ettirildiği bu sistemlerin ilk örneği 1954 'te V. E. Gough tarafından [1] yapılan bir "Lastik yük testi" makinesidir. Stewart platformunun bir konum kontrol sistemi olarak kullanılması ve uygulamaya konması fikri ise D. Stewart'a aittir. Sistemin mühendislik dünyasında ün kazanması 1964'den sonrasına dayanmaktadır. [2] D. Stewart birçok çeşit paralel konum kontrol mekanizması geliştirmiş, çeşitli eyleyici türleri üzerine çalışmalar yapmış, farklı serbestlik derecelerine sahip konseptler oluşturmuştur.

Stewart platform sistemleri, hareketli platformun eyleyici bağlantı noktalarının hesaplanması, ardından ters kinematik denklemlerinin çözülerek her bir eyleyicinin konumunun ayarlanması sayesinde kontrol edilir. Teknolojinin günden güne gelişmesiyle Stewart platformunun kullanım alanlarının gelişmesi için yapılan çalışmalar tüm hızıyla devam etmektedir. Yüklenmiş bir iş parçasının yer ve şekil değişikliğinin modifiye edilmiş bir Stewart platform(SP) ile ölçülmesi [3], eylemsizlik kuvvetleri de hesaba katılarak SP şeklinde bir CNC tezgahın yapılması [4], sanal gerçeklik ve sürüş benzetimlerinde hidrolik tahrikli bir SP kullanılması[5] bunlardan bazılarıdır. Bu uygulamaların çoğunda yüksek hassasiyet ve yük taşıma kapasitesi gerekmektedir. Bu çalışmada 18x18x25 cm boyutlarında, ortalama 5 kg yük taşıyabilen, hızlı ve düşük maliyetli bir Stewart platformunun tasarım ve üretim aşamaları anlatılmaktadır.

2.1. Prototip Seçimi

Prototip seçimi; kullanılacak eyleyicilerin türüne ve sabit platform üzerinde konumlandırılmasına göre maliyet, hesaplama ve benzetimde basitlik gibi etkenler göz önüne alınarak yapılmıştır. Stewart platformunda kullanılabilecek eyleyiciler doğrusal ve dönel olacak şekilde iki ana sınıfa ayrılabilir. Yüksek yük kapasiteli sistemlerde, geleneksel olarak, doğrusal hidrolik eyleyiciler tercih edilirken, tork motorları ve bilyalı vidalardan oluşan elektromekanik lineer sistemler de kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, doğrusal hareket dönel eyleyiciler tarafından indirekt olarak gerçeklenecektir. Görece düşük maliyetli olan ve açık çevrim kontrole imkan sağlayan RC servo motorların kullanılmasına karar verilmiştir. Eyleyiciler, yani servo motorlar, açısal olarak farklı şekillerde yerleştirilebilir. Sistemdeki altı adet servo motorun alt düzlemdeki yerleşimine göre, benzetim modeli değişecektir. Ayrıca bu kısımda verilecek karar, sistemin parçalarının üretilebilirliğini büyük oranda etkileyecektir.



Şekil 1: Dışa bakan servo motorların 3 boyutlu yerleşim modeli (a) Altı düzlemli motor yerleşimi(b)

İlk olarak, Şekil.1.b'de modellendiği üzere servo motorların merkez eksenlerinin sistemin merkezi etrafında dönerek oluşturduğu "altı düzlemli" bir tasarımdan bahsedilebilir. Bu tasarımda servo motor kollarının her biri kendisine ait olan düzlem üzerinde hareket etmektedir. Hesaplama açısından bakılacak olur ise, bu tasarımda servo motor kollarının açıları her hesaplama döngüsü için farklı bir matris ile çarpılmakta, bu da benzetimin anlaşılırlığını azaltmaktadır. Diğer taraftan, bu tasarıma uygun parça üretmenin, daha sonra el ile yapılacak üretim açısından sakıncaları mevcuttur.[6] Sistemin mümkün olduğunca kompakt olması için servo motorların yönelimi önemlidir. Servo motorların ön yüzlerinin ne tarafa bakacağına göre sistemin kablolama açısından karmaşıklığı azaltılabilir. Sistemin küçük boyutlu ve taşınabilir olması için servo motorların Şekil.1.a'da olduğu gibi dışa dönük olması gerekmektedir. Sabit platformun ortasında kalan bölümün kontrol ve sürücü bileşenleri için kullanılmasına karar verilmiştir. [6]

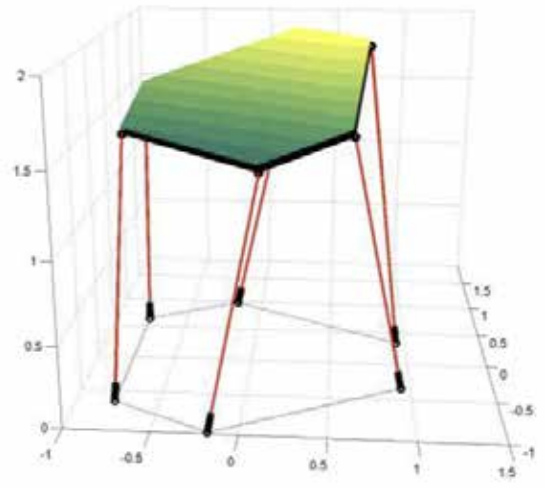
2.2 Sistemin Modellenmesi

Yapılan modellemede servo motorların kollarının üzerinde bulunduğu üç farklı düzlem mevcuttur. MATLAB ile yazılan ilk benzetim modeline sunulan parametreler; sistemin girdileri ve boyut parametreleridir.

Sistemin girdileri sırasıyla;

- X_Trans (x-ekseninde ötelenme)
- Y_Trans (y-ekseninde ötelenme)
- Z_Trans (z-ekseninde ötelenme)
- X_Rotate (x-ekseninde dönme)
- Y_Rotate (y-ekseninde dönme)
- Z_Rotate (z-ekseninde dönme)

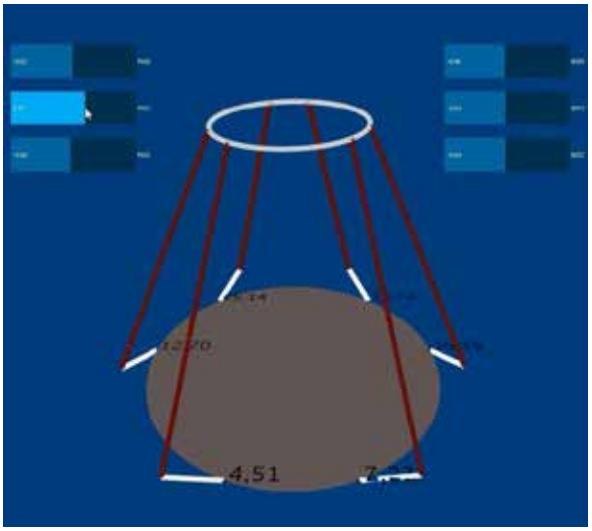
şeklinde sıralanabilir.



Şekil 2: MATLAB kullanılarak yapılmış sistem modeli

Modelin daha sonra kolayca değiştirilebilmesi adına, sistemin MATLAB modeli için evrensel parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda Şekil 2'de gösterilen model MATLAB'da oluşturulup animasyon haline getirilmiştir

Tasarlanmış bir diğer sistem modeli ise Processing(IDE) dili kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3 'te gösterilen bu model hem sanal olarak tasarlanmış modeli, hem de üretilmiş prototip kontrolünü aynı anda sağlamaktadır. Kontrol paneli görevi gören bu sistem modeli, üzerinde bulunan 3 (x-y-z eksenleri) rotasyon ve 3 (x-y-z eksenleri) pozisyon hareketlerini sağlayan kaydırma butonları sayesinde modelin anlık hareket değişimlerini göstermektedir. Bunun yanı sıra her servo motorunun sisteme göre bağımsız olarak yaptığı açı değerlerininde anlık olarak ölçümü sağlanmaktadır.



Şekil 3 : Processing dili kullanılarak tasarlanmış sistem modeli ve kontrol paneli

2.3. Matematiksel Benzetim

Bu bölümde detaylandırılan matematiksel model temel olarak [7]'de verilen modele dayandırılmıştır. Stewart platformu, altı bacak ile birbirine bağlı, alt ve üst olmak üzere iki platformdan oluşur. Alt platform sabittir ve referans olarak alınır. Referans eksen takımı olarak x, y, z kullanılır. Üst platformun bağlantı noktalarının konumları, herhangi bir hareket için üst platformun merkez noktasına göre değişmeyeceğinden üst platform eksen takımı olarak da x', y', z' kullanılır. Hiçbir öteleme ve dönel hareket olmadığında bu iki eksen takımı çakışıktır.[8]

Üst platformun, sabit x-y-z eksen koordinatlarına göre üç öteleme hareketi ve üç dönme hareketi yapabilme yeteneği vardır. Üst eksen takımına göre tanımlanmış herhangi bir noktanın, bu altı serbestlik derecesindeki hareketi için x-y-z eksen takımına göre konumu (1) ile hesaplanabilir.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = T + R_B . \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} \qquad (1)$$

Burada $\boldsymbol{T}$, öteleme matrisi, $\boldsymbol{R_B}$ ise bileşke dönme matrisidir. X-eksenindeki dönüş $\boldsymbol{\psi}$ açısı, y-eksenindeki dönüş $\boldsymbol{\theta}$ açısı,

x eksenindeki dönüş de ***φ*** açısı ile ifade edilirse, bileşke dönme matrisi (2)'deki gibidir.

$$R_B=\begin{pmatrix} \cos\psi\cos\theta & -\sin\psi\cos\varphi+\cos\psi\sin\theta\sin\varphi & \sin\psi\cos\varphi+\cos\psi\sin\theta\cos\varphi \\ \sin\psi\cos\theta & \sin\psi\cos\varphi+\sin\psi\sin\theta\sin\varphi & -\cos\psi\sin\varphi+\sin\psi\sin\theta\sin\varphi \\ -\sin\theta & \cos\theta\sin\varphi & \cos\theta\cos\varphi \end{pmatrix} \quad (2)$$

Uzuvların üst bağlantı noktalarının konumları ***Pi*** , alt bağlantı noktalarının konumları b_i ve anlık uzunlukları l_i ile ifade edilirse, l_i aşağıda gösterildiği gibi hesaplanabilir(3).

$$l_i = p_i - b_i \quad (3)$$

Doğrusal eyleyici kullanılan bir Stewart platform için üstteki denklemler yeterli olacaktır. Ancak,doğrusal eyleyici yerine servo motor kullanıldığı için servo motorların doğrusal eyleyici şeklinde modellenmesi gerekir. Servo motorlu sistemlerin çözümünde fazladan sabitler ve değişkenler kullanılır.

S = Çubuk uzunluğu
a = Servo motor kolu uzunluğu
l = Hayali uzuv uzunluğu
β = Servo motor kolu dönüş düzlemlerinin x ekseni ile yaptığı açı (x-y düzleminde)
α = Servo motor kolu açısı

$$A = \begin{bmatrix} x_a & y_a & z_a \end{bmatrix}^T$$

Çubuğun servo motor kolu ile bağlandığı noktanın konumu

$$B = \begin{bmatrix} x_b & y_b & z_b \end{bmatrix}^T$$

Servo motor kolu ile dönme merkezinin konumu

$$P = \begin{bmatrix} x_P & y_P & z_P \end{bmatrix}^T$$

Çubuğun üst platform ile bağlandığı noktanın konumu

β açısı ile konumlandırılmış bir servo motorun koluna ***α*** açısı verildiğinde, o kol üzerindeki A noktalarının B noktalarına göre konumu (4), (5) ve (6)'da gösterildiği gibi bulunabilir.

$$x_a = a\cos\alpha\cos\beta + x_b \quad (4)$$

$$y_a = a\cos\alpha\sin\beta + y_b \quad (5)$$

$$z_a = a\sin\alpha + z_b \quad (6)$$

Sistemdeki diğer servomotorlar için de aynı denklemler kullanılabilir. ***l*** , ***a*** ve ***b*** arasında Pisagor bağıntısı kullanılıp çubukların servomotor kolları ile bağlandığı noktaların konumları (A noktaları) yok edilirse (7) elde edilir.

$$\begin{aligned} & l^2 - (s^2 - a^2) = 2a\sin\alpha(z_p - z_b) \\ & + 2a\sin\alpha\cos\beta(x_p - x_b) + 2a\cos\alpha\sin\beta(y_p - y_b) \\ & = 2a\sin\alpha(z_p - z_b) + 2a\cos\alpha[\cos\beta(x_p - x_b) \\ & + \sin\beta(y_p - y_b)] \end{aligned} \quad (7)$$

(7)'deki eşitlik aşağıdaki formda da yazılabilir.

$$L = m\sin\alpha + N\cos\alpha \quad (8)$$

(8)'deki M ve N sabitlerinin bir dik üçgenin dik kenarlarının uzunlukları olduğu düşünülürse, servo motor kollarının yatayla yaptığı açılar (***α***) hesaplanabilir.

$$\alpha = \sin^{-1}\frac{L}{\sqrt{M^2+N^2}} - \tan^{-1}\frac{N}{M} \quad (9)$$

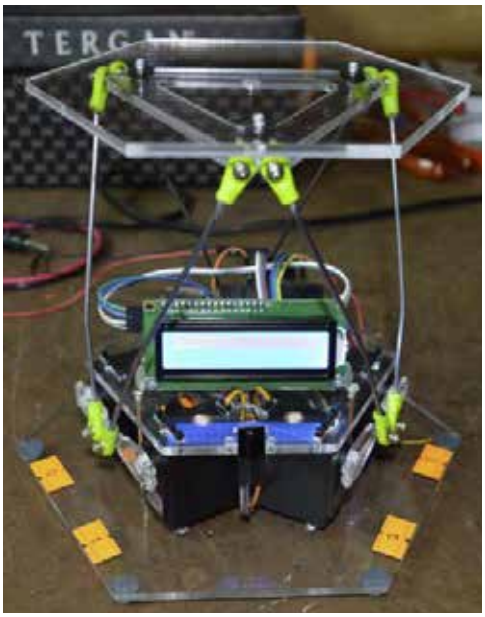
(9)'da her bir servomotor için hesaplanan ***α*** değerleri (10) ile sinyal formuna dönüştürülüp servo motorlara gönderilir.

$$signal_i = \alpha_i\frac{1600}{\pi} \quad (10)$$

2.4. Sistemin Üretimi

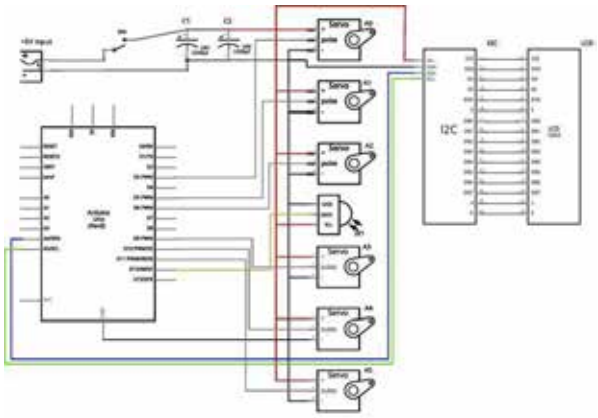
Sistemin boyutları 25x25x35 cm'lik bir dikdörtgen prizmaya sığacak şekilde yapılmış olup, sistem sıfır konumundayken yüksekliği yaklaşık 30 cm'dir . Birçok uçak/helikopter projesinde kullanılan standart servo motorlar tercih edilmiştir. Ayrıca kullanılan servo motor uçları ve plakalar AutoCAD yazılımı kullanılarak çizilmiş ve pleksiglas kullanılarak lazerle kesilmiştir. Şekil 5'teki mekanik görünüme ulaşan platform 5 kg civarında yük taşıyacak şekilde tasarlanmış olup, servoların pabuçlarının bu yük için yeterli olduğu görülmüştür.
Sistemin mekanik ve elektronik elemanları aşağıda sırasıyla verilmiştir.

- Servo motorlar
- Arduino UNO
- Sürücü Kartı
- LCD Ekran
- IR Sensör
- Alt, orta ve üst plakalar
- Pabuçlar ve metal çubuklar
- Pil (9v)
- Aç/kapa anahtarı
- Kumanda



Şekil 4: Sistemin mekanik görünümü

Devre şeması Şekil 5'te gösterildiği gibi olan bu sistemde servo motorların kontrolü için gerek maliyet, gerekse kullanım kolaylığı bakımından en uygun olan Arduino mikrokontrol kartı kullanılmıştır. Arduino'ya özel olan servo motor bağlantı arayüzü, kablolama esnasında oluşabilecek dağınıklığın büyük ölçüde azaltmıştır. Bunun yanında açılar ve konumları okumak için LCD ekran kullanılmıştır. Ekran sayesinde anlık açı ve konum takibi yapılabilmektedir.



Şekil 5: Sistemin devre şeması

Ayrıca motorların Arduino üzerinden kontrolünü sağlayacak motor sürücü kartı, Arduino motor sürücü kartı satın almak yerine tasarımı yapılmış ve fotolitografi, fırınlama, ütüleme gibi işlemlerin ardından başarıyla basılmıştır. Eksik olan bütün materyaller hazırlandıktan sonra büyük bir titizlikle montajı yapılmıştır. Montaj esnasında motorların açısal konumu, metal bacak uzunlukları, servo bağlantı uçları gibi sistem hassasiyetini değiştirecek parçalar büyük dikkatle monte edilmiştir. Bütün donanımsal testleri bittikten sonra Arduino ortamında sistemin harekete geçmesi sağlanmıştır. Esnek yazılmış Arduino kodu sayesinde, sistemde olası bir problem oluştuğunda, hata kolaylıkla tespit edilip çözülebilecektir. Ayrıca Arduino yazılımının özel olarak kullandığı seri haberleşme ekranı sayesinde, klavye üzerinden kontrolü sağlanmaktadır. Bu kontrol çeşidi içerisinde, özel olarak değerler atanmış her motora, girilen varyasyonlarla sistemsel hareket sağlanmaktadır. Aynı anda yapılan hareket ve her motorun yaptığı açı ve pozisyon değerleri x-y-z koordinatlarına göre anlık olarak LCD ekrana iletilir. Bunun yanında bir diğer kontrol sistemi ise, Processing (IDE) dilinde oluşturulmuş kontrol panelidir. Bu panel sayesinde Arduino kodunun varyasyonlarını değiştirerek hem sanal olarak oluşturulmuş model hem de reel olan sistem eşzamanlı olarak hareket edecektir. Bu hareket bağlamında sanal olarak oluşturulmuş modelimizdeki her servo motor için bağımsız açı değerleri ölçülebilmektedir.

Son olarak sisteme daha iyi bir görünüm sağlaması açısından katı modelleme programı olan Solidworks yardımıyla sistemin boyutlarına uygunluk sağlayacak bir kokpit modeli oluşturulmuştur. Görselliği desteklemek açısından beraberinde kontrol paneli ve koltuklarda modellenen bu kokpit son dönemlerde ün kazanmış, 3 boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak basılmıştır. 100 mikronda ve tam doluluk oranında basılan kokpit modelimiz Şekil 6'da görüldüğü üzere sistemin görsel bütünlüğünü sağlamada büyük etkiye sahip olmuştur.

Şekil 6: Sistemin genel görünümü

3. Sonuçlar

Bu çalışmada Stewart platformu prototipleme yöntemiyle birkaç aşamada tasarlanıp üretilmiştir. İlk olarak bu alanda yapılan benzer çalışmalar incelenmiş, daha sonra küçük ve pratik olacak şekilde mekanik ve teknik tasarım bilgisayar yardımı ile yapılmıştır. Bu sırada matematiksel model oluşturulmuş, üretim yapılmadan önce bilgisayar yardımı ile sistemin benzetimi yapılmıştır. Tasarlanan bazı parçalar 3d printer ile basılmış, sürücü kart tasarımı ve üretimi elle yapılmış ve sistemin geri kalan parçaları hazır tedarik edilmiştir. Sistem Atom Enerji Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi`nin Elektronik laboratuarında prototip haline getirilmiş ve Arduino kodu yazılarak uyumluluk sorunları çözüldükten sonra sistem istenildiği şekilde çalışır hale getirilmiştir. MATLAB'da hazırlanan model kodu, bu çalışmadakine benzer konsepte sahip diğer sistemlerin de modellenebilmesi amacıyla, esnek olarak yazılmıştır. Sistem parametrelerinin değişmesi durumunda, model kodu bu değişime göre anlık hesaplama yapabilmektedir. Processing yazılımı ile oluşturulmuş kontrol panel ise hem sanal olarak yapılan sistem hareketini hem de reel olan sistem hareketini eşzamanlı olarak kontrol etme fikri sonucunda, tasarlanmıştır. Bağlı bulunan iki sistem hareketinin açı değerlerinin anlık değişimleri hem LCD üzerinden hem de tasarlanan sanal sistem üzerinden okunabilmektedir.

Üretilen prototipte bir takım güvenlik ve hassasiyet problemleri ortaya çıkmıştır. Sistem hareket sınırlarının dışına çıkmaya zorlandığında kendini sıfırlamaktadır. Bu da, herhangi bir güvenlik önlemi alınmazsa servo motor veya servo kollarının zarar görmesine sebep olabilmektedir. Bu yüzden sistemin olası hasarlardan korunması için bir güvenlik algoritması oluşturulmuş ve sistemin güvenli bölgenin dışına çıkması önlenmiştir. İlerleyen süreçte sistemin hassasiyetinin artırılması planlanmaktadır. Bu hassasiyetin sağlanabilmesi açısından izlenebilecek yol kullanılan malzemelerin kalite değerlerine dikkat edilmesi olacaktır. Bu yolla gerekli hassasiyet sağlandığında ise sistem üzerine yerleştirilebilecek herhangi bir objeyi istenilen açı ve pozisyonda hareket ettirmenin yanı sıra insani arayüz sistemi kullanılarak motor hareketlerinin daha verimli hale gelebileceği düşünülmüştür.

Teşekkür

Atom Enerji Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'ne desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

4. Kaynakça

[1] Gough, V. E. (1956). Contribution to discussion of papers on research in automobile stability, control and tyre performance. In Proc. Auto Div. Inst. Mech. Eng (Vol. 171, pp. 392-394).

[2] Stewart, D. (1965). A platform with six degrees of freedom. *Proceedings of the institution of mechanical engineers*, *180*(1), 371-386.

[3] Mura, A. (2011). Six dof displacement measuring device based on a modified Stewart platform. *Mechatronics*, *21*(8), 1309-1316.

[4] Ting, Y., Chen, Y. S., & Jar, H. C. (2004). Modeling and control for a Gough-Stewart platform CNC machine. *Journal of Robotic Systems*, *21*(11), 609-623.

[5] Lee, W. S., Kim, J. H., & Cho, J. H. (1998, May). A driving simulator as a virtual reality tool. In *Robotics and Automation, 1998. Proceedings. 1998 IEEE International Conference on* (Vol. 1, pp. 71- 76). IEEE.

[6] http://memok.atilim.edu.tr/shares/memok2013/files/MeMOK2014_bildiri_Kitabi.pdf

[7] http://www.mikesflightdeck.com/mfdb/brfs/brfs.html

[8] "The Mathematics of the Stewart Platform" Presentation notes, Wokingham U3A Math Group, 2011.

Modern Elektrik Şebekeleri için PTP (IEEE 1588) Zaman Sunucusu
PTP (IEEE 1588) Time Server for Modern Electric Grid

Elşan Kahraman[1]

[1]Ekosinerji Elektrik San. ve Tic. A.Ş.

elsan.kahraman@ekosinerji.com

Özet

Günümüz elektrik şebekelerindeki kontrol, koruma ve ölçüm cihazları senkron bir şekilde çalışmak için hassas zaman bilgisine ihtiyaç duyarlar. Arıza durumunda olayların sırasını belirleyebilmek, şebekeyi eşzamanlı olarak yönetebilmek ve ölçümleri gerekli zaman hassasiyetinde yapabilmek için modern bir senkronizasyon protokolüne gereksinim vardır.
PTP zaman sunucusu, diğer adıyla GPS Clock, GNSS uydularından aldığı zaman bilgisini kullanarak ethernet network üzerinden PTP (IEEE 1588) protokolü ile senkronizasyon sağlarken hem mevcut data networkünü kullanarak ilave bir timing networkü kurma zorunluluğunu ortadan kaldırır, hemde 25ns doğruluk ve yedekleme mekanizması ile zaman servisi yaparak yeni nesil senkronizasyonun avantajlarını sunar.

Abstract

Control, protection and measurement devices in modern electric grids need correct time for synchronous operation. To identify the sequence of events in case of unexpected outage, to manage the grid synchronously and to be ablo to maket he measurements in the required accuracy a modern synchronization protocol is needed.
PTP time server, namely GPS Clock, which provides synchronization in PTP (IEEE 588) protocol on ethernet network by using time from GNSS satellites utilizes existing data network so that an installation of a separate timing network is eliminated. Its 25ns accuracy and redundancy mechanism are also advantages of new generation synchronization system.

1. Giriş

IEC 61850'nin devam eden uygulaması nedeniyle trafo merkezlerindeki data network altyapısı hızla değişmektedir. Akıllı röleler (IED) arasındaki haberleşme genellikle ethernet network üzerinden yapılmaktadır. Bunun gereği olarak bu cihazların zaman senkronizasyonunun da ilave bir zamanlama networkü kullanmadan aynı data networkü üzerinden yapılması mantıklı olacaktır. Bu amaçla ilk adım olarak NTP kullanılmaya başlanmıştır. NTP'nin ancak milisaniye mertebesindeki uygulamalara cevap verebilmesinden ötürü daha yüksek hassasiyette zaman bilgisi veren IRIG-B gibi metodların kullanılması da gerekti. Sonuç olarak yine ayrı bir senkronizasyon altyapısına ihtiyaç duyuldu.

Hassas Zaman Protokolü (PTP) [1] trafo merkezinde mevcut ethernet altyapısını kullanarak doğru ve güvenli referans zamanı dağıtmak için ilk yöntemdir. PTP mikrosaniye altı doğruluğu ile elektrik şebekelerindeki tüm kontrol, koruma ve ölçüm işlemlerinde kullanılmak için en uygun yöntemdir.

2. Akıllı Trafo Merkezlerinde Zaman Senkronizasyonu

Öncelikle modern elektrik şebekelerinde zaman senkronizasyonlu ölçümler ve zaman damgalama ile ilgili hangi teknik gereksinimlerin olduğuna göz atmak gerekir.

Proses ve olayların tek merkezden kontrol edildiği trafo merkezi gibi tesislerde istasyonun mutlak zaman doğruluğu çok önemli değildir. Fakat birden çok merkezin dahil olduğu senkron anahtarlama işlemlerinde her trafo merkezinin hassas referans zamanı büyük önem kazanmaktadır. Kuzey Amerikada 2003'teki elektrik kesintisinde zaman damgası doğru olmayan referanslardan alınan verinin karşılaştırılmasının ne kadar zor olduğu ortaya çıkmıştır. NERC standardının 2006'da uygulamaya konulmasıyla birlikte şu anda tüm kayıtlı verinin 2ms veya daha iyi doğrulukta bir zaman damgasının olması kanuni zorunluluk olmuştur.

Günümüzde elektrik şebekelerinde SCADA, IED ve olay kayıtçısı gibi birçok ölçüm ve kontrol verisinin ortalama 1ms doğrulukta olması gereklidir.

1ms zaman doğruluğu nispeten erişilmesi kolay bir değerdir. Fakat bazı mevcut ve yeni ortaya çıkan ölçüm uygulamaları daha yüksek hassasiyete gereksinim duyarlar.

Aşağıda bahsedilen uygulamalar, örneğin, 1us veya daha iyi kesin doğruluk isterler:

- Sampled Values
- Synchrophasor Measurement

- Traveling Wave Fault Location

Yukarıda bahsedilen proses ve ölçümlerdeki tüm cihazların senkronizasyonu için GPS disiplinli zaman sunucuları kullanılır. IEC 61850-9-5 standardına göre olayların zaman etiketlemesi ve senkron ölçümler için zaman doğruluk gereksinimleri 1ms'den 1us'ye kadar beş zaman performans sınıfında özetlenmiştir.

3. Klasik Zaman Senkronizasyonu

Yönetmelik ve yapılan ölçümlere göre trafo merkezinin referans zamanını IED'lere dağıtmak için çeşitli metodlar kullanılmıştır. Birçok klasik dağıtım yöntemi ayrı bir zaman dağıtım altyapısı gerektirir.

Aşağıdaki metodlar trafo merkezlerinde sıkça kullanılan zaman senkronizasyon sinyallerinin dağıtımı için kullanılmaktadır:

3.1. IRIG-B

IRIG zaman kodları ilk olarak Amerikan ordusu tarafından farklı lokasyonlardan toplanan ölçüm verilerinin zaman kodlaması için geliştirilmiştir. IRIG-B kodu zaman senkronizasyon sinyalini 100 bit/s ile taşımakta ve kullanılan dağıtım metoduna göre 1ms ile 10 us arasında bir doğruluk elde edilmektedir. IRIG-B sinyalinin dağıtımı için bükümlü çift kablo veya coaxial kablo kullanılmaktadır.

3.2. PPS

Dijital PPS sinyali de zaman senkronizasyonu için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Sinyal yükselen veya düşen kenarı saniye başlangıcını gösteren 1Hz kare dalga formatındadır. Palsın senkronizasyon doğruluğu birkaç nano saniye mertebesindedir. Dağıtım sırasındaki kablo gecikmeleri hesaba katıldığında toplam hassasiyet 1us civarındadır. PPS sinyali tek başına pals kenarını mutlak zamana bağlayan ilave bir zaman bilgisi içermez. Sonuç olarak ayrı bir sistemle IED'lere ilave bir zaman bilgisi gönderilmesi gereklidir.

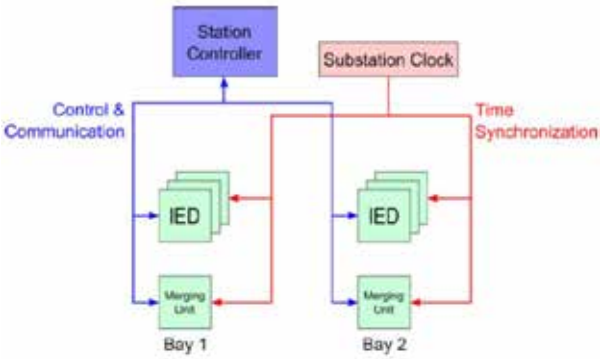
Çizelge 1: Senkronizasyon teknolojileri doğrulukları

Sistem	Doğruluk
IRIG-B	10us
PPS	1us
NTP	1ms
PTP	25ns

3.3. Seri Time Code

Bu zaman kodları daha iyi alternatifler yüzünden elektrik güç endüstrisinde çok az kullanılmaktadır. Bu sistemlerde referans zaman bilgisi ASCII serisi olarak dağıtılır. Elde edilen senkronizasyon hassasiyeti bit rate ve firmware gecikmelerine bağlı olarak 1ms seviyesinde olabilmektedir.

Trafo merkezlerindeki ethernet network kurulumu ve kullanımı hızla artmaktadır. Bu nedenle bu mevcut ethernet altyapılarını kullanabilecek zaman senkronizasyon sistemleri önem kazanmaktadır. IEEE 1588-2008'den önce ayrı bir zaman senkronizasyon şebekesine ihtiyaç duymadan gerçekleştirilebilen tek sistem NTP idi.



Şekil 1: Ayrı olarak kurulmuş senkronizasyon sistemi

3.4. NTP

Network Time Protocol (NTP) bilgisayar ağlarındaki saatleri senkronize etmek için kullanılır ve internet gibi değişken paket erişim sürelerinin sözkonusu olduğu ağlar için geliştirilmiştir. Ulaşılabilir senkronizasyon hassasiyeti temel olarak ağ trafiği ve işletim sistemlerinin gecikmelerine bağlıdır. NTP sunucu ve istemciler arasındaki ortalama gecikmeyi hesaplamak için özel algoritmalar kullanılmaktadır. Internette ortalama 10ms doğruluk elde etmek mümkün olmaktadır. Trafo merkezleri gibi yerel ağlarda birkaç milisaniye doğruluk elde edilebilir.

Çizelge 1'de kullanılan zaman senkronizasyon teknolojilerinin doğruluk değerleri gösterilmiştir.
Mevcut sistemlerden kazanılan tecrübeler ışığında gelişmiş bir zaman senkronizasyon metodu için aşağıdaki gereksinimler çıkarılabilir:

- Yüksek senkronizasyon doğruluğu
- Mevcut Ethernet altyapısını kullanma
- İletim gecikmesi için dengeleme
- Yedekleme mekanizması

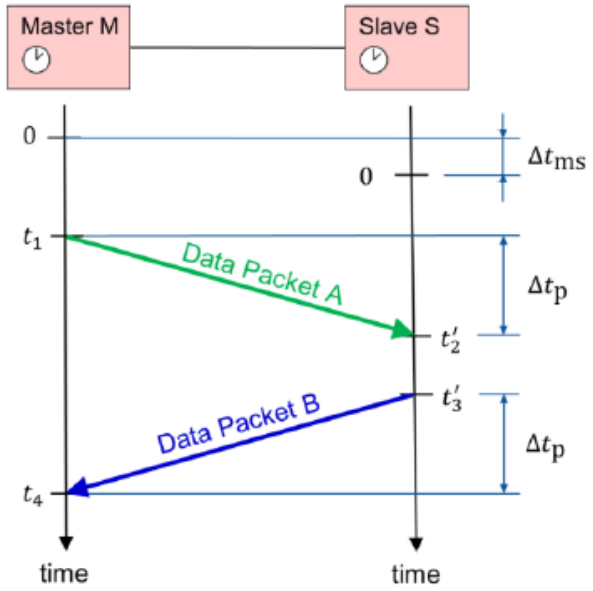
4. Hassas Zaman Protokolü (PTP)

PTP ile birlikte IEEE 1588-2008 standardı [1] bilgisayar ağlarındaki saatlerin senkronizasyonu için bir çözüm tanımlar. NTP'de olduğu gibi bu yöntem de data ve zamanlama için ortak network kullanır. Ayrı bir dağıtım ağı bulunan sistemlerden farklı olarak kablo gecikmeleri kolayca hesaplanamaz. Veri paketinin izlediği rota bilgisayar ağlarında dinamik olarak değişebilmekte ve bu da her paket için ağ gecikmesi düzeltmesini gerekli kılmaktadır. Router ve switch gibi ağ bileşenleri veri paketleri için ilave gecikmelere sebep olabilmektedir. Hassas Zaman Protokolü (PTP) bu dinamik gecikmeleri otomatik olarak tespit etmek ve düzeltmek için gerekli algoritmayı bünyesinde barındırır.

4.1. Senkronizasyon

Metodun temel prensibi Şekil 2'de gösterilmiştir. Master Clock M ve Slave Clock S bir Ethernet network üzerinden

bağlıdır. Amaç Slave S'in Master M'e senkron olmasıdır. İki saat arasındaki zaman sapması Δtms ile verilmiştir. İlk olarak Master M Ethernet üzerinden paket A'yı Slave S'e gönderir.



Şekil 2: Yayılma gecikmesinin belirlenmesi

Master M paketin gönderildiği anı t1 olarak işaretler. Paket Slave S'e erişmek için bir zamana ihtiyaç duyar. Bu gecikme Δtp olarak gösterilir ve kablolama ve ağ bileşenlerinden kaynaklanan tüm gecikmeleri içerir. Bu gecikmeden sonra paket t2′ anında Slave S'e varır. Böylece t1 and t2′ arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$t_{2'} = t_1 + \Delta t_p - \Delta t_{ms}. \quad (1)$$

Daha sonra Slave S paket B'yi Master M'e gönderir. Slave S'in paketi gönderdiği an (t3′) ve Master M'e ulaştığı an (t4) daha sonraki hesaplamalar için kaydedilir. Eğer her iki paket ağda aynı yolu izlerse ağ gecikmesi olarak eşit bir Δtp değeri kabul edilebilir ve şu denklemle ifade edilir

$$t_4 = t_3' + \Delta t_p + \Delta t_{ms}. \quad (2)$$

Her iki saatte iki zaman etiketi mevcuttur ve Master Slave'e zaman etiketlerini gönderir göndermez Slave iki denklemi (1) ve (2) kullanarak kendi sapmasını hesaplar.

$$\Delta t_{ms} = (t1 - t2' - t3' + t4)/2. \quad (3)$$

Slave S bundan sonra bu bilgiyi kullanarak kendi saatini ayarlar. Bu ölçümü her saniye tekrarlayarak Master ve Slave arasındaki sapma 100ns ve daha iyi bir değere kadar azaltılabilir. Gecikme hesaplaması için her iki paketin izlediği yolun aynı olduğu farzedilmektedir. Standart network topolojilerinde bu varsayım gidiş ve dönüş yollarının farklı olabilmesi ve ağ bileşenlerinin paketleri hemen göndermemesi nedeniyle geçerli değildir. Bu sorun IEEE 1588-2008 ile birlikte trasparent clock kavramının geliştirilmesiyle çözülmüştür. Bu özelliğe sahip ethernet switch'ler PTP paketinin kendi üzerinden geçerken geciktiği süreyi hesaplayarak alıcı tarafa bildirirler. [3]

4.2. Gecikme Ölçüm Mekanizması

Yukarıda bahsedilen prensipler ışığında IEEE 1588-2008'de iki ölçüm mekanizması tanımlanmıştır: End-to-end (E2E) ve peer-to-peer (P2P). En iyi sonucu alabilmek için tüm ağ bileşenlerinde aynı gecikme ölçüm mekanizması seçilmelidir.

End-to-end yönteminde sistemdeki transparent clock üzerinden geçen PTP paketlerinin gecikmesini hesaplar ve bunu paketlerin ilgili düzeltme alanlarına yazar. Eğer yol üzerinde birden fazla transparent clock varsa paket son alıcıya ulaştığında tüm gecikmeler bu düzeltme alanına eklenmiş olacaktır.

Peer-to-peer yöntemi ile E2E metoduna ek olarak link gecikmeleri de hesaba katılmaktadır.

4.3. Best Master Clock Algoritması

IEEE 1588-2008'de tanımlanan diğer bir özellik de BMCA Algoritmasıdır. Bu algoritma ağdaki en iyi saati otomatik olarak belirleyip sisteme referans zaman bilgisi dağıtmasına olanak verir. Bu saat ağda grandmaster clock olarak atanır ve diğer tüm sistemler kendilerini ona göre ayarlar. Eğer grandmaster'da bir sorun oluşursa sistemdeki ikinci en iyi saat yeni grandmaster olarak seçilir.

4.4. PTP Profilleri

PTP'nin farklı uygulamalarda kullanılması için IEEE 1588-2008 birçok kullanıcı tanımlı ayarlamalara imkan verir. PTP ekipmanlarının kolay ayarlanması ve özel uygulama alanları arasında karşılıklı çalışabilme için standard varsayılan değerlerin ve müsaade edilen saat tiplerinin tanımlandığı profilleri oluşturmuştur. [2]

5. PTP Power Profili

Enerji sektöründeki PTP ekipmanının kendi arasında hatasız çalışabilmesi için IEEE C37.238-2011 Power Profili tanımlanmıştır. Bu profil IEEE Power Systems Relaying Committee'nin H7 ve Power Systems Substation Committee'nin C7 çalışma grupları tarafından geliştirilmiştir. Her iki grup IEEE Power and Energy Society kapsamındadır. PTP Power Profili IEEE 1588-2008 zaman senkronizasyonunun kritik görevli 24/7 enerji sistem uygulamalarında kullanımı için tanımlanmıştır. Bu bölümde IEC 61850 trafo merkezleri için en önemli IEEE 1588 parametreleri profile özgü uyarlamalar açıklanmıştır. [2]

5.1. Saat Tipleri

PTP güç profili one-step ve two-step saatlerin kullanılmasına olanak verir. Öte yandan one-step saatlerin kullanımı yeni nesil olmalarından ötürü tavsiye edilmektedir. Ayrıca IEEE 1588-2008'de tanımlanan ordinary, transparent ve boundary clock gibi tüm saat çeşitlerinin kullanımına izin verilmektedir.

5.2. Best Master Clock Algoritması

PTP Güç Profili BMCA kullanmaktadır. Default BMCA'e göre en büyük fark sadece grandmaster kabiliyetli saatlerin kendilerini olası grandmaster olarak tanıtmasına izin verilmesi

ve diğer tüm saatlerin slave-only modunda kalmalarının gerekli olmasıdır.

5.3. Peer-to-peer gecikme mekanizması

Peer-to-peer gecikme mekanizması PTP güç profilinde kullanılmak üzere tanımlanmıştır. Tüm link gecikmelerinin önceden hesaplanmış olmasından ötürü PTP paket yolunun değişmesi hızlı bir şekilde çözümlenebilir ve grandmaster üzerindeki network yükünü önemli ölçüde azaltır.

5.4. Steady-State Performansı

Synchrophasor ve sampled values uygulamaları gibi yüksek zaman hassasiyeti gerektiren yerlerde zaman senkronizasyon bilgisinin IED'lere iletilmesi için gerekli kriterler tanımlanmıştır. 16 atlamadan sonra slave saatin girişindeki hatanın 1us'den fazla olmasına izin verilmemektedir. Ayrıca grandmaster saatin max hatası 200ns ve transparent saatin azami hatası 50ns olabilmektedir.

5.5. Hold-over zamanı

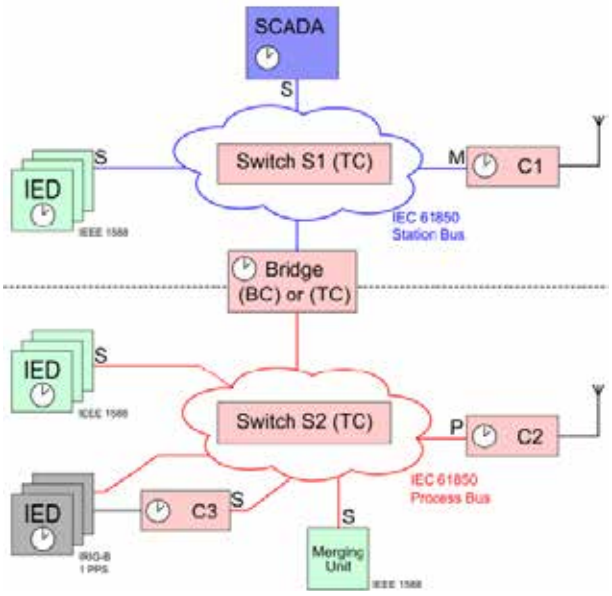
IEEE 1588-2008 standardı grandmaster saatler için hold-over kayması belirtmemesine rağmen PTP güç profili bunu sabit sıcaklıktaki 5 saniye içinde 2us olarak tanımlamaktadır. GPS sinyalinin kaybedilmesinden ötürü kaynaklanan bu durumda hold-over süresi sistemdeki başka bir grandmaster yetenekli saatin yeni grandmaster olmasına olanak verir.

6. Trafo Merkezlerinde Uygulama

PTP uygulaması yeni kurulacak merkezler ve mevcut merkezlerde farklılık gösterecektir.

6.1. Yeni Trafo Merkezleri

Eğer sıfırdan yeni bir merkez planlanıyorsa IEEE 1588'in gerçekleştirilmesi network altyapısının IEC 61850'ye göre planlanacak olmasından ötürü kolay olacaktır. Transparent Clock gibi PTP yetenekli cihazların kullanılması gerekli olacaktır.



Şekil 3: Trafo merkezlerinde PTP uygulaması

PTP'nin yedeklemesi olarak 2 veya 3 adet grandmaster yetenekli zaman sunucusunun sistemde yer alması tavsiye edilmektedir. Bu zaman sunucularının GPS antenleri GPS sinyal kaybına karşı farklı lokasyonlara yerleştirilmelidir.

Şekil 3'de IEC 61850'ye göre tasarlanmış bir trafo merkezi gösterilmiştir. IEC 61850 station bus ve process bus S1 ve S2 adında iki transparent clock ile sembolize edilmiştir. Her veriyoluna C1 ve C2 ile gösterilen ordinary clock'lar bağlanmıştır. Bu örnekte C1 en iyi zamanı verdiği için BMCA ile otomatik olarak grandmaster seçilmiştir. Sistemdeki tüm saatler C2 hariç olmak üzere C1'e senkron olmaktadır. C2 pasif modda beklemektedir. IEEE 1588-2008 açısından sistemdeki tüm saatler aynı grandmaster'a senkron olmalıdır. Bu nedenle station bus ve process bus bir şekilde birbirlerine bağlanmalıdır. Bu bir transparent clock, PTP yetenekli router veya şekil 3'teki gibi bir boundary clock ile gerçekleştirilebilir. [3]

6.2. Mevcut Trafo Merkezleri

PTP'den hemen önce yapılan trafo merkezlerinde network bileşenlerinin PTP destekli olanlarla değiştirlmesi gereklidir. Ancak çok yüksek hassasiyet gerektirmeyen kısımlarda NTP ile devam edilirken diğer bölgelerde PTP'ye geçilebilir.

PTP desteklemeyen cihazlar için lokal olarak PPS veya IRIG-B sinyalleri üretilerek yüksek doğrulukta senkronizasyon sağlanabilir. Ayrıca ethernet arayüzü olan bazı cihazları da yazılım yükseltmesi ile PTP destekli hale getirmek mümkün olacaktır. Bu şekildeki sw-only zaman etiketlemesi ile 20us hassasiyet elde edilebilmektedir.

7. EKOSync 1588

EKOSync 1588, ethernet network üzerinden PTP (IEEE 1588) protokolü ile senkronizasyon sağlayan bir hassas zaman sunucusudur. 25ns hassasiyeti, 10MHz ve ToD & PPS çıkışları, web arayüzü, LCD ekranı ve 19" rack standardındaki yapısı ile EKOSync 1588 trafo merkezleri için dayanıklı olarak üretilmiştir.

EKOSync 1588 PTPv1 ve PTPv2 özellikleriyle one-step ve two-step modunu desteklerken aynı zamanda bir önceki zaman senkronizasyon teknolojisi olan NTP fonksiyonuna da sahiptir. Aynı zamanda PPS, ToD, 10MHz ve IRIG-B desteği de sağlayan ürün PTP desteklemeyen IED'ler için de yüksek hassasiyette zaman senkronizasyonu sağlar.

8. Sonuçlar

IEEE 1588-2008'in yaygınlaşmaya başlamasıyla birlikte IED üreticileri cihazlarında gerekli iyileştirmeleri yapmışlardır. Bu nedenle yeni trafo merkezleri planlanırken özellikle PTP destekli IED ve network ekipmanı seçilmelidir.

IEEE 1588 standardı tüm bileşenleriyle dayanıklı, güvenli ve kolay bir zaman senkronizasyon imkanı sağlamaktadır. Ayrı bir kablolama gerektirmediği için ilave bir zaman dağıtım ağ maliyetinden tasarruf sağlanmaktadır. IEEE C37.238-2011'e göre tanımlanan PTP güç profili IEC 61850 ile tam

entegrasyona olanak sağlamaktadır. Bu nedenlerle hassas zaman protokolü (PTP) IEEE 1588-2008 akıllı şebekelerde optimum ve esnek bir zaman senkronizasyon teknolojisi olarak yerini alacaktır.

9. Kaynaklar

[1] IEEE 1588-2008, "IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems", IEEE, 2008.

[2] IEEE C37.238-2011, “IEEE Standard Profile for Use of IEEE 1588 Precision Time Protocol in Power System Applications”, IEEE, 2011.

[3] Baumgartner, B. Rudigier, M. ve Reisch, C., "Implementation and transition concepts for IEEE 1588 precision timing in IEC 61850 substation environments", 20th IMEKO TC4 International Symposium, 2014, 1-6.

Kocaeli'de Yenilenebilir Hibrit Enerji Kaynakları ile Beslenen DC Konutlarda Akıllı Enerji Depolama ve Yönetim Sistemi

Smart Energy Storage and Management System in DC Houses with Renewable Hybrid Energy in Kocaeli

Atakan Alkan, Mehmet Zeki Bilgin

Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü
Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli
atakanalkan59@gmail.com, mzbilgin@gmail.com

Özet

Geleneksel konutlar gereğinden fazla enerji tüketmesinin yanında çevreye olumsuz etkileri olan atık ve emisyon üretirler. Bu problemlere çözüm olarak yenilenebilir hibrit enerji ve akıllı enerji yönetim sistemi önerilmiştir. Akıllı konut dizaynlarındaki en önemli parçalar, güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu amaçla, Kocaeli bölgesinin güneş ve rüzgar enerjisi potansiyelleri incelenmiş ve elde edilen veriler sunulmuştur. Önerilen sistemde; üretilen enerjinin depolanması ve gerekli durumlarda kullanılabilmesi için şarj edilebilir batarya ile yedek güç için yakıt hücresi bulunmaktadır. Enerji dönüştürücüleri vesilesiyle şebeke-DC bara arasında çift yönlü enerji transferi sağlanmaktadır. Bu çalışmada, yenilenebilir hibrit enerji ile beslenen DC konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi için bir model ve yönetim algoritması önerilmiştir. Bu amaçla elektrikli ev aletlerinin listesi çıkarılarak yüklerin öncelik durumlarına göre iki grupta sınıflandırılmasıyla önerilen algoritmada ihtiyaç duyulan yük tipleri kullanıcı temelli olarak belirlenmiştir. Geliştirilen model ile algoritma, MATLAB/SIMULINK ortamında benzetim çalışmalarıyla doğrulanmıştır. Benzetim sonuçları sistemin çok kazançlı olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Akıllı Enerji Yönetim Sistemi, DC konut, Şarj edilebilir Batarya, Yakıt Hücresi, Yenilenebilir Hibrit Enerji.*

Abstract

Conventional buildings consume energy more than necessary, negatively impact the environment with emissions and waste. A renewable hybrid energy and smart energy management system is proposed as the optimum solution for these problems. The significant components for smart houses are renewable energy sources such as solar and wind. Hence, the potentials of solar and wind energy sources in Kocaeli are researched and the obtained datas are given. The proposed system has chargeable batteries for storing-using energy and fuel cells for backup power demands and a grid connection for bi-directional energy transfer between grid-to-DC bus. This paper suggests a design and management algorithm for smart energy storage and management system in DC houses with renewable hybrid energy. Hence, two user-based load types are determinated for the proposed algorithm. The developed model and management algorithm have been verified in MATLAB/SIMULINK. The simulation results show the system is very beneficial.

Keywords: *Smart Energy Management System, DC house, Chargeable Battery, Fuel Cell, Renewable Hybrid Energy.*

1. Giriş

Geleneksel konutlar aşırı enerji tüketirler ve oldukça fazla atık üretirler. Dünya'da harcanan toplam enerjinin üçte biri, elektrik enerjisinin ise üçte ikisi konutlarda kullanılmaktadır. Bu sebeple hava ve çevre kirliliğinin en önemli sebeplerinden biri de konutların kullandığı enerji kaynaklarıdır [1-6]. Yapılan araştırmaların sonuçlarına göre; sülfür dioksit salınımının %49'u, nitröz oksit salınımının %25'i, parçacık salınımının %10'u konutlarda üretilmektedir. Hava kirliliğinin temel sebebi olan karbondioksit (CO_2) salınımının %35'i ise doğrudan ve/veya dolaylı olarak konutlarda üretilmektedir [1].

Konutların çevreye verdiği bu zararlı etkileri ve atıkları yok etmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttırılması ve mevcut enerjinin verimli kullanılması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından konutlarda kullanılabilecek olanları genelde güneş, rüzgâr ve yakıt hücreleri şeklinde sayılabilir [1-9]. Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli yer tutmaktadır ve fosil enerji kaynaklarının en büyük alternatifidir. Güneş enerjisi çok daha az emisyon üretir. Eğer 1 milyon ev güneş enerjisi kullanırsa 4,3 milyon ton CO_2 salınımı engellenmiş olur ve bu da yaklaşık 850.000 aracın trafikten yok olması gibi bir etki yapar. Güneş panelleri ile üretilen elektrikle çalışan hibrit araçların kullanımıyla araçlardaki CO_2 salınımının da azalacağı düşünüldüğünde çevre kirliliğinin daha da azalacağı ortadadır [1]. Ayrıca, ısınmada güneş enerjisi ile üretilen elektrik ve ısıtılan su kullanımı ile CO_2 salınımının azaltımı hesaba katılırsa toplam çevre kirliliği büyük oranda azaltılabilir [1, 2, 4].

Ülkemizde kullanılan enerji büyük oranda ithal doğalgaz, kömür, vb. girdilere bağlı olduğundan hem maliyetlerin hem de enerji de dışa bağımlılığın azaltılabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttırılması gerekmektedir. Ülkemiz, bölgesel farklılıklar göstermekle beraber genel olarak önemli güneş ve rüzgar enerjisi potansiyeline sahiptir.

Akıllı konut tasarımlarındaki en önemli parçalar güneş ve rüzgar gibi değişken çıkış güçlerine sahip yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu amaçla, Kocaeli bölgesinin güneş ve rüzgar enerjisi potansiyelleri incelenerek bölgenin enerji potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. Kocaeli bölgesine ait aylık ortalama rüzgar hızları ile Kocaeli Üniversitesi Umuttepe yerleşkesinde bulunan 5 adet toplam 1250 Watt güçteki poli kristal P60 güneş panelinde Kocaeli ili 2014 yılı için ölçülen ışınım ve güç değerleri ile hesaplanan üretilen günlük enerji değerleri bu çalışma içerisinde sunulmuştur.

Şu an yaygın olarak AC bara sistemi kullanılmaktadır. DC bara sistemi ise yeni popüler olmaya başlamıştır [1, 2, 4-8]. Bu çalışma ile DC konut için taban model oluşturulmuştur. Tüm enerji kaynaklarından gelen güçler DC barada birleştirilmiştir. Önerilen sistem DC mikro-şebeke olarak düşünülmüş ve güç dönüştürücüleri buna göre seçilmiştir. Önerilen sistemde DC baranın gerilim seviyesi 120 Volt olarak belirlenmiştir.

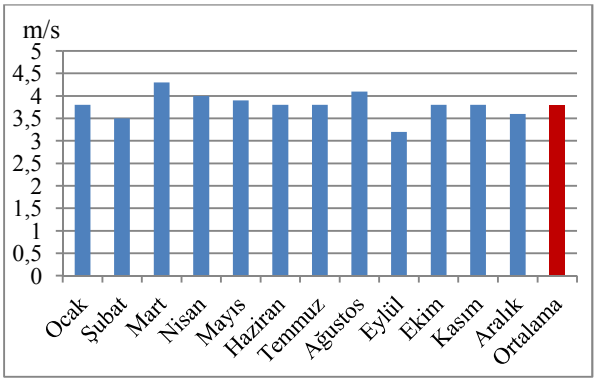
Önerilen sistemde gerek duyulan tüm enerjinin, ilk planda güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretilerek karşılanması hedeflenmektedir. Üretilen fazla enerjinin depolanabilmesi için batarya grubu ve yedek güç için ise yakıt hücresi sistemi kullanılması planlanmaktadır. Önerilen akıllı DC konut tasarımında şebeke bağlantısının bulunması sayesinde enerji üretiminde oluşabilecek arıza ya da üretim ve depolama kapasitesinin yükün enerji ihtiyacını karşılayamama durumlarında enerji devamlılığının sağlanmasının yanı sıra üretimin, talep edilen güç ve depolama kapasitesini aşması durumlarında konutta üretilen enerjinin şebekeye satılabilmesine imkan sağlanmaktadır. Böylece, hem ülkemiz enerji üretimine katkı yapılırken hem de ev ekonomisi için katma değer sağlanır.

Bu çalışmada, yenilenebilir hibrit enerji kaynaklarından üretilen enerjinin depolanması ve yönetilebilmesi için bir model ile akıllı enerji depolama ve yönetim algoritması önerilmektedir. Bu amaçla, günümüz koşullarında evlerde bulunması muhtemel elektrikli ev aletlerinin listesi çıkarılarak yüklerin öncelikli tercih olma durumlarına göre 2 grupta sınıflandırılmasıyla önerilen algoritmada ihtiyaç duyulan yük tipleri kullanıcı temelli olarak belirlenmiştir. Bu anlamda, önerilen akıllı enerji depolama ve yönetim sisteminde aynı zamanda ev içindeki yüklerin kullanımı ile ilgili planlama da yapıldığından sadece şebeke ile beslenen evlerde de kullanılarak enerji tasarrufu yapılmasına imkan verebilecektir.

Çalışmanın son kısmında ise önerilen akıllı enerji depolama ve yönetim algoritması, geliştirilen yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen DC konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemine ait model ile MATLAB/SIMULINK ortamında çeşitli durumlar için test edilmiştir. Yapılan benzetim çalışmalarında, Kocaeli iline ait gerçek rüzgar verileri ve Kocaeli Üniversitesi Umuttepe yerleşkesinde kurulmuş olan güneş paneli sistemi ile ölçülen 2014 yılı güneş verileri kullanılmıştır. Belirlenen bu gerçek parametrelerin benzetim çalışmalarında kullanılmasıyla, önerilen sistemin kazançlarının değerlendirilmesi konusunda referans olabilecek sonuçlar ortaya koyulmaktadır.

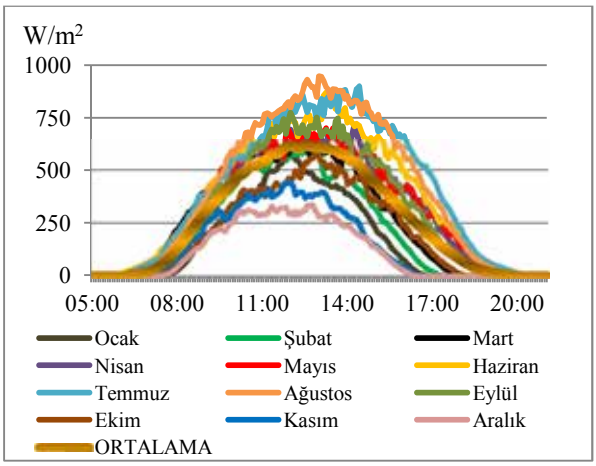
2. Kocaeli İli Aylık Ortalama Rüzgar Hızları ve Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi Güneş Enerjisi Potansiyeline Ait 2014 Yılı Verileri

Kocaeli bölgesi ortalama rüzgar hızlarının aylık ve tüm yıl değerleri Şekil 1'de verilmiştir. Kocaeli Üniversitesi Umuttepe yerleşkesinde kurulu 5 adet toplam 1250 Watt güçteki poli kristal P60 güneş paneli sisteminde Kocaeli ili 2014 yılı için ölçülen ışınım, güç ve hesaplanan aylara göre üretilen günlük enerji değerleri Şekil 2-4'te sunulmuştur [2].



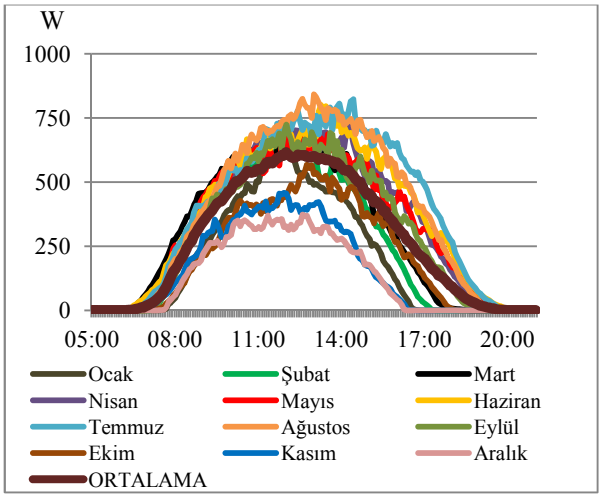
Şekil 1. Kocaeli ili ortalama rüzgar hızları

Şekil 1'de verilen Kocaeli ili ortalama rüzgar hızları grafiğine göre Kocaeli bölgesine ait ortalama rüzgar hızı değerleri "Cut-in" olarak adlandırılan ilk enerji üretme hızı için yeterlidir. "Cut-in" rüzgar hızı 3,5-5 m/s ve "Cut-out" hızı da 25 m/s civarındadır. Bu değerler Kocaeli bölgesinin rüzgar çiftliği kurulması açısından elverişli olduğunu göstermektedir.



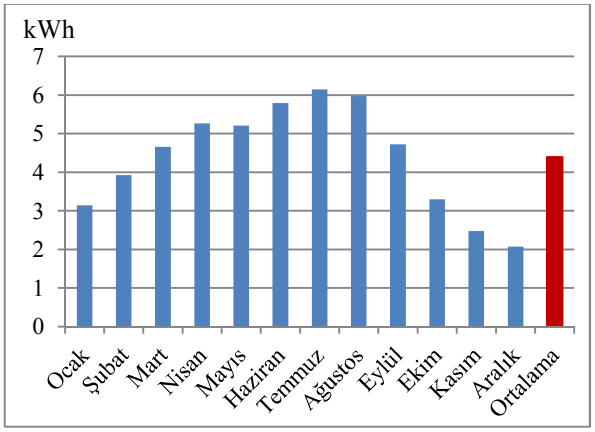
Şekil 2. 2014 yılı Kocaeli ışınım verilerinin ay ortalamalarının ve tüm yıl ortalamasının gün içerisindeki değerleri

Şekil 2'de verilen Kocaeli Umuttepe'de ölçülen 2014 yılı ışınım değerlerine göre gün içerisinde ulaşılan en yüksek güneş ışınımı Ağustos ayında 948 W/m^2 ile saat 13.00'te gerçekleşmiştir. 2014 yılı 12 ayının en düşük güneş ışınımının gerçekleştiği Aralık ayında, gün içerisinde ulaşılan en yüksek ışınım değeri 337 W/m^2 ile saat 12.40'ta gerçekleşmiştir. 2014 yılında Umuttepe yerleşkesinde ışınım 1550 kWh/m^2-yıllık olarak gerçekleşmiştir (yaz-kış saatleri uygulanmıştır) [2].



Şekil 3. 2014 yılı Kocaeli güç verilerinin ay ortalamalarının ve tüm yıl ortalamasının gün içerisindeki değerleri

Şekil 3'te verilen 1250 Watt güçteki poli kristal P60 tipindeki güneş panelinden 2014 yılı Kocaeli aylık güç ortalamalarının gün içerisindeki değerleri grafiğine göre; en yüksek güç değeri Ağustos ayında saat 13.00'da 841,27 W ile gerçekleşmiştir. 2014 yılının güç ortalamasının günün içerisindeki dağılımına göre saat 11.50'de 604,49 W ile günün en yüksek değerine ulaşılmıştır (yaz-kış saatleri uygulanmıştır) [2].



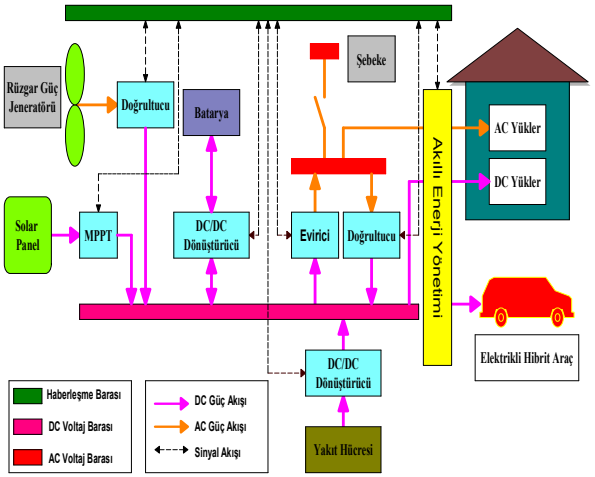
Şekil 4. 2014 yılı Kocaeli üretilen günlük enerji ortalamaları

Şekil 4'te verilen 2014 yılı Kocaeli üretilen günlük enerji ortalamaları grafiğine göre; en yüksek enerjiye 6,145 kWh ile Temmuz'da, en düşük enerjiye 2,075 kWh ile Aralık'ta ulaşılmıştır. 2014 yılında üretilen günlük enerji ortalaması ise 4,391 kWh olarak gerçekleşmiştir [2].

3. Önerilen Sistem

Önerilen yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen DC konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi güneş ve rüzgar enerjisinden elektrik üretilmesi ile depolama ünitesi olarak kullanılan bataryayı ve yedek güç için düşünülen yakıt hücresini içermektedir. Ayrıca, sistem şebeke bağlantısı sayesinde üretilen enerji fazlasını satma, enerji ihtiyacında şebekeden satın alma imkanı da vermektedir.

Önerilen akıllı enerji depolama ve yönetim sisteminde; DC güç ağı, AC güç ağı, akıllı enerji yönetim ağı ile DC ve AC baralar ile kaynaklar arasında enerjinin dönüştürülmesini ve düzenlenmesini sağlayan evirici, doğrultucu, çift yönlü DC-DC dönüştürücü ile maksimum güç noktası izleyici (MGNİ) yer almaktadır. Şekil 5'te yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen DC konutlar için önerilen akıllı enerji depolama ve yönetim sisteminin şeması verilmiştir.



Şekil 5. Yenilenebilir hibrit enerji ile beslenen DC konutlar için önerilen akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi şeması

Bu tasarım ekonomik katkısının yanı sıra güvenilir, yeterli, verimli enerji sunmaktadır. Sistem temel olarak 3 ana katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar; DC güç ağı, AC güç ağı ve akıllı enerji yönetim ağı şeklindedir.

DC bara linki; güneş panelleri, rüzgar türbini generatörleri, yakıt pilleri ve bataryalar gibi çeşitli enerji kaynaklarını içermektedir. Rüzgar generatörleri kullandıkları teknolojiye göre ürettikleri değişken ya da ayarlanabilen frekanslı AC güç, bir doğrultucu üzerinden DC voltaja dönüştürülmektedir. Güneş panellerinden elde edilen çıkış gücü güneş ışığının aydınlığına göre değişir. En yüksek verimi elde etmek ve DC bara voltajı ile solar panel voltajını eşlemek için içerisinde DC/DC güç dönüştürücü ve bir kontrolör bulunduran MGNİ kullanılır [1]. Batarya çift yönlü DC/DC dönüştürücü üzerinden DC gerilim barasına bağlıdır. Bu çift yönlü dönüştürücünün kontrol edilmesiyle bataryadan sisteme ya da sistemden bataryaya güç transferi yönetilmektedir. Bataryanın çıkış gücü yük talebine bağlıdır ve kontrol edilerek denge sağlanır. Acil güç talebinde yedek güç için kullanılan yakıt hücresi elektrik üretmek için hidrojen kullanır ve DC/DC dönüştürücü ile DC baraya bağlıdır. Ayrıca şebekeden alınan AC voltaj doğrultucu üzerinden DC voltaja dönüştürülerek DC baraya bağlıdır. Üretilen ve depolanan güç, talep edilen gücü karşılayamadığında evdeki DC yükler bu şekilde beslenir.

AC bara linki; mevcut elektrikli aletlerin çoğunun AC güç ile çalışmasından dolayı, DC voltajın tek-faz ya da 3 faz AC voltaja dönüştürülmesi gerekir. Bu güç dönüşümü, yüksek verimliliğe sahip gerilim kaynaklı eviriciler ile sağlanır. Sistemde tüm enerji kaynaklarının AC yerine DC güç ağında toplanması sayesinde çıkış voltajının düzenlenmesinde ya da çıkış gücünün kontrolünde eviricilerin kontrolü nispeten daha basittir [1]. Akıllı enerji yönetimi sistemi ile AC yüklerin güç tüketiminin kontrolü ve yüksek verim elde edilmesi sağlanır.

Akıllı enerji yönetim ağı; yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip sistem formu küçük bir şebeke olarak düşünülerek küçük güçlü kaynaklar ve yerel yüklerden oluşmaktadır. Bu önerilen sistem içerisinde enerji akışını kontrol etmek için kontrolörler kullanılır. Her bir kontrolör ile ayrı yük ve enerji kaynağı kontrol edilerek hepsinin verileri akıllı enerji yönetim sistemi altında birleştirilir [1].

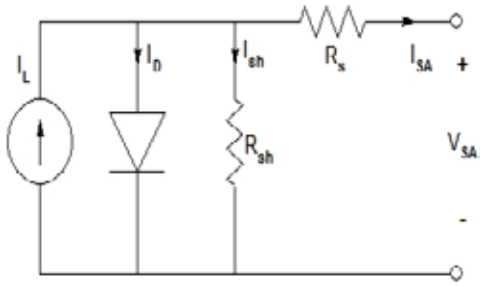
Akıllı enerji depolama ve yönetimi algoritması kullanılarak yenilenebilir hibrit enerji kaynaklarından üretilen ve depolanan enerjiye göre; yüklerin kaydırılması ve yüksek talep sürelerinin ayarlanması ya da acil durumlar için planlamalar yapılabilmektedir. Rüzgar, güneş gibi dinamik enerji kaynaklarının kapasiteleri enerji verimliliği, güvenilirliği, esnekliği ve çevre koşulları dikkate alınarak ulaşılabilirlik, olası talep ve tüketici-kullanım kriterlerine göre seçilmelidir.

4. Sistemin Modellenmesi

Önerilen yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen DC konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sisteminde yer alan potansiyel enerji kaynaklarına ait elektriksel modeller incelenmiştir.

4.1. Güneş Hücresi Eşdeğer Devresi ve Elektriksel Modeli

Güneş hücresinin eşdeğer devresi Şekil 6'da verilmiştir [10].



Şekil 6. Güneş hücresinin eşdeğer devresi

Güneş hücresinin elektriksel karakteristiğinin matematiksel ifadeleri;

$$V_{SA} = V_D - R_S \cdot I_{SA} \tag{1}$$

$$I_{SA} = I_L - I_D - \left(\frac{V_D}{R_{SH}}\right) \tag{2}$$

$$I_D = I_S \cdot \left(exp\left(\frac{V_D}{V_{TH}}\right) - 1\right) \tag{3}$$

şeklindedir. Burada, V_{SA} ve I_{SA} güneş hücresinin volt ve akımıdır. I_L; güneş ışığından üretilen akım (A) V_D; PN jonksiyon voltajı (V), I_D; N jonksiyon üzerindeki akım (A) ve R_s ile R_{sh} ise hücre yapısının seri ve şönt dirençleridir (Ω). Termal potansiyeli V_{TH} ve diyotun ters doyma akımı I_S sırasıyla Denklem (4) ve Denklem (5)'te verilmiştir.

$$V_{TH} = \left(\frac{k \cdot T_{SA}}{e}\right) \tag{4}$$

$$I_S = I_{S0} \cdot \left(\frac{T_{SA}}{T_0}\right)^3 \cdot exp\left(\frac{e}{\gamma \cdot k} \cdot \left(\frac{E_g \cdot (T_0)}{T_0} - \frac{E_g \cdot (T_{SA})}{T_{SA}}\right)\right) \tag{5}$$

Burada, k Boltzmann sabiti ve e elektriksel yüktür. T_0 ortam sıcaklığını temsil ederken T_{SA} hücre sıcaklığını, I_{S0} ortam sıcaklığında ters doyma akımını, E_g enerji band aralığını ve γ ise hücre diyot ideallik faktörünü göstermektedir. Işıktan üretilen I_L akımı, solar parlaklık ile doğru orantılıdır ve Denklem (6)'da gösterilmiştir.

$$I_L = R_e \cdot A_{SA} \cdot P_{ir} + C_L = (T_{SA} - T_0)\frac{P_{ir}}{P_{ir0}} \tag{6}$$

Burada, A_{SA} hücrenin aktif alanını (m^2), C_L sıcaklık değişimi (A/K) yüzünden I_L'nin sıcaklık katsayısını, P_{ir} parlaklık (W/m^2), P_{ir0} ortam sıcaklığındaki (T_0) parlaklığı (W/m^2) ve R_e spektral ortalama duyarlılığı (A/W) ifade eder. Ortamdaki ısı değişim ifadesi Denklem (7)'de verilmiştir [11].

$$c_p \cdot M \cdot \frac{dT_{SA}}{dt} = \frac{(V_{SA} - V_D)^2}{R_S} + \frac{V_D{}^2}{R_{sh}} + I_D \cdot V_D + (1 - p - \tau - \eta) \cdot A_{SA} \cdot P_{ir} - \Sigma h_c(t) \cdot A_{SA} \cdot (T_{SA} - T_0) \tag{7}$$

Burada, c_p ortalama özel ısıyı (J/kg/K), M ortalama kütleyi (kg) ve h_c soğuma katsayısını ($W/K/m^2$), ρ hücrenin yansıma katsayısını, τ hücrenin iletim katsayısını ve η ise hücrenin quantum verimliliğini gösterir.

4.2. Rüzgar Türbini Elektriksel Modeli

Kısmı yük altında çalıştırılan rüzgar türbininin hızı; kesimdeki rüzgar hızı ile nominal rüzgar hızının arasındadır. Rüzgâr türbininden elde edilen gücün formülü [12, 13];

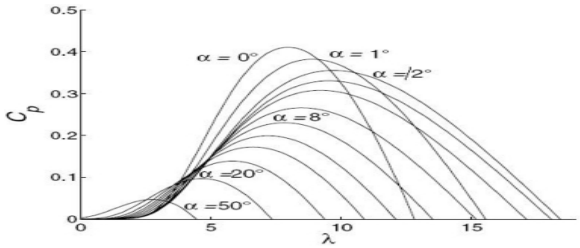
$$P_{WT} = C_p \cdot \pi \cdot R^2{}_{WT} \cdot \rho_0 \cdot v^3/2 \tag{8}$$

şeklinde olur. Burada P_{WT} türbinden elde edilen güç, ρ_0 hava yoğunluğu, R_{WT} kanatların yarıçapı, v rüzgâr hızı ve C_p güç katsayısı şeklinde sembolize edilmiştir.

Rüzgar türbin kanatlarının önemli bir parametresi de "Pitch" açısıdır ki bu açı kanadın kirişi ile dönme düzlemi arasıdır. Kiriş hattı, hava setinin ön ve arka kenarlarını birbirine bağlayan düz bir hattır. Dönme düzlemi ise kanatların döndüğü zamanki düzlemdir. Rüzgar yönü dönme yönüne dik olduğu zaman tüm güç çıkışı elde edilir. "Pitch" açısı duran bir açıdır ve sadece kanatların konumuna bağlıdır. Uç hız oranı λ, kanatların uçlarındaki hız ile rüzgar hızı arasındaki orandır ve Denklem (9)'da verilmiştir.

$$\lambda = \Omega \cdot R_{WT}/v \tag{9}$$

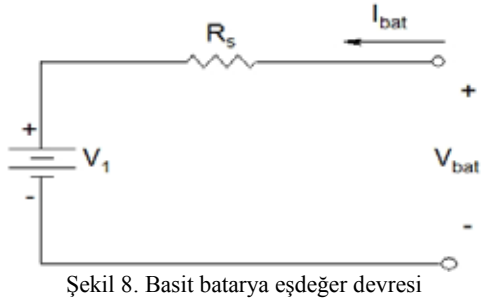
Burada, Ω kanatların dönme hızıdır. Maksimum gücü elde etmek için türbin hızı rüzgar hızıyla senkron olarak değiştirilmelidir. Denklem (8)'e göre C_p güç katsayısı ayarlanarak rüzgârdan maksimum güç elde edilebilir [13-16]. Pitch açısı sabitken, C_p ise Şekil 7'de gösterildiği gibi (TSR) uç hız oranının bir fonksiyonudur.



Şekil 7. Farklı kanat açıları için güç katsayısı eğrisi

4.3. Batarya Eşdeğer Devresi ve Elektriksel Modeli

Basit batarya eşdeğer devresi Şekil 8'de gösterilmiştir [17].



Şekil 8. Basit batarya eşdeğer devresi

Kurşun-asit batarya şarj ve deşarj durumlarının matematiksel modelleri Denklem (10) ve Denklem (11)'de verilmiştir [18].

Deşarj modeli ($i^*>0$) için;

$$f_1(it,i^*,i,Exp) = E_0 - K\cdot\frac{Q}{Q-it}\cdot i^* - K\cdot\frac{Q}{Q-it}\cdot it + Laplace^{-1}\left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)}\cdot 0\right) \quad (10)$$

Şarj modeli ($i^*<0$) için;

$$f_2(it,i^*,i,Exp) = E_0 - K\cdot\frac{Q}{it+0{,}1\cdot Q}\cdot i^* - K\cdot\frac{Q}{Q-it}\cdot it + Laplace^{-1}\left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)}\cdot\frac{1}{s}\right) \quad (11)$$

Lityum-iyon batarya şarj ve deşarj durumlarının matematiksel modelleri Denklem (12) ve Denklem (13)'te verilmiştir [18].

Deşarj modeli ($i^*>0$) için;

$$f_1(it,i^*,i) = E_0 - K\cdot\frac{Q}{Q-it}\cdot i^* - K\cdot\frac{Q}{Q-it}\cdot it + A\cdot exp(-B\cdot it) \quad (12)$$

Şarj modeli ($i^*<0$) için;

$$f_2(it,i^*,i) = E_0 - K\cdot\frac{Q}{it+0{,}1\cdot Q}\cdot i^* - K\cdot\frac{Q}{Q-it}\cdot it + A\cdot exp(-B\cdot it) \quad (13)$$

Nikel-kadmiyum ve nikel-metal-hibrit bataryaların şarj ve deşarj durumlarının matematiksel modelleri Denklem (14) ile Denklem (15)'te verildiği gibidir [18].

Deşarj modeli ($i^*>0$) için;

$$f_1(it,i^*,i,Exp) = E_0 - K\cdot\frac{Q}{Q-it}\cdot i^* - K\cdot\frac{Q}{Q-it}\cdot it + Laplace^{-1}\left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)}\cdot 0\right) \quad (14)$$

Şarj modeli ($i^*<0$) için;

$$f_2(it,i^*,i,Exp) = E_0 - K\cdot\frac{Q}{|it|\cdot 0{,}1\cdot Q}\cdot i^* - K\cdot\frac{Q}{Q-it}\cdot it + Laplace^{-1}\left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)}\cdot\frac{1}{s}\right) \quad (15)$$

Batarya şarj durumu (State of charge-SOC) için matematik ifade Denklem (16)'da verildiği gibidir [18].

$$SOC = 100\cdot\left(1-\frac{it}{Q}\right) \quad (16)$$

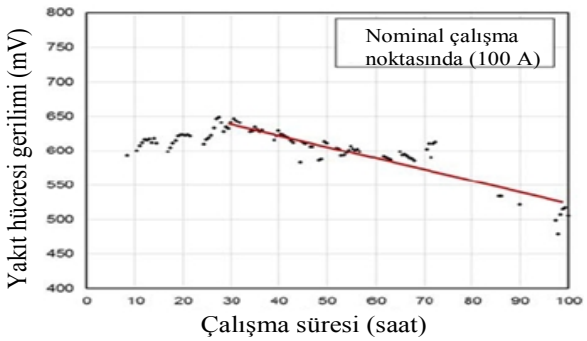
Burada; V_b gerçek batarya gerilimi (lineer olmayan) (V), E_0 batarya sabit gerilimi (V), *Exp(s)* üstel bölge gerilimi (V) olarak ifade edilirken *Sel(s)* bataryanın çalışma modunu *(Sel(s)*=0 deşarj, *Sel(s)*=1 şarj) gösterir. *K* polarizasyon direnci (Ω) ya da polarizasyon sabiti (Ah^{-1}), *i** düşük frekansta akım dinamikleri (A), *i* gerçek batarya akımı (A), *it* mevcut batarya kapasitesi (Ah), *Q* maksimum batarya kapasitesi (Ah), *A* üstel bölge gerilimi (V), *B* üstel bölge zaman sabitinin tersi ya da üstel kapasite (Ah^{-1}) olarak tanımlanır.

4.4. Yakıt Hücresi

PEM (Proton Exchange Membrane) yakıt hücresi (PEM-FC) sistemi hidrojen ve oksijen kullanarak kimyasal enerjiden doğrudan elektrik ve termal enerji üretir. Ürün sadece su olur ve bu karbon problemi olmadığını gösterir.

Doğru dönüşüm yanma işlemi kadar yüksek verim sağlar. PEM tipi yakıt hücreleri diğer tip yakıt hücreleriyle kıyaslandığında rüzgar ve fotovoltaik gibi dinamik yükler için daha uygundur.

Şekil 9'da yakıt hücresine ait mV-zaman eğrisi verilmiştir.



Şekil 9. Yakıt hücresi mV-zaman eğrisi

Denklem (17)'de verilen eşitliğe göre PEM tipi yakıt pilinin hücre voltajı akımla, sıcaklıkla ve basınçla değişir [19].

$$V_{fc} = N\cdot\left[E_{H_2O_2} - \left(b_0\cdot T_{FC}^{\,2} + b_1\cdot T_{FC} + b_2\right)\cdot log\left(\frac{I_{fc}}{A_{cell}}\right) - \left(r_0\cdot T_{FC}^{\,2} + r_1\cdot T_{FC} + r_2\right)\cdot\frac{I_{fc}}{A_{cell}} - \left(m_0\cdot P_r^2 + m_1\cdot P_r + m_2\right)\cdot exp\left(\left(n_0\cdot P_r^2 + n_1\cdot P_r + n_2\right)\cdot\frac{I_{fc}}{A_{cell}}\right)\right] \quad (17)$$

H_2O_2 reaksiyonunun standart potansiyelini E_{H2O2} (V), yakıt hücresinin akımını I_{fc} (A), yakıt hücresinin gerilimini V_{fc} (V), hücre sayısını N, hücrenin alanını A_{cell} (cm^2), yakıt hücresinin sıcaklığını T_{FC} (K), yakıt hücresindeki hidrojen basıncını P_r ifade ederken, b_i, r_i, m_i ve n_i sabitleri ise (i=0, 1, 2 için) deneysel verilerden belirlenmiş katsayılarıdır.

F Faraday sabitidir. İstenen hidrojen molar akış oranı n'_{fc} ile yakıt hücresi tarafından üretilen I_{fc} akımı arasındaki ilişki Denklem (18)'de verilmiştir.

$$I_{fc} = \frac{2n'_{fc}F}{N} \quad (18)$$

şeklinde olurken Denklem (19)'da verilen yakıt hücresinin yararlanma (kullanım) faktörü u_{fc} ise;

$$u_{fc} = \frac{n'_{fc}}{n'_s} \quad (19)$$

olarak ifade edilir. Burada n'_s sağlanan hidrojen molar akış oranı, yakıt akış kontrolörü tarafından belirlenmiştir. P_{fc} yakıt hücresinden üretilen elektriksel güç, V_{fc} ile I_{fc} ise yakıt hücresinin gerilim ve akım ifadesidir. Yakıt hücresinden üretilen elektriksel güç Denklem (20)'de verilmiştir.

$$P_{fc} = V_{fc} \cdot I_{fc} \quad (20)$$

5. Yük Tiplerinin Belirlenmesi

Önerilen akıllı enerji yönetim algoritmasında, üretilen güç ile kıyası yapılacak olan talep edilen gücün belirlenmesi gerekmektedir. Bu yüzden ülkemizde evlerde bulunması yüksek ihtimal olan elektrikli cihazların listesi çıkarılmıştır. Tablo 1'de yüklerin besleme tipleri ve güçleri ile tahmini maksimum günlük tüketimlerine göre toplam talep ettikleri enerjiler belirlenmiştir. Tablo 1'de evdeki yükler 2 gruba ayrılarak enerji yönetimi bu 2 yük tipi dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu 2 yük tipi kullanıcı temelli olup, üretilen güce ve talep edilen güce göre kullanıcı tercihine bağlı olarak yükler yeniden sınıflandırılabilir.

Bu önerilen sistem için yük tiplerinin belirlenmesi ve sınıflandırılmasında besleme tipine bağlı olmaksızın kullanılma ve ihtiyaç duyulma durumları esas alınmıştır. Buradaki amaç; öncelikli yüklerin enerjisiz kalmamasının sağlanmasıdır. İlk grupta en çok kullanılan ve ihtiyaç duyulan yükler yer almaktadır. Belirlenen ikinci grupta ise daha az kullanılan ve genelde büyük güçlü yükler yer almaktadır.

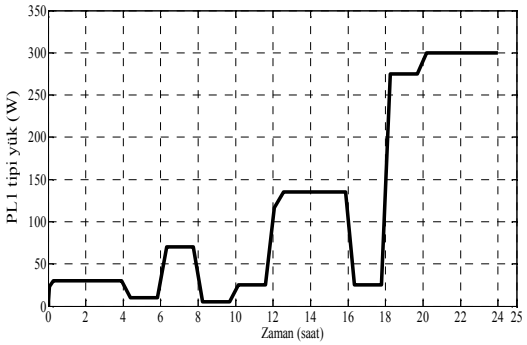
Öncelikli yük tipi PL1 olarak isimlendirilmiştir. PL1 yük tipi belirlenirken dikkate alınan kriter günümüzde her evde bulunması yüksek ihtimal olan aydınlatma buzdolabı, televizyon, internet, telefon vb. için şarj, elektrikli şofben ya da kombi ile çamaşır makinası gibi ilk etapta ihtiyaç duyulan yükleri içermektedir.

İkinci yük tipi olan PL2 ise olduğunda hayatımızı kolaylaştıran bulaşık makinası, elektrikli süpürgesi, mikrodalga, ütü ve fırın gibi büyük güçlü yükleri içermektedir. Sistemde elektrikli araç mevcutsa PL2 tipi yük olarak sınıflandırılması planlanmaktadır.

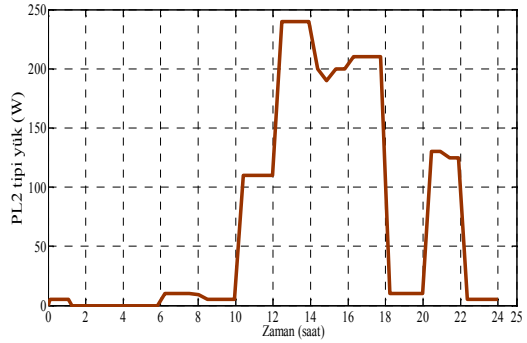
Tablo 1'de verilen günlük tüketim verileri esas alınarak, kullanıcı tercihine bağlı olarak değişebilen, yüklerin gün içerisinde genelde kullanılma zamanları ve süreleri dikkate alınarak Şekil 10 ve Şekil 11'de sırasıyla PL1 ve PL2 tipi yüklere ait talep edilen güçlerin günlük grafiği yaklaşık olarak belirlenmiştir. Sistemde elektrikli araç mevcutsa PL2 tipi yük olarak belirleneceğinden PL2 tipi yük güç-zaman grafiği değişecektir. Şekil 10'da verilen PL1 yükü ve Şekil 11'de verilen PL2 yüküne ait güç-zaman grafikleri incelendiğinde gün içerisinde enerji ihtiyacının en yoğun olduğu periyot 12-22 saatleri arasındaki 10 saatlik dilim olarak görülmektedir.

Tablo 1. Elektrikli ev aletlerinin belirlenen yük tipleri ile tahmini günlük çalışma saatleri ve günlük enerji tüketimleri

Yük Tipi	Elektrikli Cihazlar	Güç (Watt)	Volt Tipi	Tahmini Günlük Çalışma (Saat)	Tahmini Günlük Tüketim (Wh)
PL1	Aydınlatma	300	DC	5	1500
PL1	Buzdolabı	1000	AC	2	2000
PL1	LED -Tüplü	100	AC	8	800
PL1	Plazma TV	300	DC	4	1200
PL1	Bilgisayar1	90	DC	10	900
PL1	Bilgisayar2	90	DC	5	450
PL1	ADSL	24	DC	24	576
PL1	Uydu alıcısı	10	AC	24	240
PL1	Çamaşır mak.	2000	AC	1,5	3000
PL2	Bulaşık mak.	1500	AC	2	3000
PL2	Fırın	2500	AC	1	2500
PL1	Kombi/Şofben	2500	AC	6	15000
PL2	Ütü	2400	AC	1	2400
PL1	Tost mak.	1000	AC	0,5	500
PL2	Süpürge	2200	AC	0,5	1100
PL2	Mutfak robotu	800	AC	0,5	400
PL1	Fön mak.	2000	AC	0,25	500
PL1	Ketıl	2200	AC	0,5	1100
PL2	Mikrodalga	1200	AC	0,16	200
PL1	Telefon+vb.	5	DC	10	50
PL1	Fotoğraf mak.	2	DC	2	4
PL1	Tıraş mak.	10	DC	1	10
PL1	Davlumbaz	150	AC	0,33	50
PL2	Dikiş mak.	85	AC	1	85
PL2	Klima	2200	AC	5	11000



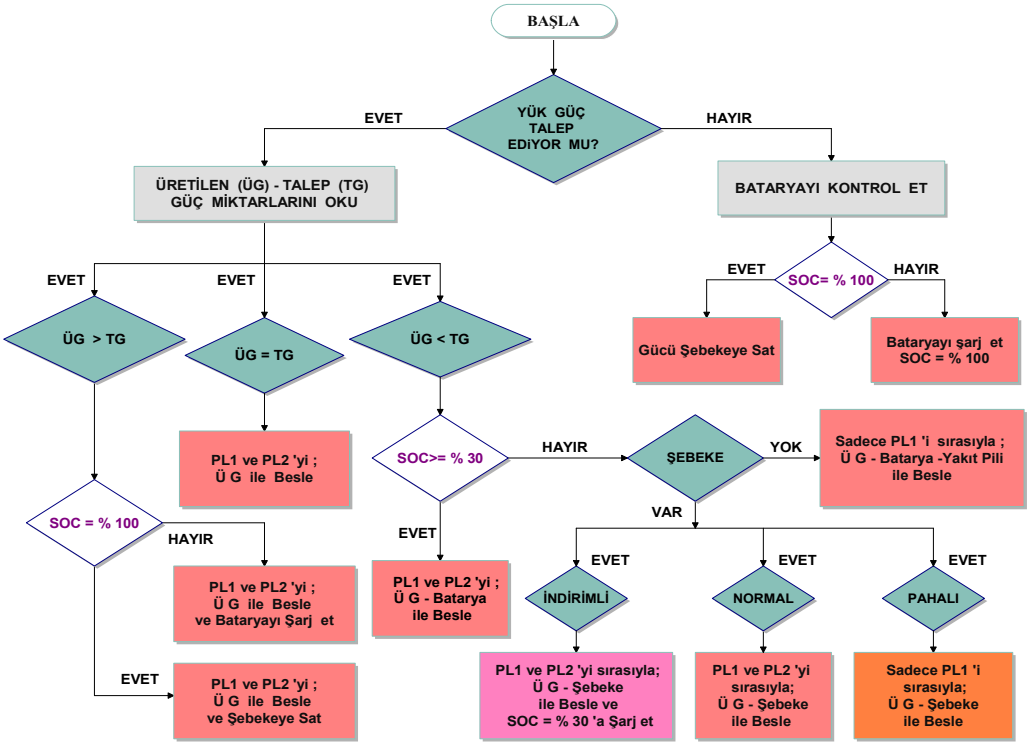
Şekil 10. Belirlenen PL1 tipi yüke ait güç-zaman grafiği



Şekil 11. Belirlenen PL2 tipi yüke ait güç-zaman grafiği

6. Önerilen Akıllı Enerji Depolama ve Yönetim Algoritması

Şekil 12'de yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen DC konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi için önerilen algoritmanın blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 12. Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen DC konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi için önerilen algoritmanın blok diyagramı

Önerilen akıllı enerji depolama ve yönetim algoritmasının amacı, güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip olan DC tabanlı bir evde üretilen güç ile günümüz şartlarında evlerde bulunan elektrikli ev aletlerinin talep ettiği gücün kıyaslanması ve bu kıyasın sonucuna göre üretilen güç, depolama ve şebeke durumlarını kontrol ederek sistemin izin verdiği en optimum çözümün uygulanmasıdır.

Önerilen bu algoritma ile üretilen güce göre evdeki yüklerin öncelikleri dikkate alınarak kullanımı için en uygun zamanlar belirlenebilir. Böylece üretilen güç daha verimli kullanılabilir. Böylece, şebekeye olan bağımlılık minimuma indirgenir dolayısıyla da faturalar düşürülerek tasarruf yapılır.

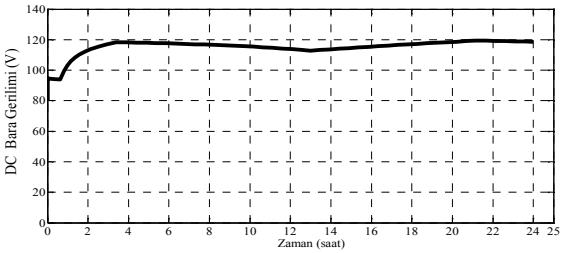
Şekil 12'de verilen yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen DC konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi için önerilen algoritmanın blok diyagramına göre ilk önce yükün güç talep edip etmediği sorgulanır eğer güç talebi yoksa batarya kontrol edilerek batarya tam doluysa üretilen güç şebekeye satılır fakat tam dolu değilse batarya %100'e şarj edilmeye çalışılır. Eğer yük, güç talep ediyorsa üretilen ve talep edilen güçler kıyaslanarak döngüye devam edilir. Önerilen algoritmanın sunduğu en optimum çözüm; eğer üretilen güç talep edilen güçten fazlaysa, yüklerin hepsinin beslenmesini ve bataryanın şarj durumuna göre şarj edilmesini ya da şebekeye satılmasını içerebilir. Eğer üretilen güç, talep edilen güçten az ise burada optimum çözüm için ilk bakılacak bataryanın doluluk oranı olacaktır. Üretilen gücün, talep edilen gücü karşılayamadığı durumda eğer bataryanın doluluk oranı belirlenen seviyenin üzerinde ise yüklerin hepsi beslenecektir. Eğer bataryanın doluluk oranı belirlenen seviyenin altında ise şebekenin olup olmadığı ve tarife durumu kontrol edilerek en optimum çözüm sunulmaktadır.

7. Benzetim Çalışması Sonuçları

Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen DC konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi için önerilen MATLAB/SIMULINK modelinin, önerilen akıllı enerji depolama ve yönetim algoritması kullanılarak kontrol edilmesiyle benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, yapılan benzetim çalışmalarında belirlenen bazı başlangıç koşulları için önerilen akıllı enerji depolama ve yönetim algoritmasının sunduğu optimum çözümler ile batarya ve şebekeye ait gerilim ve şarj durumu (SOC) grafikleri verilmiştir.

Geliştirilen akıllı enerji depolama ve yönetim algoritmasına giriş olarak belirlenen PL1, PL2, Pgunes ve Pruzgar verilerinin sağlanabilmesi için MATLAB/SIMULINK ortamındaki "Look up Table" diyagramları kullanılmıştır. Rüzgardan ve güneşten üretilen enerjilerin Kocaeli bölgesine ait gerçek değerler olması için Şekil 1-4'te verilen değerlerden yararlanılmıştır. Yük tipleri için de Şekil 10 ve Şekil 11'de verilen güç-zaman grafiklerinden yararlanılmıştır. Batarya şarj seviyesi (SOC), kullanılan bataryadan geri besleme alınarak kontrol edilmektedir. Yük güç talebi (YGT), şebeke (S) ve tarife durumları ise manuel anahtarlama yapılarak kontrol edilmektedir. Geliştirilen modelde, şebekeyi temsil etmesi için daha büyük parametrelere sahip batarya kullanılmıştır.

120 V DC bara geriliminin V-t grafiği Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13. DC bara gerilimi

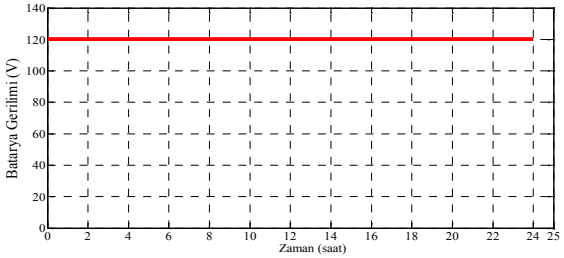
Önerilen yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen DC konutlar için akıllı enerji depolama ve yönetim algoritmasına göre; önce yükün güç talep edip etmediği sorgulanır eğer yük güç talep etmiyorsa (YGT=0) ve üretilen güç varsa batarya %100'e şarj edilir. Batarya doluysa güç şebekeye satılır.

Başlangıçta bataryanın şarj durumunun (SOC) %100 ve YGT=0 olduğu Durum-1 için önerilen algoritmanın sunduğu optimum çözüm Tablo 2'de gösterilmiştir.

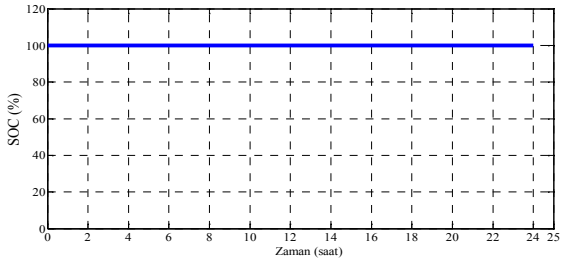
Tablo 2. Durum-1 için optimum çözüm

Gücü şebekeye sat.

Bu başlangıç koşulları ile önerilen çözüm sonucunda; batarya geriliminin zamanla değişimi Şekil 14'te ve batarya SOC (%) değerinin zamanla değişimi ise Şekil 15'te gösterilmiştir.

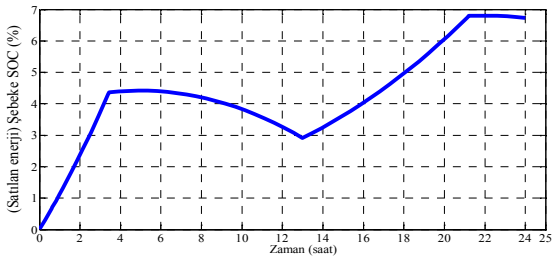


Şekil 14. Batarya geriliminin değişimi



Şekil 15. Batarya SOC (%) değerinin değişimi

Bu başlangıç koşulları göre önerilen çözüm sonucunda şebeke olarak düşünülen bataryanın başlangıçta %0 olan SOC (%) değerinin zamanla değişimi Şekil 16'da gösterilmiştir.



Şekil 16. Şebeke SOC (%) değerinin değişimi

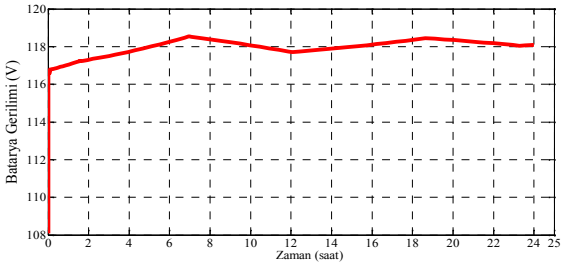
Önerilen yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlar için akıllı enerji depolama ve yönetim algoritmasına göre; yükün güç talep ettiği (YGT=1), bataryanın şarj durumunun belirlenen kritik seviye olan %30'un altında olduğu durumlarda önce şebeke durumu kontrol edilmektedir. Eğer şebeke varsa burada tarife durumu kontrol edilmektedir. Tarifenin indirimli, normal ya da pahalı tarife olmasına göre de en uygun çözüm sunulmaktadır.

Başlangıçta SOC(%)=%25, YGT=1, S=1 ve Tarife=2 olduğu Durum-2 için önerilen algoritmanın sunduğu optimum çözüm, komutlar farklı sürelerde olmak üzere, Tablo 3'te verilmiştir.

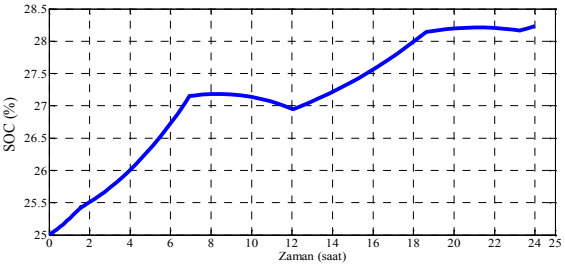
Tablo 3. Durum-2 için optimum çözüm

L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ile besle ve bataryayı şarj et,
Normal tarife-L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ve şebeke ile besle,
L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ile besle,
L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ile besle ve bataryayı şarj et,
Normal tarife-L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ve şebeke ile besle,
L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ile besle ve bataryayı şarj et,
Normal tarife-L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ve şebeke ile besle.

Bu başlangıç koşulları için sunulan optimum çözüm sonucunda batarya geriliminin zamanla değişimi Şekil 17'de ve batarya SOC (%) değerinin zamanla değişimi Şekil 18'de gösterilmiştir.



Şekil 17. Batarya geriliminin değişimi



Şekil 18. Batarya SOC (%) değerinin değişimi

8. Sonuçlar

Bu çalışmada, geleneksel konutların aşırı enerji tüketimi ve çevreye olan olumsuz etkilerine karşı en etkin çözüm olarak yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen DC konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi önerilmiştir. Önerilen yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen DC konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi için geliştirilen model ve yönetim algoritması ile MATLAB/SIMULINK ortamında yapılan benzetim çalışmalarının sonuçları bu çalışmada sunulmuştur.

Ekonomik ve çevre dostu yenilenebilir enerjiden en üst seviyede yararlanabilmek için geliştirilen yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen DC konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sisteminin kurulacağı bölgenin yenilenebilir enerji potansiyelinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, Kocaeli bölgesindeki rüzgar hızının ay ve tüm yıl ortalamalarına ait değerler belirlenmiştir. Kocaeli Üniversitesi Umuttepe yerleşkesinde bulunan 5 adet toplam 1250 Watt kurulu güçteki poli kristal P60 güneş panelinden oluşan sistem tarafından Kocaeli ili 2014 yılı için ölçülen ışınım, güç değerleri ile hesaplanan üretilen günlük enerji değerleri ilgili grafikler vesilesiyle sunulmuştur.

Geliştirilen yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen DC konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemine ait model ve yönetim algoritmasıyla MATLAB/SIMULINK ortamında yapılan benzetim çalışmalarında, benzetim çalışması sonuçlarının referans değer taşıyabilmesi ve Kocaeli bölgesi rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji potansiyeline ait verilerin yeterlilik durumlarının test edilebilmesi için bu çalışmada Şekil 1-4'te verilen gerçek verilerden yararlanılmıştır. Gerçek verilerle desteklenen bu benzetim çalışması sonuçları incelendiğinde Kocaeli bölgesinin ivedilikle değerlendirilmesi gereken yenilenebilir enerji potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Geliştirilen yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen DC konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemine ait model ve algoritmanın kullanılmasıyla üretilen ve depolanan enerjinin anlık enerji seviyeleri kontrol edilerek talep edilen enerjiye göre sunulan en optimum çözümün uygulanmasıyla konutun enerji ihtiyacı başarılı şekilde karşılanmıştır. Böylece çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli ve etkin kullanılmasının yanı sıra üretilen ve depolanan enerjinin yetersiz kaldığı durumlar için önerilen en uygun çözümlerle yüklerin tüketim zamanları düzenlenerek enerji tasarrufu dolayısıyla da ekonomik açıdan tasarruf sağlanmıştır. Aynı zamanda, geliştirilen bu sistem yeni popüler olmaya başlayan DC konutlar için bir taban model önerisi olarak sunulmuştur.

9. Kaynaklar

[1] Jiang Z.**,** Rahimi-Eichi H., "Design, Modeling and Simulation of a Green Building Energy System", *Power & Energy Society General Meeting*, Kanada, 2009, 1-7.

[2] Alkan A.**,** Bilgin M. Z., "Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi Güneş Enerjisi Potansiyelinin İncelenmesi", *VIII. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKSEM)*, Adana,Türkiye, 15-16 Ekim 2015, 259-263.

[3] Boynuegri R., Yagcitekin B., Baysal M., Karakas A., Uzunoglu M., "Energy Management Algorithm for Smart Home with Renewable Energy Sources", *Power Engineering, Energy and Electrical Drives 4th International Conference*, İstanbul, Türkiye, 2013, 1753-1758.

[4] Yoza A., Uchida K., Yona A., Senjyu T., "Optimal Operation of Controllable Loads in DC Smart House with EV", *Renewable Energy Research and Applications (ICRERA) International Conference*, Japonya, 11-14 Kasım 2012, 1-6.

[5] Tanaka K., Uchida K., Yona A., Senju T., Funabashi T., Kim H., Ogimi K., "Optimum Operation Planning of Controllable Loads in Smart House", *Power Electronics and Drive Systems (PEDS) IEEE 9th International Conference*, Singapur, 5-8 Aralık 2011, 310-315.

[6] Miyagi H., Yamauchi H., Uchida K., Yona A., Senjyu T., "Advanced Smart House with an Electric Vehicle", *Renewable Energy Research and Applications (ICRERA) International Conference*, Japonya, 11-14 Kasım 2012, 1-6.

[7] Kimura N., Morizane T., Omori H., "Power Management Unit for DC Feeder in House (DC Smart House)", *Renewable Energy Research and Applications (ICRERA) International Conference*, Japonya, 2012,1-5.

[8] Wu W., Aziz M., Huang H., Yu H., Gooi H., "A Real-time Cyber-physical Energy Management System for Smart Houses", *Innovative Smart Grid Technologies Asia (ISGT), IEEE PES*, Perth, Avustralya, 2011, 1-8.

[9] Zhu T., Xiao S., Ping Y., Towsley D., Gong W., "A Secure Energy Routing Mechanism for Sharing Renewable Energy in Smart Microgrid", *Smart Grid Communications IEEE International Conference,* 2011, 143-148.

[10] Fahmy F., "Enhancement of Photovoltaic System Model", *Proceedings of the 35th Midwest Symposium on Circuits and Systems*, Washington, 1992, 110-113.

[11] Liu S., Dougal R. A., "Dynamic Multiphysics Model for Solar Array", *Energy Conversion IEEE Transactions*, 17(2), 285-294, 2002.

[12] Monroy A., Alvarez-Icaza L., "Real-time Identification of Wind Turbine Rotor Power Coefficient", *Proceedings of The 45th IEEE Conference on Decision & Control*, 2006, 3690-3695.

[13] Hua, G., Geng, Y., "A Novel Control Strategy of MPPT Taking Dynamics of Wind Turbine into Account", *37th IEEE Power Electronics Specialists Conference*, 2006, 1-6.

[14] Cardenas R, Pena R., "Sensorless Vector Control of Induction Machines for Variable-Speed Wind Energy Applications", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 19(1), 196-205, 2004.

[15] Qihui L., Yikang H., Rende Z., "The Maximal Wind-Energy Tracking Control of A Variable-Speed Constant-Frequency Wind-Power Generation System", *Automation of Electric Power Systems*, 27(20), 62-67, 2003.

[16] Datta R., Ranganathan V.T., "A Method of Tracking The Peak Power Points for a Variable Speed Wind Energy Conversion System", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 18(1), 163–168, 2003.

[17] Bouharchouchel A., Berkouk E., Ghennaml T., "Control and Energy Management of a Grid Connected Hybrid Energy System PV -Wind with Battery Energy Storage for Residential Applications", *8th International Conference and Exhibition on Ecological Vehic1es and Renewable Energies (EVER)*, İstanbul, Türkiye, 13-17 Mayıs 2013, 1-11.

[18] Tremblay, O., Dessaint, L., "Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications", *EVS24*, Stavanger, Norveç, 13–16 Mayıs 2009.

[19] Kim J., Lee S., Srinivasan S., "Modeling of Proton Exchange Membrane Fuel Cell Performance with an Empirical Equation", *Journal of Electrochemical Society*, 142(8), 1670-2674, Ağustos 1995.

YENİ NESİL UÇAK ELEKTRONİĞİ VE MODERNİZASYONU

Dr. Erdener 1LD1Z

(E) Y.Müh.Kd.Bnb.

ÖZET

Bilgisayar ve elektronik alanındaki hızlı gelişmeler, uçak elektronik sistemlerinin yeteneklerini artırmakta ve giderek bu alanda kavram değişikliklerine neden olmaktadır. Kavramdaki değişime bağlı olarak, ülkeler yapısal olarak daha uzun yıllar hizmet edebilecek uçaklarını, yeni nesil uçak elektronik sistemleriyle yenileştirme yolunu seçmektedirler.

Bu çalışmada, yeni nesil uçak elektronik sistemlerinin, savaş uçaklarına uygulanması düşünüldüğünde, geçirilecek aşamalar, sırasıyla ele alınıp incelenmektedir.

ABSTRACT

Rapid advances in computers and electronics increase the ability of avionics and gradually cause concept changes in this area. Depending on the changes in the concept, countries choose the modernize way to be served the aircrafts for many years. In this study, when the integration of a new generation avionics to fighter aircrafts is considered, required stages (phases) are analyzed and discussed, respectively.

1.GİRİŞ

Uçaklarda kullanılan Radar, INS (Inertial Navigation System: Atalet ile Seyrüsefer Sistemi), HUD (Head-Up Display: Baş Hizası Göstergesi), HMD(Helmet Mounted Display: Kaska Monteli Gösterge), MFD (Multi-Function Display: Çok İşlevli Gösterge), FCS(Flight Control System: Uçuş Kontrol Sistemi), DASS(Defance Aid Subsystem: Savunma Destek Sistemi) Telsiz, Tacan (Tactical Air Navigation:Taktik(yardımcı) Seyrüdefer Sistemi) gibi elektronik sistemlere kısaca uçak elektronik sistemleri adı verilmektedir.(1)

1970 yıllarına kadar analog sistemlerden oluşan uçak elektronik sistemleri, 1970' lerde hızla gelişmeye başlayan mikroişlemcilere dayalı olarak, sayısal hale gelmiştir.

Bugün F-16, F-18, ve F-20 gibi savaş uçaklarında eski nesil uçak elektronik sistemlerinin yerini tamamen bilgisayar kontrollü yeni nesil uçak elektronik sistemleri almıştır.

Sayısal sisteme geçilmesiyle, özellikle göstergelerde büyük değişim meydana gelmiş; HUD, HMD ve MFD'lerin devreye girmesiyle, klasik pilot kabini anlayışı ortadan kalkmıştır.

Yeni nesil uçak elektronik sistemlerinin hepsi bilgisayar kontrollü olarak görev yaparken, birbirleriyle bağlantıları da MUX-BUS adı verilen multiplexer(çoğullayıcı) sistemiyle sağlanmaktadır.

Uçak elektronik sistemlerindeki bu değişimler, ülkeleri, uçaklarının yapısal ömürleri daha dolmadan, yeni nesil uçak elektronik sistemleriyle donatılmış, başka türdeki savaş uçaklarına yönlendirmektedir. Yeni nesil uçak elektronik sistemleriyle donatılmış savaş uçaklarına sahip olmak için, yeni tip savaş uçağı satın almak, pahalı bir çözüm olmakla birlikte, yapısal olarak daha uzun yıllar hizmet verebilecek uçakların, servis dışı kalmasına da neden olmaktadır.

1980'li yılların başlarında, eski tip savaş uçaklarını, yeni nesil uçak elektronik sistemleriyle donatıp, yenileştirme fikri gelişmeye başlamıştır. Böylece, daha uzun yıllar, yapısal olarak hizmet verebilecek uçaklar, servis dışı bırakılmamış olmakta ve yeni nesil uçak elektronik sistemleriyle donatılarak başarımları artırılabilmektedir.

Bu kavrama uygun olarak Almanya, Japonya, İsrail, Türkiye ve Mısır F-4 uçaklarını yenileştirmişlerdir.

Yenileştirme kavramı, ülkemiz açısından çok daha büyük önem taşımaktadır. Zira uçak elektronik sistemlerinin savaş uçaklarına uygulanması konusunda kazanacağımız teknoloji ve bilgi birikimi, uçak sanayini kurma çalışmalarına büyük bir boyut kazandıracaktır. Ancak, bu teknoloji transferi ve bilgi birikimini sağlamanın yolunun, bu çalışmalar içinde doğrudan yer almaktan geçtiğini göz önünde bulundurmak gerekir. Eğer, uçaklar yenileştirilmek üzere herhangi bir ülkeye teslim edilir ve yenileştirme çalışmaları içinde görev alınmazsa, sadece uçaklar yenilenmiş olur. Fakat teknoloji transferi ve bilgi birikimi sağlanamaz. Böylece, gelecek yıllarda ihtiyaç duyacağımız yenileştirmeleri, kendi gücümüze dayanarak başarmamız imkânsız hale gelir.

Yenileştirmeyi, ülke içinde ve tamamen özel sektör kanalıyla yapmakta, aynı tehlikeyi taşımaktadır. Zira bu teknolojiyi transfer edebilecek yeteneklere sahip ve savunma sanayi alanında tecrübeli bir özel sektör olmadığından, bu işi yüklenecek özel sektör, işi yeni bir yabancı ülkeye yaptıracaktır. Bu da maliyeti artırmaktan başka bir anlam taşımamaktadır. Yenileştirme çalışmaları tamamen Hava Kuvvetlerinin kontrolünde yürütülmeli, özel sektörün başarabileceği alanlarda ona görev verilerek, savunma sanayiine katkılarının artırılmasına çalışılmalıdır.

Yeni nesil uçak elektronikleri, savaş uçaklarına uygulanırken, bu uygulamanın geçireceği aşamalar ve bu aşamaların her birinde kazanılacak yetenekler baştan planlanmalıdır. Başka bir deyişle, tünelin ucu baştan görülmelidir. Bu nedenle, uygulamanın geçireceği aşamaları tek tek ayrıntılı bir şeklide ele almakta yarar vardır.(2)

2. UYGULAMA ÇALIŞMALARI

Yeni nesil uçak elektronik sistemlerinin savaş uçaklarına uygulaması yapılırken, öncelikle bir prototipin hazırlanması gerekir. Bu prototipte sorunlar halledildikten ve uçuş testleri başarıyla tamamlandıktan sonra, prototipten elde edilen bilgiler diğer uçaklara uygulanır. Diğer bir deyişle üretim başlar. Uygulama, başlangıçtan üretime geçilinceye kadar 7 ana aşamadan geçer. Aşağıda sırasıyla bu aşamalar incelenmiştir.

a. Yapılandırmanın Belirlenmesi

Yapılandırmanın belirlenmesinde dört ana faktör etkendir

(1) Taktik İstekler

Taktik istekler, yenileştirme sonucunda elde edeceğimiz uçaktan ne gibi görevler beklediğimizi açıklar.

Taktık isteklerin neler olabileceğine dair birkaç örnek verecek olursak;

(a) Çok uzun menzil,

(b) Hedef üzerinde kalış zamanının artırılması,

(c) Her hava şartında harekât yapabilme,

(d) AIM(Air to Air Missile: Havadan Havaya Füze) 7E ve F, AMRAAM(Advanced Medium-Range Air-to-Air Missile: Geliştirilmiş Orta Menzil Havadan Havaya Füze)(4) gibi radar güdümlü füzeleri kullanabilme,

(e) Tehdidin çok uzaktan tespiti,

(f) Aynı anda birden fazla hava hedefine kilitlenme ve taarruz,

(g) Yere çok yakın hareket eden hava hedeflerine taarruz,

(h) Yakın hava muharebesinde üstünlük,

(ı) Tercihlere göre değişebilen ECM(Electronic Countermeasures: Elektronik Yanıltma)(5) ve ECCM(Electronic Counter-Countermeasures: Elektronik yanıltmaya karşı koyma) (6)yeteneği,

(j) Çok kanallı, seri ve güvenilir haberleşmenin temin edilmesi,

(k) Hedefin bize göre durumuna bakmaksızın, her yaklaşma açısından hedefe taarruz edebilme yeteneği,

gibi konulan sıralayabiliriz.

Bu örneklere daha birçok taktik istek ilave edilebilir. Sıralanan bu taktik istekler, uçağımızı bu kabiliyetlere sahip kılacak sistemlerle donatmamız konusunda bizi yönlendirerek, uygun yapılandırmaları seçmemize yardımcı olur.

Taktik istekler böylece ortaya konulduktan sonra, bu taktik isteklerin teknik istekler haline çevrilmesi, yani sistem özelliklerinin(specificatîon) belirlenmesi aşaması gelir.

(2) Sistem Özelliklerinin Belirlenmesi

Teknik istekler, tamamıyla sistemlerin teknik özellikleriyle ilgili olup, bir kısmı sistemin tasarımı ile sınırlıdır. Bir kısmı ise yazılım (software) ile elde edilebilir.

Teknik istekleri iki başlık altında inceleyebiliriz:

(a) Genel İstekler

Bu isteklere ilişkin olarak aşağıdaki örnekler verilebilir:

- Sistemlerin birbirleriyle bağımsız çalışabilmeleri, yani hepsinin ayrı açıp kapama ve mod seçme düğmelerinin bulunması,

- Her sistemin tek başına kendi ile ilgili görevi yürütebilmesi,

- Sistemlerin toplam güç ihtiyaçlarının, uçak güç sistemi tarafından karşılanabilir olması,

- Besleme gerilimlerinin uçakta mevcut 28 V DC, 3 faz, 400 Hz - 115 VAC ile temin edilebilir olması.

(b) özel İstekler

Çok ayrıntılı bir şekilde hazırlanması gereken özel isteklere ilişkin olarak birkaç örnek verecek olursak;

- Radar için:

Hedef görme mesafesi, hedef yakalama ve takip mesafesi, antenin yatay ve dikey hareket sınırları;

-Baş Hizası Göstergesi İçin:

Baş Hizası Göstergesi'nin görüş açısı (yatay, dikey ve toplam olarak). Baş Hizası Göstergesi'nde görülmesi İstenen bilgiler, satır tarama yeteneği, her göz odak mesafesi için net görüntü vermesi, yani holografik olması;

- Görüntü Kaydedici için :

Maksimum kayıt süresi, Kayıt ve görüntü hassasiyeti yani, çözümleme yeteneği

gibi özel teknik istekler sıralanabilir.

Aynı şekilde HMD, MFD, telsiz, TACAN, INS, radar altimetre, ECM ve ECCM sistemleriyle ilgili beklenen bütün teknik özellikler belirlenir

Her sistem için istenen teknik özellikler çok ayrıntılı bir şekilde kapsanır.

Yapılandırmayı belirleyen üçüncü faktör ise sistem mimarisidir. Aşağıda bu konu incelenmiştir.

(3) Sistem Mimarisi

Bu kavram, bilgisayarla kontrol edilen yeni nesil uçak elektronik sistemleriyle birlikte gelmiştir. Sistemlerin birbirleriyle bağlantısını sağlayan MUX-BUS standardının saptanması, MUX-BUS'ın kontrolünü düzenleyen ve sistemlerin birbirleriyle bilgi alış verişini sağlayan ana bilgisayarın hangi standarda sahip olacağının belirlenmesi, sistem mimarisi içinde ele alınır. Ayrıca, bu aşamada, tüm sistemin güvenirliliğini ortaya koyan, kaç adet ana bilgisayar olacak, ana bilgisayarın devre dışı kalması halinde hangi sistem MUX-BUS kontrolünü üzerine alacak, hangi sistemler, hangi sistemlerin yedeği olacak gibi soruların cevaplandırılması gerekir. Örnek olarak, radar bilgisayarı ana bilgisayarın yedeği olarak, back-up bus kontrolör görevini yürütebilir. Aynı şekilde, HUD'un gyroları, INS'in gyrolarının yedeği olarak görev yapabilir.

Ayrıca, ana bilgisayarın bellek kapasitesi, mod'ların seçimi, mod'ların önceliği ve programlama dilinin seçilmesi, hem yapılandırmayı belirleyen, hem de yazılımın hazırlanmasını yönlendiren çalışmalardır. Taktık istekler; teknik özellikler ve sistem mimarisi belirlendikten sonra, uygulamada kullanılmaya aday sistemler karşılaştırılır.

(4) Sistemlerin Karşılaştırılması

Bu karşılaştırma esnasında, taktik istekler ve teknik özelliklere ilave olarak, ele alınacak faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Maliyet,
- Sistemlerin elde edilebilirliği,
- Ne zaman elde edilebileceği,
- Lojistik ve ikmal desteği bakımından birbirlerine üstünlükleri,
- Kazandıracağı bakım kavram ve yetenekler (O, I, D seviyesi:

Organizational maintenance: Hat seviyesi bakım, Intermediate maintenance: Üs Seviyesi Bakım, Depot-level maintenance: Fabrika Seviyesi Bakım) (3)

Ayrıca, sistemlerin güvenilirliği ve hassasiyeti hususunda,

- MTBF(Main Time Between Failure: İki Arıza Arası Ortalama Süre, MTBR Main Time Between Repair: İki Bakım Arası Ortalama Süre) gibi faktörler,

- Sağlanacak eğitimin yeterli olup olmayacağı,

Şeklindeki birçok konu, sistemler hakkında karar vermeden önce karşılaştırılır.

Her ne kadar, yapılandırma tespitinde, ilk olarak taktik istekler ve teknik özellikler ele alınmışsa da, bu safhada yapılan karşılaştırma neticesinde maliyet, bakım veya MTBF gibi faktörler öne geçerek, sistem seçiminde daha etkili olabilir.

Kesin yapılandırma belirlendikten sonra, sistemlerin birbirine uyumunun sağlandığı IDC (Interface Control Document: Arayüz Denetim Belgesi) çalışması başlar. Bu konu da aşağıda incelenmiştir.

b.Arayüz Denetim Belgesi Oluşturma Çalışması

Yapılandırılması düşünülen bütün sistemlere ait belgeler tek tek elde edilerek, önce bütün sistemlerin hangi giriş bilgilerine ihtiyaç duyduğu belirlenir. Bu bilgilerin hangi sistemlerin çıkışları tarafından karşılanacağı saptanır. Her sistemin ihtiyacı olan bilgilerin karşılanıp karşılanmadığı tespit edilir. Karşılanmayan bilgiler varsa, bunların nasıl ve nereden elde edileceği belirlenip, gerekli düzenlemeler yapılır. Bu giriş ve çıkış bilgilerinin, hangi sıra ve hız ile kaç bitlik merkezi bilgisayara ve oradan da sistemlere aktarılacağı belirlenir.

Normal olarak yedi-sekiz ay sürebilecek olan ICD çalışması, kullanılan sistemlerin aynı bağlantı standartlarına sahip olmalı durumunda iki-üç ayda tamamlanabilir.

Uçak elektronik sistemlerinin ve ana bilgisayarın programlarının hazırlanmasına temel teşkil eden Arayüz Belgesi Oluşturma çalışması ile birlikte, program geliştirme safhası başlar. Bu çalışmaya ilişkin açıklamalar aşağıda yer almaktadır.

c. Yazılımların Hazırlanması

Yazılımların hazırlanması on iki ile on dört aylık bir süreyi kapsar. Yazılım, OCP (Operational Conırol Program) adı verilen bir ana program ile onun alt programları şeklindedir. OCP'nin alt programları,

- Self Test Programı(Kendi Kendini Test Programı),

- Built-In Test Programı(Dahili Test Programı),

- Bilgi Kaydetme Programı,

- Hata Kovalama Programı,

- İşletim Programı,

- Yer Bakım Programı,

- Taktik Uçuş Programı (OFP : Operational Flight Program)

olarak sıralanabilir.

Bu alt programlar modüllerden meydana gelmiştir. Örnek olarak. Taktik Uçuş Programı (OFP) şu modelleri ihtiva eder:

-Silah salma ile ilgili hesaplamalar,

-Atış parametreleri ile ilgili hesaplamalar,

-Seyrüsefer hesaplamaları,

-Uçak elektronik sistemlerinin haberleşmeleri,

-Menzil değerlendirmeleri,

-Video sinyallerinin düzenlenmesi ve dağıtımı.

Ana programın düzenlenmesi, bu modüllerle başlanarak yapılır. Öncelikle her görev ve özel konu ile ilgili modüller, ayrı programlar halinde yazılır. Daha sonra, bu modüllerin tek tek görevlerini yerine getirip getirmedikleri test edilir (Modül Vertification Test). Bütün modüllerin tek tek görevlerini yaptığı görülünce, ortak çalışan modüller tespit edilerek, birbirleriyle, uyum içinde çalışıp çalışmadıkları tespit edilir (lnter Modüle Comparibility Test). Bu aşamada tespit edilen hatalar giderildikten sonra, bütün modüller birleştirilerek, beklenen şekilde çalışıp çalışmadıkları test edilir (System Validation Test). Bu test sırasında, sisteme tahmini girişler verilerek, gerekli çıkışların alınıp alınmadığı tespit edilir. Bütün bu testler sonucunda, programlar tamamen hatadan arındırıldıktan sonra, yazılım uçak üzerinde denenmeye hazır hale gelir.

Sistemler uçak üzerine yerleştirilmeden önce, uçak üzerinde ve içindeki çevre şartlarının değerlendirilmesi gerekir.

d.Çevre Şartlarının Değerlendirilmesi

Uçak üzerinde ve içindeki çevre şartlarının değerlendirilmesi ve yeniden düzenlenmesi çalışmaları sırasında, soğutma sistemi ortaya çıkabilecek daha büyük kapasite ihtiyacına göre değiştirilir.

Yeni uçak elektronik sistemlerinin güç ihtiyacına göre, güç ve voltaj dağılımı tekrar düzenlenir.

Ortaya çıkabilecek mekanik titreşimlerin önlenmesi için gereken önlemler alınır. Eğer gerekiyorsa, bazı sistemlerin LRU' (Line Replacment Unit: Hatta Değiştirilebilir Öğe) ları yeniden paketlenir.

Sistemler uçağa yerleştirilmeden önce, ortaya çıkabilecek fiziki ve elektronik gürültü ve karıştırmalar tespit edilerek, gereken tedbirler alınır. Ayrıca, uçakta yapılacak tadilatlarla, uçağa konacak sistemlerin, uçağın ağırlık ve denge konumlarını bozmaması için gerekli düzenlemeler yapılır.

Sistemlerin uçağa yerleştirilmesinden önce yapılacak son işlem, kullanıcı ve bakım-tamir ekibinin maksimum verim ile görev yapmalarını sağlamak için gerekli düzenlemelerin yapılmasıdır.

Yani insan-makina ilişkisinin göz önüne alınmasıdır.

e.İnsan-Makina İlişkisinin Düzenlenmesi

İnsan, makina ve teçhizat ilişkilerinde, makina ve teçhizatın insana görevini yapmada mani olmaması, esneklik ve sürat sağlaması ilkesi esas alınır, Pilot Kabini içindeki kontrol ve buton panelleri, göstergeler, radar ekranının yeri gibi düzenlemeler, pilota sistemleri en İyi şekilde, takip, analiz ve kontrol' imkanı vermelidir.

LRU'larn sökülüp takılması, kablo ve konektör düzenlemeleri, normal bir insanın en hızlı bir şekilde iş yapabilmesini sağlamalıdır. Uçak üzerine yerleştirilecek

sistem LRU'ları, yerden ulaşılabilecek bir seviyede olmalıdır

Buraya kadar açıklanan çalışmalardan sonra; artık sistemler, belirlenmiş kurallara göre uçağa yerleştirilmeye hazırdırlar.

f. Sistemlerin Uçağa Monte Edilmesi

Grup-A modifikasyon kitleri adı verilen malzemeler ile birlikte sistemler uçağa monte edilir.

Grup-A kirleri,

-Kabloları (wire)

-Kablo donanımları (wire harnesses),

-Sistemlerin fiziki ve elektiriki bağlantı elemanları ile konektörlerini ihtiva eder.

Sistemlerin uçağa montajı tamamlandıktan sonra, elektromanyetik ve RF karıştırma testleri yapılarak, sistemlerin birbirlerinin çalışmasına mani olmadıkları gözlenir.

Bu çalışmaların da tamamlanması ile, prototip uçak, artık uçuş testlerine başlayabilir.

g. Uçuş Testleri

Uçak elektronik sistemlerinin, başarım ve yeteneklerinin denendiği uçuş testleri, üç değişik şekilde yapılabilir. Bunlardan ilki tam olarak aletlerle donatılmış bir uçakla yapılır. MIL-STD(Military Standard: Askeri Standart)'ları karşılamak için başvurulan yöntemdir. Uçağın değişik yerlerine tespit edilmiş algılayıcılardan, sistemin çalışması ile ilgili tüm bilgilerin yer istasyonuna gönderilmesi ve bunların anında değerlendirilmesiyle uygulanır. On iki ile on sekiz ay sürebilir. Çok pahalıdır. Çünkü, teste çıkan uçak aynı zamanda, yerden hassas takip radarı ile takip edilir. Bu tesis, yani uzun mesafe füze takip istasyonu, sadece ABD'de bulunmaktadır. Dolayısıyla, uçuş testlerinin ABD'de yapılması gerekir.

İkinci tip uçuş testi ise, yine tam olarak aletlerle donatılmış bir uçak ve daha az aletlerle donatılmış iki uçak, yani toplam olarak üç uçak kullanarak yapılır.

Birinci yöntemden farkı, sadece sürenin kısaltılmasıdır. Bu test altı ay sürer, sadece ABD'de uygulanabilir.

Üçüncü tip uçuş testi, uçakta MUX-BUS üzerinden akan bütün bilgilerin kaydedilmesi ve uçuş sonunda, yerde bilgi değerlendirme istasyonunda, bilgilerin değerlendirilmesi ile yapılır. Firmalar tarafından tespit edilen standartların elde edilmesi için uygulanır.

Tek uçak kullanılarak, Türkiye'de gerçekleştirilebilir. Daha ucuzdur. Almanya, Japonya ve İsrail tarafından gerçekleştirilen yenileştirmelerde bu yol tercih edilmiştir.

Uçuş testleriyle edilen sonuçlar değerlendirilip, gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra, fiziki yapılandırma ve programlar(sofware) diğer uçaklara da uygulanmaya başlanır.

Yapılandırmanın belirlenmesi ile başlayıp, uçuş testlerinin tamamlanmasıyla sona eren, prototip uçağın uygulama aşamalarına ilişkin zaman cetveli ise aşağıda verilmiştir.

Yapılandırmanın Belirlenmesi : 2-3 ay

ICD Çalışmaları : 3-8 ay

Yazılımın Hazırlanması : 12-14 ay

Çevre Şartlarının Değerlendirilmesi: 2 hafta

İnsan-Makina İlişkisinin Düzenlenmesi : 2 hafta

Uçuş Testleri (Üçüncü tip) : 6-7 hafta

Zaman cetvelinin incelenmesinden anlaşılacağı gibi prototipin geliştirilmesi 24 ay ile 32 aylık bir süreyi kapsayacaktır.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bilgisayarlar ve elektronikteki hızlı gelişmeler, uçak elektronik sistemlerinin yeteneklerini artırmakta ve giderek bu alanda kavram değişikliklerine neden olmaktadır. Kavramdaki değişime bağlı olarak ülkeler yapısal olarak daha uzun yıllar hizmet verebilecek uçaklarını yeni nesil uçak elektronik sistemleriyle yenileştirme yolunu seçmektedirler.

Yeni nesil uçak elektronik sistemlerinin bilgisayar kontrollü sistemlerden oluşması, bu sistemlerin yazılımlarının hazırlanması ve bakımlarının yapılması ihtiyaçlarını da birlikte getirmektedir.

Yenileştirme çalışmalarına, ülkemiz açısından sadece uçak elektronik sistemlerinin değiştirilmesi olarak bakmamak gerekir, Bu çalışmaları, yeni nesil uçak elektronik sistemleriyle gelen teknolojinin transferi ve uçak elektronik sistemlerinin yazılımlarını hazırlayabilme yeteneğinin kazanılması olarak görmek gerekir.

Bu açıdan bakılınca, yukarda bahsedilen teknoloji transferinin sağlanması ve bu alandaki yeni yeteneklerin kazanılması için, bir fiil yenileştirme, çalışmaları içinde rol almak gerektiği de ortaya çıkar.

Uçak elektronik sistemlerinin yazılımlarının hazırlanması ve bakımlarının yapılması çok kapsamlı bir örgütlenmeyi ve çalışmayı gerektirmektedir. Değişik alanlarda yapılan çalışmalar, değişik yazılım dillerinin oluşmasına neden olmuştur, örnek olarak, mühendislik çalışmaları FORTRAN yazılım dilini, bankacılık alanındaki-çalışmalar ise COBOL yazılım dilinin yaratılmasına neden olmuştur. Aynı şekilde, uçak elektronik sistemlerinin yazılımları için JOVIAL, ADA gibi yazılım dilleri geliştirilmiştir. Bu diller giderek standart hale gelmiştir. Bugün Türkiye'de bilgisayar eğitimi veren kurumlarda uçak elektronik sistemlerinin yazılım dillerinin öğretildiği, uçak elektronik sistemleri yazılımlarının incelendiği, hazırlandığı ve bakımlarının yapıldığı bir "Uçak Elektronik Sistemleri Yazılım Merkezi" nin kurulması ise kaçınılmazdır.

Yenileştirme çalışmaları, tamamen Hava Kuvvetlerinin kontrolünde olmalı, ancak özel sektöre ve üniversitelere başarılı olacağı alanlarda görev vererek, savunma sanayine katkıları artırılmaya çalışılmalıdır.

4. KAYNAKLAR:

[1].Kürüz, Hüseyin Ercan, “Uyduya Dayalı Seyrüsefer Sistemleri”, Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulu, 2001, Sayfa 7

[2].Ildız, Erdener, “Yeni Nesil Aviyoniklerin Savaş Uçaklarına Entegrasyonu”, Hava Harp Okulu Bülteni, Haziran-Ekim 1987, Sayfa 1-11.

[3].http://en.wikipedia.org/wiki/Level_of_Repair_Analysis

[4].http://tr.wikipedia.org/wiki/AIM-120_AMRAAM

[5]. http://en.wikipedia.org/wiki/ECM

[6].http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_counter-countermeasure

Kaçak Akım Röleleri'nin Hatalı Çalışmalarına Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi

Investıgatıon Into Malfunctioning Of Residual Current Breakers

Ensar Korkmaz

Mühendislik Fakültesi
Gebze Teknik Üniversitesi
e.korkmaz@asmuhendisler.com.tr

Özet

Bu doküman Alçak Gerilim tesislerinde, özellikle endüstriyel sistemlerde kaçak akım rölelerinin kullanılmasında yaşanan sorunlar ve çözüm önerilerini içermektedir. Kaçak Akım Röleleri, elektrik kaynaklı kaza veya arızalarda can ve mal güvenliğinin korunması için tasarlanmış koruma elemanlarıdır. Yürürlükteki iş güvenliği yönetmeliği, topraklama tesisat yönetmeliği ve iç tesisleri yönetmeliğinde kaçak akım rölelerinin kullanılması belirli kriterlere bağlanarak şart koşulmuş fakat uygulamada yaşanan sorunlar nedeniyle kaçak akım rölelerinin kullanımı özellikle endüstriyel tesislerde yaygınlaşmamıştır.

Bu çalışmada kaçak akım koruma sistemleri, kullanım alanları, teknik gerekler ve yönetmeliklerdeki zaruretler yönüyle tanıtılmış. ATP (Alternative Transients Program) programı ile devre modellemeleri yapılarak uygulama sorunlarının sebepleri araştırılmış ve çözüm önerileri oluşturulmaya çalışılmıştır. Çalışma sırasında alçak gerilim tesislerinde en sık görülen şebeke tipleri, yük ve dağıtım sistemleri modellenmiş, normal çalışma ve arıza durumları modellenerek, kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına sebep olabilecek muhtemel etkiler araştırılmıştır. Araştırmalar sırasında uygulamada yaşanan sorunların temel sebepleri olarak; hatalı uygulamalar, tesislerdeki harmonikler, iletken kapasitansları, filtre devreleri, yüksek gerilim anahtarlama arıza pikleri, yıldırımlar, yüksek frekanslı elektro manyetik dalgalar, radyo dalgaları gibi birçok faktörün kaçak akım koruma sistemlerini olumsuz etkileyebileceği görülmüştür.

Abstract

This document low voltage installations, especially problems and solutions experienced in the use of residual current breakers (RCBs) for industrial systems have been investigated. Residual Current Breakers are special protection devices which are designed for the protection of lives and property during electrical failures. Despite the fact that current National Occupational Safety standards and Earthing on electrical Installation codes enforce the use of RCBs, in practice, usage of this devices has not been particularly wide spread, particularly, in industrial environment due to malfunctioning problems.

In this document, the usage of RCBs has been critically evaluated in terms of technical requirements and national regulations. The root causes of the problems are investigated by using ATP circuit modeling program and possible solutions are proposed. The most common types of low voltage network types and distribution systems are modeled for normal and faulted conditions. The potential impact of RCBs, which may cause malfunctioning was investigated. As a result of the investigation, the main causes of the malfunctioning problem identified as; misapplication of the device, harmonics in the plant, conductor capacitance, filter circuits in the load side, voltage peeaks due to high voltage switchgear operations, lightning, high-frequency electro-magnetic waves. Some practical remedies are also provided in the conclusion.

1. Giriş

Ülkemizdeki istatistiki verilere göre ölüm ve yaralanmalarla sonuçlanan iş kazalarında ve maddi hasarlı yangınlarda elektrik kaçaklarının rolünün oldukça büyük olduğu görülmektedir. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) 2005-2009 istatistiki verilerine göre hazırlanmış, İnşaat Mühendisleri Odası tarafından yayınlanmış bir çalışmada, inşaatlardaki ölümlü iş kazalarının %12,2'sinin elektrik çarpması sonucu meydana geldiği ve bu kazaların %38,9'unun kaçak akım nedeniyle oluştuğu görülmektedir. [1] Yine SGK'nın 2013 yılında iş kazalarının oluş sebebine göre düzenlenmiş olduğu istatistikte; 2013 yılı içerisinde meydana gelen ölümlü iş kazalarının %4,26'sı ve yaralanmalı iş kazalarının %6,19'u "Elektrikle doğrudan temas, elektrik yüklenmenin bedene alınması" şeklinde olduğu görülmektedir. [2] Kaçak akımın bir diğer olumsuz etkisi ise mal güvenliği ve yangın tehlikeleri açısındandır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi itfaiye daire başkanlığı 2008-2013 yılı yangın sebepleri istatistiki verilerine göre, yangınların %18'i elektrik kontağı kaynaklı olduğu görülmektedir. [3] Bütün bu istatistiki verilere bakıldığında gerek insan sağlığı ve iş güvenliği gerekse tesis ve mal güvenliği açısından elektrik kaçak akımlarının potansiyel tehlikesi ve bu tehlikeden korunmak için alınması gereken tedbirlerin önemi ortaya çıkmaktadır. Kaçak akımlardan kaynaklanan bu tür kazaların önlenmesinde alınacak tedbirler Elektrik iç tesisleri ve Topraklama tesisat yönetmeliklerinde belirtilmiştir. Bu tedbirlerden biri de alçak gerilim elektrik tesisatlarında kaçak akım koruma röle sistemleri (KAR) kurmak ve bu sistemleri çalışır halde tutmaktır [4] [5] .

Kaçak akım koruma düzeneklerinin kullanımı yasal mevzuatlarla düzenlenmektedir. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığının 2013 yılında yayınlamış olduğu İşyeri bina ve eklentilerinde alınacak sağlık ve güvenlik önlemlerine ilişkin yönetmelik ile hata akımı koruma düzenleri seçicilik ilkesine göre iş yerlerinin tüm ana ve tali panolarına konulması zorunlu hale getirilmiştir [6]. Yine iç tesisat yönetmeliği ve topraklama tesisatı yönetmeliğinde de kaçak akım koruma rölelerinin kullanımı şebeke topraklama tipi, koruma düzeneği tipi ve tesis tipi gibi detaylarla ilişkilendirilerek şart koşulmuştur [4], [5]. Tesis, tesisat ve topraklama sistemlerine göre şebeke tipleri ve bu sistemlerde kaçak akım rölesi kullanımı ile ilgili yasal zorunluluklar bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde verilecektir.

Kaçak akım koruma sisteminin kullanım zorunluluğu kanun ve yönetmeliklerle düzenlendiği halde özellikle işyerlerinde, endüstriyel tesislerde ve inşaat şantiyelerinde bu önemli koruma sisteminin istenen ölçekte kullanılmadığı görülmektedir. Bu durumun sebeplerinden biri kaçak akım koruma sistemlerinin özellikle endüstriyel tesislerde görevi ve hayati fonksiyonu gereği normal açmaların yanı sıra görevi olmayan, istenmeyen diye tabir edilen hatalı açmalarda yapmasıdır. Bu sebeple rölelerin yaygın olarak kullanılabilmesi için hatalı açma sebepleri iyi analiz edilerek bilinmeli ve hatalı açmalar ortadan kaldırılmalıdır. Bu amaçla uluslararası yayınlar da dâhil birçok makale ve forumda bu hatalı açma sebepleri araştırılmıştır. İspanyada bir hastanede Kaçak akım Rölesinin sürekli açama yapması üzerine yapılan araştırmada bu açmaların sinüzoidal olmayan akımlardan kaynaklandığı deneysel olarak incelenmiştir [7]. Yine bu çalışmaya benzer bir çalışma Honkong'da da yapılmış harmonik akım, topraklama arıza akımı ve dalgalanma akımının röleler üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir [8]. Gebze Teknik Üniversitesinde yüksek lisans tezi olarak yapılmakta olan bu çalışmada ise ulusal standartlar açısından rölelerin hatalı çalışmasına etki eden faktörler ve röle sonrasındaki kabloların geometrisinden kaynaklı empedans dengesizlikleri, kablo kapasitanslarının mesafe ve yüke göre kaçak akımlara etkisi, tesisteki akım ve gerilim harmoniklerinin kaçak akımlara ve dolayısıyla rölelerin hatalı çalışmalarına etkisi derinlemesine analiz edilmiştir.

Çalışmada Endüstriyel tesislerde kullanılan elektrik kablolarının zamana bağlı yıpranması, çalıştığı ortam şartları ve ömür etkileri göz önünde bulundurulmamıştır.

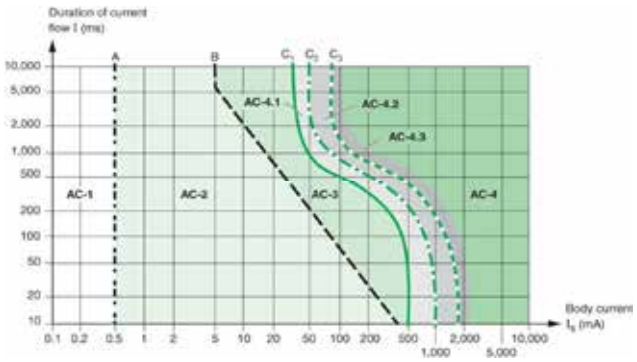
2. Elektrik Çarpması ve Fizyolojik Etkileri.

Elektrik çarpması vücudun bir bölümünün veya tümünün iki farklı elektrik potansiyel değerinin arasında kalması, bir diğer ifadeyle potansiyel fark arasında vücut ile iletim yolu oluşturması sonucu vücutta oluşan fizyolojik olaylardır.

Elektrik çarpması üç şekilde oluşabilir.

1-) Elektrikli iletkene doğrudan temas.
2-) Elektrikli iletkenin izalasyon hatası sonucu temas ettiği iletken yüzeye (dolaylı) temas.
3-)Doğrudan ve Dolaylı temas.(Havuz, hamam, v.b.)

2.1. Elektrik şokunun fizyolojik etkileri.



Şekil 1: IEC 60479 çarpılma akımının fizyolojik etkileri [11]

- AC-1 bölgesinde genellikle tepki yoktur.
- AC-2 bölgesinde zararlı bir fizyolojik etki yoktur.
- AC-3 bölgesinde kalp atışlarında aksaklıklar görülür.
- AC-4 bölgesinde ise ağır yanıklar, artan fibrilasyonlar görülür.
- A Tehlikesiz bölge sınırı, B Bırakabilme sınırıdır.
- C1 %5 kalp fibrilasyon olasılığı etkisi.
- C2 %50 kalp fibrilasyon olasılığı etkisi.
- C3 %95 kalp fibrilasyon olasılığı sınırlarıdır.

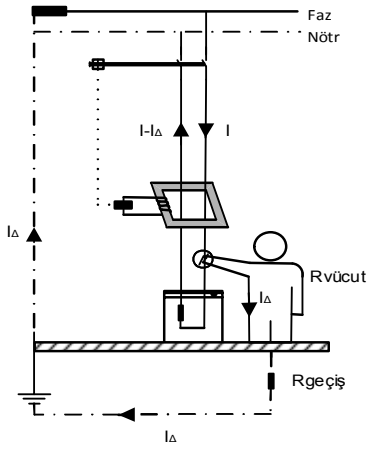
2.1.1. Doğrudan temas

Gerilimli bir iletkene doğrudan temas biçiminde gelişen

bu durum Şekil 2'deki gibidir. Bir kişinin normal şartlarda gerilimli olan bir iletkene kaza ile veya bilerek dokunması doğrudan temas olarak adlandırılır.

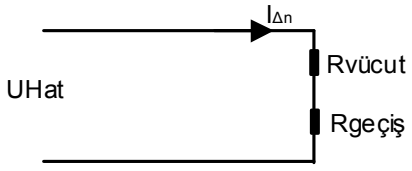
Elektrik iç Tesisat Yönetmeliği ve TS HD 60385 standartlarına göre doğrudan temas durumu için alınması gereken koruma tedbirleri şöyledir.

- Gerilim altındaki bölümlerin yalıtılması
- Bir Korkuluk ya da muhafaza ile koruma
- Engeller ile koruma (bariyer, zincir, levha)
- El ulaşma uzaklığı dışına yerleştirme ile koruma
- Ek koruma sağlanan yerlerde, Artık Akım Anahtarı (RCD) ile koruma (30mA -40ms şartı ile)



Şekil 2 : Doğrudan Temas Durumu

Elektriğe doğrudan temas sonucu kişinin vücudu üzerinden geçen akım Şekil 3' de eşdeğer devredeki gibi olacaktır.



Şekil 3: Doğrudan temas durumu eşdeğer devresi

Şekil 3'deki devre çözümlemesi yapıldığında insan vücudu üzerinden geçecek IΔn akımının

$$I\Delta n = UHat/((Rvücut+Rgeçiş)) \quad (1)$$

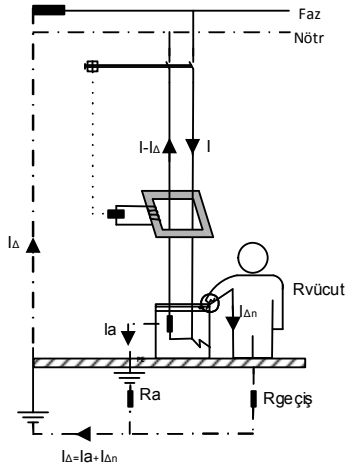
denkleminde görüldüğü üzere, kişinin dokunduğu hattın Uhat gerilimine, vücut direncine (Rvücut), toprağa temasında ki geçiş direnç (Rgeçiş) değerlerine bağlı olduğu görülmektedir. Bir insanın vücudunun elektriğe karşı gösterdiği direnç, koşulların değişmesi durumuna bağlı olarak 700 ila 6.100 ohm arası değişir. Hesaplamalarda ortalama olarak bir insanın direnci 1.666 ohm alınır. Bu insanın vücudundan geçecek olan akım değeri (1) nolu formülünden; UHat: 50V için I = 30mA, olarak hesaplanır. Bu sebepten dolayı doğrudan temas riski bulunan ve kilitli olmayan yerlerde, tek başına yeterli olmamakla birlikte ek korunma tedbiri olarak 30mA değerinde Kaçak Akım Rölesi kullanılması gereklidir. 30mA ve üzeri vücut akımı, 50V ve üzeri dokunma gerilimleri, standartlara göre tehlikeli akım ve gerilim sınırlarıdır. Doğrudan temas riski bulunan kısımlarda, evlerde ve benzeri doğrudan dokunma riski olabilecek kullanımlar için 30mA değerinde kaçak akım röleleri kullanılmalıdır [12] .

2.1.2. Dolaylı temas

Şekil 4'deki gibi bir yalıtım hatası sonucunda gerilim altında kalan cihazın gövdesine dokunan bir kişinin halidir. Dolaylı temas ile dokunulan yüzeyin gerilimli olup olmadığı gözle görülemeyeceğinden olası bir izolasyon hatası durumunda, bu makine veya sistemde koruma tedbirleri uygulanmamışsa dolaylı temas durumunda sistem gövdesinde tehlikeli dokunma gerilimleri oluşacaktır.
Dolaylı dokunma gerilimi üst sınırı AC İçin 50V, DC İçin 120V tur.

Dolaylı dokunma sonucu oluşacak çarpma ekişine karşı, Elektrik iç Tesisleri Yönetmeliği ve TS HD 60385 standartlarına göre, tesis aşağıdaki yöntemlerden biri veya bir kaçı ile korunmalıdır.

Koruyucu yalıtma, Küçük Gerilim, Koruma Topraklaması, Sıfırlama, Koruma hat sistemi, Hata gerilimi koruma bağlantısı, Hata akımı koruma bağlantısı ve Koruyucu ayırma.



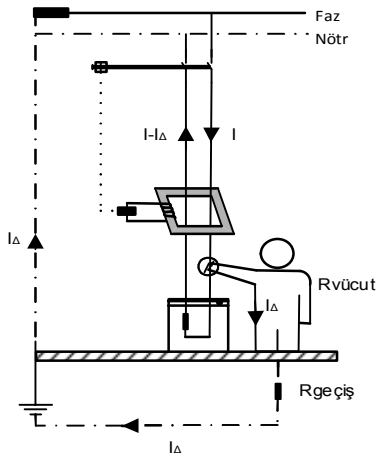
Şekil 4: Dolaylı Temas Durumu

Elektriğe dolaylı temas sonucu kişinin vücudu üzerinden geçen akım Şekil 5' de eşdeğer devredeki gibi olacaktır.

bu durum Şekil 2'deki gibidir. Bir kişinin normal şartlarda gerilimli olan bir iletkene kaza ile veya bilerek dokunması doğrudan temas olarak adlandırılır.

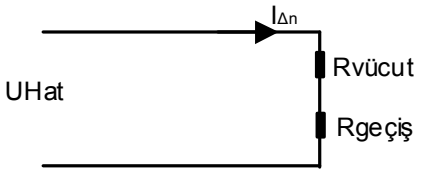
Elektrik iç Tesisat Yönetmeliği ve TS HD 60385 standartlarına göre doğrudan temas durumu için alınması gereken koruma tedbirleri şöyledir.

- Gerilim altındaki bölümlerin yalıtılması
- Bir Korkuluk ya da muhafaza ile koruma
- Engeller ile koruma (bariyer, zincir, levha)
- El ulaşma uzaklığı dışına yerleştirme ile koruma
- Ek koruma sağlanan yerlerde, Artık Akım Anahtarı (RCD) ile koruma (30mA -40ms şartı ile)



Şekil 2 : Doğrudan Temas Durumu

Elektriğe doğrudan temas sonucu kişinin vücudu üzerinden geçen akım Şekil 3' de eşdeğer devredeki gibi olacaktır.



Şekil 3: Doğrudan temas durumu eşdeğer devresi

Şekil 3'deki devre çözümlemesi yapıldığında insan vücudu üzerinden geçecek IΔn akımının

$$I\Delta n = UHat/((Rvücut+Rgeçiş)) \quad (1)$$

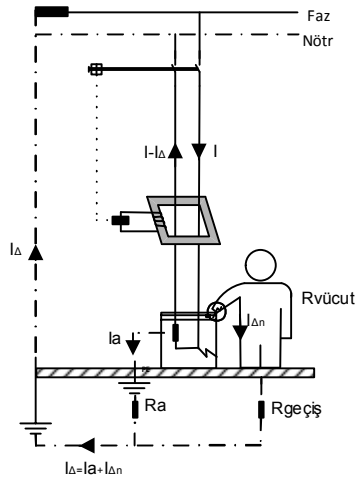
denkleminde görüldüğü üzere, kişinin dokunduğu hattın Uhat gerilimine, vücut direncine (Rvücut), toprağa temasında ki geçiş direnç (Rgeçiş) değerlerine bağlı olduğu görülmektedir. Bir insanın vücudunun elektriğe karşı gösterdiği direnç, koşulların değişmesi durumuna bağlı olarak 700 ila 6.100 ohm arası değişir. Hesaplamalarda ortalama olarak bir insanın direnci 1.666 ohm alınır. Bu insanın vücudundan geçecek olan akım değeri (1) nolu formülünden; UHat: 50V için I = 30mA, olarak hesaplanır. Bu sebepten dolayı doğrudan temas riski bulunan ve kilitli olmayan yerlerde, tek başına yeterli olmamakla birlikte ek korunma tedbiri olarak 30mA değerinde Kaçak Akım Rölesi kullanılması gereklidir. 30mA ve üzeri vücut akımı, 50V ve üzeri dokunma gerilimleri, standartlara göre tehlikeli akım ve gerilim sınırlarıdır. Doğrudan temas riski bulunan kısımlarda, evlerde ve benzeri doğrudan dokunma riski olabilecek kullanımlar için 30mA değerinde kaçak akım röleleri kullanılmalıdır [12] .

2.1.2. Dolaylı temas

Şekil 4'deki gibi bir yalıtım hatası sonucunda gerilim altında kalan cihazın gövdesine dokunan bir kişinin halidir. Dolaylı temas ile dokunulan yüzeyin gerilimli olup olmadığı gözle görülemeyeceğinden olası bir izolasyon hatası durumunda, bu makine veya sistemde koruma tedbirleri uygulanmamışsa dolaylı temas durumunda sistem gövdesinde tehlikeli dokunma gerilimleri oluşacaktır.
Dolaylı dokunma gerilimi üst sınırı AC İçin 50V, DC İçin 120V tur.

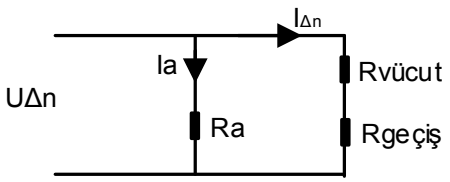
Dolaylı dokunma sonucu oluşacak çarpma ekişine karşı, Elektrik iç Tesisleri Yönetmeliği ve TS HD 60385 standartlarına göre, tesis aşağıdaki yöntemlerden biri veya bir kaçı ile korunmalıdır.

Koruyucu yalıtma, Küçük Gerilim, Koruma Topraklaması, Sıfırlama, Koruma hat sistemi, Hata gerilimi koruma bağlantısı, Hata akımı koruma bağlantısı ve Koruyucu ayırma.



Şekil 4: Dolaylı Temas Durumu

Elektriğe dolaylı temas sonucu kişinin vücudu üzerinden geçen akım Şekil 5' de eşdeğer devredeki gibi olacaktır.



Şekil 5: Doğrudan temas durumu eşdeğer devresi

Şekil 4'deki dolaylı temas durumunun, elektriksel eşdeğer devresi Şekil 5'deki gibidir. Bu devrenin çözümlemesi yapıldığında kişinin dokunduğu gerilim UΔn

$$U\Delta n=Ia.Ra \qquad (2)$$

olduğu görülecektir. Bu da TT tipi bir şebeke sisteminde dolaylı dokunma geriliminin (UΔn), Ra gövde koruma topraklama direnç değerine bağlı olduğu görülmektedir. Yine kişi üzerinden geçecek olan IΔn akımının ise bu dokunma gerilimine bağlı olarak kişinin vücut direnci ve kişinin toprağa teması ile oluşan geçiş direncine bağlı olarak değiştiği görülecektir.

$$I\Delta n=U\Delta n/(Rvucut+Rgeçiş) \qquad (3)$$

Dolayısıyla temas durumunda dokunulan noktanın gerilimi, şebeke ve topraklama tipi oldukça önemlidir. Dokunulan noktanın geçiş direnci veya çevrim empedansları şebeke tiplerine göre aşağıdaki gibidir.

TT Şebekede Ra gövde koruma topraklaması direnç değeri:
Ra. Ia <50 V Şartını sağlamalıdır.
Ra: dolaylı temas riski olan gövdenin toprak geçiş (yayılma) direnci , Ia : Koruma devresi ani açma akımıdır. Bu şartın sağlanması ile koruma devresi olarak Artık akım koruma cihazı ve Aşırı akım koruma cihazlarıyla, tercihen ikisi bir arada koruma yapılabilir. Aşırı akım koruma elemanlarının bu şartı sağlamadığı durumlarda ise (4) nolu denklemi sağlayacak değerlere sahip kaçak akım röleleri ile dolaylı dokunma ya karşı koruma yapılmalıdır. Yangın ve patlama riski olan yerlerde bu sınır değer 500mA dir. Diğer yerlerde denklemi sağlayan Ia değerinde kaçak akım röleleri kullanılmalıdır. Piyasada 0,03-30A Ayarlı ürünlerle seçicilik şartı da sağlanarak bu korumalar yapılabilir. Şebeke tipine göre bu sınır değerler için

TT Şebekede

$$Ra<50V/Ia \qquad (4)$$

Şartının sağlandığı

TN Şebekede ise koruma elemanı açma süresine bağlı olmak şartıyla, yönetmelikler gereği örneğin 0,4 sn için [5]

$$Ra<230V/Ia \qquad (5)$$

Şartlarını sağlamalıdır. Buradaki Ia aşırı akım koruma elemanının ani açma akımıdır. Bu şartların sağlanmadığı sistemler de diğer dolaylı dokunmaya karşı koruma önlemlerinden biri olan kaçak akım röleleriyle koruma sistemi uygulanmalıdır. olmalıdır [4] [5]. Bu durumda bağıntılardaki Ia, kaçak akım rölesinin açma akım değeri olacaktır.

IT Sistemde ise
Nötr hattı yük tarafında kullanılmıyorsa

$$Ia.Zs<\sqrt{3}.Uo/2$$ Şartı sağlanmalı.

IT Sistemde Nötr hattı yük tarafında kullanılıyorsa

$$Ia.\ Z's < Uo/2$$ Şartı sağlanmalıdır.

Zs: Faz iletkenleri ve devrenin koruma iletkenlerinden oluşan toprak hata çevrim empedansı.
Z's: Nötr iletkenleri ve devrenin koruma iletkenlerinden oluşan toprak hata çevrim empedansı.
Ia: Devre koruma elemanını ,belirtilen sürelerde(N 0,8 - 0.4sn)kesecek akım değeridir.
Uo:Faz nötr gerilimi.
U:Faz – Faz gerilimi.

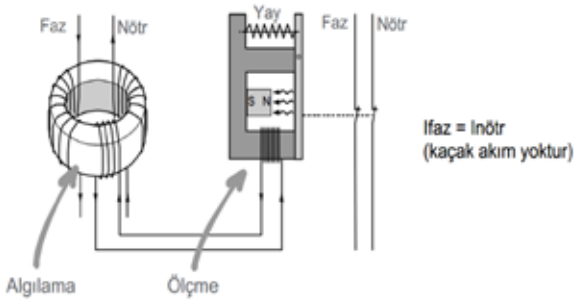
Şartlarına göre kaçak akım rölesi set değerleri ayarlanmalıdır.

3. Kaçak Akım Röleleri.(RCD)

Kaçak Akım; Gerilimli işletme devresinden toprağa ya da topraklanmış bölümlere geçen akımdır.

Kaçak Akım Rölesi; İlgili işletme akım devresindeki faz ve nötr akımlarının veya üç fazlı nötr bağlanmayan devrelerde sadece faz akımlarının vektörel toplamlarına göre çalışan elektromekanik cihazlardır.

Farklı tip ve modelde de olsa kaçak akım rölelerinin temel çalışma mantığı aynıdır. Çalışma prensibi açısından ise piyasada Mekanik ve Elektronik olarak iki tip röle sistemi vardır. Faz iletkenlerinden ilgili yüke veya devreye giden akımlar ile varsa nötr iletkeninden dönen akımların vektörel toplamlarındaki fark akımı (IΔn) rölenin çalışma referansı aldığı akımıdır. Bu fark akım IΔn dir. Mekanik rölelerde bu değer sabit bir değerken (30mA, 300mA gibi), elektronik kaçak akım rölelerinde ise sabit ve ayarlanabilir tipleri de mevcuttur. Elektronik rölelerde sistemdeki kaçak akım miktarı set edilen bu akım değerine ulaştığında 150msn-300msn gibi bir sürede devrenin elektriği röle sistemi tarafından kesilir. Kaçak akım şiddeti arttıkça bu süre azalır.



Şekil 6 : Mekanik Kaçak akım rölesi prensip şeması

Mekanik tip kaçak akım koruma rölesinin en temel yapısı Şekil 6' daki gibidir. Tek fazlı bir model olan bu rölede, faz ve nötr iletkenleri toroidal bir sistem içerisinden geçirilerek, faz ve nötr iletkenleri akım değerleri karşılaştırılır. Faz akımı toroidal sistem üzerinde bir emk (elektro motor kuvveti) üretir, yine nötr iletkenide aynı toroidal yapıda sarım şeklinden dolayı ters bir emk üretir. Bu iki emk arasında fark yoksa sistem normal çalışır. Fark varsa bu emk farkı toroidal sistem üzerine sarılı üçüncü (algılama) sargında bir akım oluşturur. Bu akım Şekil 6'nın sağ tarafında görülen nüvede sarılı bobin ile bir elektro mıknatıs etkisi oluşturarak, sabit mıknatıs çekim kuvvetine ters bir itme kuvveti uygular, mekanizmayı iter ve rölenin kontaklarını açar. Faz sayısı birden fazla olduğu dağıtımlarda da temel çalışma mantığı aynıdır.

Doğrudan temas riski bulunan yerlerde; faz iletkenine doğrudan temas ihtimali olan ortamlarda (ev, okul, hastahane, ofis, atölye, seyyar kablo, seyyar elektrikli aletler, ıslak zeminli yerler, v.s) sabit 30mA hassasiyetindeki kaçak akım koruma röleleri kullanılmalıdır. Bu röleler faz iletkenine temas riskine karşın insan hayatını korumaya yönelik olarak kullanılır [14].

Bir yalıtım hatasının oluştuğu yerde, yangın riskini engellemeye yönelik kullanılması gereken röle 300mA değerinde olmalıdır. Bu değer cisimlerin tutuşup alev alma enerjisine göre hesaplanmıştır. Yapılan araştırmalarda 300mA'lik bir toprak kaçak akımının ilgili noktadaki tutuşabilir malzemelerin varlığına ve cinsine göre yangına sebebiyet verdiği belirtilmiştir [14].

Endüstriyel yerlerdeki dolaylı temas riskine karşı kurulacak sistemlerde;

Topraklama yönetmeliğine göre bu tür yerlerde sistemin temas durumu, topraklama biçimi (TT, TN, IT) ve topraklama direnç değeri incelenmiş, ölçülmüş olmalıdır. Bu tür yerlerde de ofis, el aletleri ve benzeri seyyar kablolu sistemler yani doğrudan temas riski bulunan yerlerde, 30mA sabit değerli rölelerle korunmalıdır. Sabit tesisatlı doğrudan temas riskleri önlenmiş, endüstriyel yük ve makinalarda ise, elektrik sistemlerinin güvenli işletilmesi için izolasyon hatalarını izlemek, kaçak akımlarının oluşturacağı dolaylı dokunma gerilimlerinin oluşmasını önlemek amacıyla sistemlerin koruma topraklama direnç değerine göre (IΔn) açma akım değeri yeterli ise sabit, değilse ayarlı kaçak akım röleleri kullanılabilir. Doğrudan temas riski önlenmiş sabit tesisatlı endüstriyel tesis bölümlerinde, kaçak akım röleleri dolaylı dokunmaya karşı önemli bir koruma tedbiri olacaktır. [14] Kaçak akım rölesi dolaylı temas sonucu korumayı

$$Ia<50V/Ra \qquad (6)$$

denklem deki gibi sağlamaktadır. Örneğin TT tipi bir şebekede, bir makinanın Ra gövde koruma topraklama direnç değerinin 10 ohm olduğu varsayılırsa, kaçak akım rölesi 5A'e ayarlandığında bu makine gurubunda herhangi bir izalasyon hatasında dokunma gerilimi UΔn; 50 V'un üzerine çıkamayacaktır. Yine aynı sistemde koruma topraklama direnci 50 Ohm olan bir makinanın izalasyon hatası durumunda gövde dokunma geriliminin 50V'u aşmaması için kaçak akım rölesi sabit tip kullanılacaksa 1A değerinde olmalı veya ayarlı bir röle kullanılacaksa röle 1A ayarlanmış olmalıdır.

Kaçak akım koruma rölesi seçiminde 4 ana kriter vardır [14].

1. Kutup sayısı: Kaçak akım koruma röleleri sabit tipte 2 veya 4 kutupludur. Tek fazlı elektrik sistemlerinde 2 kutuplu, üç fazlı elektrik sistemlerinde ise 4 kutuplu röleler kullanılır. Endüstriyel üç fazlı dengeli sistemlerde de toroid akım trafolu röleler veya 4 kutuplu kaçak akım rölesini 3 kutuplu bağlama metodu kullanılarak koruma yapılır.

2. Hassasiyet: Sabit tipli kaçak akım koruma röleleri 10mA - 500mA arası hassasiyete sahip sabit modelleri vardır. Ayrıca daha büyük sistemler ve endüstriyel tesisler için toroid akım trafolu sistemlerde mevcuttur. Bu sistemlerde kaçak akım ayar sınırı 0,03A-30A aralığındadır. Standart olarak insan hayatını korumada 50V üzeri bir sisteme direk temas durumunda 30mA hassasiyetinde, yangına karşı korumada ise 300mA hassasiyetinde kaçak akım koruma rölesi kullanılmalıdır. Dolaylı temas durumlarında koruma için sistemin topraklama direncine göre ayarlanabilir röleler de kullanılabilir.

3. Nominal akım değerleri (In): Kaçak akım koruma röleleri termik veya manyetik koruma yapmazlar. Fakat kaçak akım

koruma röleleri koruyacakları devrenin şalter nominal akım değerine göre seçilmelidirler.
4 – Tip: Kaçak akım koruma röleleri kullanım alanlarına ve yapılacak korumanın hassasiyetine göre sınıflandırılmaktadır.

AC sınıfı: Alternatif gerilimli, Güç devreleri genel uygulamalar ve aydınlatma sistemlerinde için tasarlanmıştır.

A sınıfı: Alternatif Gerilimde ve yarım dalga doğrultucu olan devrelerde Elektronik devreli sistemler, fanlar, pompa ve indüksiyon fırınları olan sistemlerde kullanılır.

B sınıfı: Alternatif gerilimde, yarım dalga ve tam dalga doğrultucu olan devrelerde Elektronik devreli sistemler, fanlar, pompa ve indüksiyon fırınları olan sistemlerde kullanılır.

Si tip: Dış aşırı gerilim (yıldırım) sıklığı fazla olan bölgelerde, hız kontrol ve frekans konvertörleri olan devre ve elektronik balast olan tesisatlar da kullanılır.

SiE tip: Si tipi ile aynı özelliklerde olup nemli yerlerde kullanılabilme özelliği ile havuzlara ve nemli yerlere ait tesisatlar da kullanılır.

Kaçak akım röleleri IEC 61008 , IEC 60947-1 ve IEC 60947-3 standartlarına uygun olmalıdır.

3.1. Kaçak akım rölelerinin mevzuatlardaki yeri

3.1.1. Elektrik iç tesisat yönetmeliğinde:

Madde 18 de ‘’Çok basit tarım binaları, barakalar, basit köy evleri hariç yapı bağlantı kutusuna (ana buat veya kofra) yangın koruma (300mA), sayaç kolon devrelerine ise hayat koruma (30Ma) eşikli, düzeneği ile birlikte termik manyetik şalter veya otomatik sigorta (ayrı ayrı veya birlikte) konulmalı ve tüm koruma düzenleri arasında seçicilik sağlanmalıdır. Yapıda tek sayaç varsa, kofre tesis edilemez Bu maddeye aykırı olarak yapılan tesise işletme kesinlikle elektrik veremez.’’ [4] Denmektedir. Bu madde mekan tarifi ve kaçak akım rölelerine değer atfettiği için birçok proje ve uygulama çelişkisinin oluştuğu, idari şartlardan kaynaklı hatalı uygulamalarda etken olan bir maddedir.

Madde 31.Şebeke tiplerinin tümünde (TN-TT-IT) dolaylı dokunmaya karşı alınacak tedbirlerden biri olarak “hata akımı koruma bağlantısı” yapılması sıralanmıştır. [4] Bu maddeye göre her üç şebeke tipin de de kaçak akım rölesinin kullanılabilir olduğu görülmektedir.

Madde 39 da da “Hata akımı koruma bağlaması nın gerilim altında olmayan iletken tesis bölümlerinde meydana gelebilecek olan yüksek dokunma gerilimlerinin tesiste sürekli olarak kalmasını, böyle bir durumun ortaya çıkması durumunda akan ve belirli bir değeri aşan arıza akımının, tüm faz iletkenlerini ve varsa orta iletkeninin devresini 0,2 s içinde açması ile önlemektir.’’ Denmektedir. Bu madde dolaylı dokunma gerilimlerinin tesiste uzun süre kalmaması ve dokunma gerilimi değerini sınırlamak amacıyla kaçak akım rölesi kullanılması gerekliliğine vurgu yapmaktadır.

Madde 64 de – “Yangın tehlikesi olan yerlerde Hata akımı anma değeri en fazla 0,5 A olan hata akımı koruma anahtarları ile denetlenen yalıtkan dış kılıfları bulunmayan metal kılıflı ya da kablolar kullanılmalıdır.” Denmektedir. Bu madde sınır değer belirttiği için yine idari şartlardan kaynaklı hatalı uygulamalara sebep olan bir maddedir.

Madde 65 de- İnşaat şantiyelerindeki koruma tedbirlerinden biri olarak hata akımı koruma bağlantısı önerilmektedir.

Madde 66 da- “Tarımsal işletme yerlerinde Büyük baş hayvanlara ait ahırların içinde ve yakınındaki su pompaları, su ısıtıcıları, gübre vinçleri, pancar kesme makineleri, gübre şerbeti pompaları ve priz gibi elektrik işletme araçlarında arıza olduğunda 24 V'tan daha yüksek bu dokunma gerilimi sürekli olarak kalmamalıdır. Bu istek örneğin hata akımı yada hata gerilimi koruma sistemi ile yerine getirilebilir. Hata akımı koruma sisteminde korunacak işletme araçlarının topraklama direnci 24V/Ih değerinden daha büyük olmamalıdır.” [4] Burada Ih anma hata akımıdır. Hata gerilimi koruma sisteminde yardımcı topraklayıcının topraklama direnci topraklama yönetmeliği gereği 200 ohm'dan daha büyük olmamalıdır.

3.1.2. Elektrik tesislerinde topraklama yönetmeliğinde:

Kaçak akım rölelerinin elektrik sistemlerinde kullanılması zorunluluğu bu yönetmelikte daha da belirginleşmektedir. Madde 10 da özetle her topraklama tesisatının gözle ve deneylerle denetlenmesi gerektiğini değerlerinin ölçülmüş olmasının gerekliliği ve ilgili devre elemanlarının tehlikeli bir durumu önleyecek şekilde açma yapıp yapmayacağının denetlenmesi gerektiğinden bahsetmektedir. Burada topraklama değerlerinin ölçülmesi ve değerlerin uygunluğunun araştırılmasından beklenen temel sonuç: Bir elektrik kaçağı faz toprak (gövde üzerinden) arızası durumunda koruma devresi elemanının, oluşan bu hatayı önleyecek süre ve sınır değerlerde sistemin enerjisini kesme işlemini sağlayıp sağalmadığının denetlenmesidir. Yönetmelik 10. Madde de ‘’”Topraklama direnci, kompanzasyon veya akım-gerilim yöntemiyle ölçülebilir… Ölçülen değer, şart koşulan topraklama direncine eşit veya ondan daha küçük olmak zorundadır.’’ Demektedir. Alçak gerilim sistemlerinde dolaylı dokunulan iletken tesis bölümünün toprağa göre direnç değeri, IT ve TT Şebekeler de

$$Rölçülen < 50V/Ia \qquad (7)$$

TN Şebekede ise

$$Rölçülen < 230V/Ia \qquad (8)$$

değerlerinde olmalıdır. Burada ki Ia koruma devresi ani açma akım değeridir.

Madde 6’da beslemenin otomatik açma işlemiyle kesilip kesilmediğinin denetlenmesinin gerekliliği ve alternatif gerilimler için TN, TT ve IT sistemlerindeki koruma önlemlerinin doğrulanması gerekliliği istenilmektedir. TN sistemde yapılacak kontrollerde ‘’Dolaylı dokunmaya karşı koruma için aşırı akım koruma düzenleri kullanılıyorsa çevrim empedansının ölçülmesiyle veya hesaplama ile ya da şebekenin, şebeke modeli üzerinde incelenmesiyle, her açma zamanı için gerekli olan açma akımının akıp akamayacağı tespit edilmelidir…”, “ Hata akımı koruma düzenleri kullanıldığında, Madde 10-c6.1.2.3/ii’deki önlemlere gerek yoktur’’ denilmektedir.

TT sisteminde yapılacak kontrollerde ‘’aynı anda dokunulabilecek veya ortak bir koruma düzenine bağlı bütün cihaz gövdelerinin ortak topraklayıcılarının olup olmadığı

tespit edilmelidir. Dolaylı dokunmaya karşı koruma için aşırı akım koruma düzenleri kullanılıyorsa, Şebekenin herhangi bir yerinde ilgili koruma düzeninin 0,2sn içinde açma yaptırıp yaptırmadığı tespit edilmelidir. Dolaylı dokunmaya karşı koruma için aşırı akım koruma düzenleri kullanılıyorsa, Madde 10-c5'e göre ölçülecek topraklama direncinin, Çizelge-11'de verilen ve her bir açma zamanı için gerekli olan açma akımını geçirebilecek kadar küçük olup olmadığı tespit edilmelidir. Hata akımı koruma düzeninin kullanılması durumunda Madde 10-c6.3'ye göre deney yapılmalıdır." IT sisteminde yapılacak kontrollerde ilk hata durumunda koruma önlemlerinin etkisinin kontrolü ''Madde 10-c5'deki tespitlere uygun olarak Ra topraklama direnci ve bir ana iletkenin besleme kaynağında topraklanmasından sonra şebekeden toprağa geçen Ia akımı ölçülmelidir. Tamamlama amacıyla Ia, tasarım dokümanlarından tahmin edilebilir. RA.Ia çarpımı izin verilen sürekli dokunma geriliminin sınırını (UΔ = 50 V) sınırını aşmamalıdır. Ya da; Bir ana iletkenin besleme kaynağında topraklanmasından sonra, topraklama direnci Ra üzerindeki gerilim düşümü ölçülmelidir; bu gerilim düşümü sürekli dokunma gerilimi UΔ'den küçük veya ona eşit olmalıdır.''

Bu yönetmeliği özetleyecek olursak Topraklama tesisat yönetmeliğinde sistemdeki pano, makine ve cihazların gövde koruma topraklama direncinin ölçümü ve sonuçlarının değerlendirilmesi üzerine bir şartlandırma yapılmış ve bu direnç değerlerinin sınırları belirlenmiştir. TT ve IT tipi topraklama sistemi olan tesislerde ölçüm yapılan her noktada ölçülen değer Ra< 50V/Ia, TN Şebekede ise Ra <220V/Ia değerini sağlaması istenmektedir [5]. Buradaki Ia devre koruma elemanının ani açma akım değeridir. Bu değer koruma elemanının tipine göre 5In ile 15In değerlerinde olabilmektedir. Kaçak akım Koruma röle sistemi kullanılması durumunda da buradaki Ia Değeri kullanılan kacak akım röle sisteminin IΔn set değeri olacaktır. Bu değer sistemdeki temas riski göz önünde bulundurulmak şartıyla doğrudan temas riski olan yerlerde kesinlikle 30mA, diğer dolaylı temas riski bulunan yer ve sistemlerde ise sistemin topraklama direncine bağlı olarak 30mA-30A' e kadar olabilir. [14] Sistemde böyle bir hata akımı koruma düzeneği varsa Topraklama yönetmeliği aşağıdaki ifadeyle bu ispatı yeterli bulmaktadır. ''Hata akımı koruma düzeninin arkasındaki bir yerde koruma önleminin etkisi kanıtlandığı takdirde, bundan sonra, bu hata akımı koruma düzeni tarafından korunan bütün tesis kısımlarının, koruma iletkeni vasıtasıyla bu ölçme noktasına güvenli şekilde bağlandığının kanıtlanması yeterlidir'' [5]

Aşağıda Tablo 2'de TT tipi bir şebekede yapılan gerçek bir topraklama ölçüm raporu görülmektedir. Bu ölçüm, otomotiv parçası üreten bir endüstriyel tesiste yapılmıştır. Ölçüm raporunda ismi geçen kısım ve makinelerin gövdesindeki iletken bölümlerin toprağa göre yayılma (geçiş) direnci, bu amaç için üretilmiş kapastif ölçüm metoduna göre çalışan ERT-S [15] marka topraklama ölçüm cihazı ile yapılmıştır.

Tablo 1 : TT Sistemde Topraklama Ölçüm Raporu

A.G. TESİSLERİ TOPRAKLAMA ÖLÇÜM RAPORU		ŞEBEKE TİPİ : TT.						
S. NO	ÖLÇÜLEN NOKTA	Betken Kesiti Ana /Koruma mm^2	In A	Açma Eğrisi Tipi	Ia A	Ra Ölçülen (Ω)	RA: 50 / Ia Sınır (Ω)	Sonuç Rx < RA
1	K1/2 Pano Koruma Topraklaması	2(3*50+70)	630	1,25	787,5	0,08	0,06	Uygun Değil
2	K3/4 Pano Koruma Topraklaması	3*150+70	630	1,25	787,5	0,06	0,06	Uygun Değil
3	H5 dikey Homlama Koruma Topraklaması	4*6	63	10	630	0,09	0,08	Uygun Değil
4	M1 Matkap Koruma Topraklaması	4*2,5	32	10	320	0,06	0,16	Uygun Değil
5	F1 Freze Koruma Topraklaması	4*2,5	25	10	250	0,07	0,2	Uygun Değil
6	CNC Büyük Torna Koruma Topraklaması	3*35+16	150	1,25	187,5	2,85	0,27	Uygun Değil
7	TK 1 Torna Koruma Topraklaması	4*6	40	10	400	0,81	0,13	Uygun Değil
8	Hidrolik Pres Koruma Topraklaması	4*2,5	25	10	250	1,08	0,2	Uygun Değil
9	Tali-1 Dağıtım Panosu	3*70+35	400	KAR	1	2,5	50	Uygundur
10	İdari ofis kat dağıtım panosu	3x35+16	150	KAR	0,3	1,23	166,6667	Uygundur
11	Muhasebe ofis priz hinyesi	3*2,5	16	KAR	0,03	1,23	1666,667	Uygundur

In: Koruma elemanının anlma akımı
Ia: Koruma elemanının açma akımı. Artık Akım Anahtarında Idn,Otomotik sigortalarda tiplerine göre B: 5 In , C: 10 In , D: 15 In ,
Rx: Ölçülen topraklama yayılım direnci.
RA: Hesaplanan sınır topraklama direnci. (TT şebeke tipi için RA = 50 V / Ia)
Zs: Ölçülen Çevrim empedansı
Zs: Hesaplanan sınır çevrim empedansı (TN şebeke için Zs= 230 V / Ia)

Sonuç: 1-8 Nolu noktalarda yapılan koruma topraklaması ölçüm değerleri uygun değildir.
9-11Nolu noktalarda yapılan koruma topraklaması ölçüm değerleri uygundur.

Tablo 1'deki raporda ilgili ölçüm noktalarının sırasıyla isimi, kablo kesiti, aşırı akım koruma elemanının nominal açma akımı, açma eğrisi (ani açma için gereken nominal akım katsayısı) ve sistemde KAR bulunup bulunmadığı bilgileri sistem üzerinden incelenerek girilmiş. Devamında ani açma akımları, açma eğrisi veya sistemde kaçak akım rölesi bulunup bulunmaması durumu belirtilmiştir. Bu veriler ile koruma topraklaması sınır değerleri

$$Ra<50V/Ia \qquad (9)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda TT şebekelerde ani açama akımı Ia, sistemde kaçak akım rölesi varsa kaçak akım koruma rölesinin açma değeri, yoksa aşırı koruma elemanının ani açma akım değeri olarak girilmiştir. Son olarak tesiste ERT-S Marka kapastif topraklama ölçüm cihazıyla ilgili kısımların Rx koruma topraklamaları ölçülmüş ve ölçülen Rx topraklama direnç değerlerinin, hesapla bulunan Ra direnç değerlerinden küçük olması durumu "uygundur", büyük olması durumu ise "uygun değildir" ifadesi ile raporlanmıştır. Topraklama yönetmeliğine göre uygun olmayan noktaların uygun hale getirilmesi gerekmektedir [5]. Bu da çoğu tesiste kaçak akım rölesi kullanılmasıyla mümkündür. TN sistemlerde yapılan ölçümlerde ise ilgili devrenin bir faz ve nötr hattını içeren çevrim empedansı ölçülür ve bu empedans değeri 10 nolu denklemdeki referans değeri sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir.

$$Zs<230V/Ia \qquad (10)$$

Zs çevrim empedans değeri (10) nolu denklemdeki şartı sağlamadığı durumlarda sistemde ek koruma önlemleri alınmalı ve kaçak akım röle sistemleri tesis edilmiş olmalıdır.

3.1.3. İşyeri bina ve eklentilerinde alınacak sağlık ve güvenlik önlemlerine ilişkin yönetmelikte hata akımı koruma düzenleri; [6]

Bu yönetmelik teknik bir yönetmelik olmamakla birlikte, aşağıda aynen verilmiş olan maddelerde görüleceği üzere kaçak akım rölesi kullanılması zorunluluğunda bağlayıcı, genel ve hakim ifadeler içermektedir. Bu yönetmeliğin uygulamadaki karşılığı, zorunluluk ve uygulanabilirlik ikileminde kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına etki edip etmeyeceği incelenecektir.

Yönetmelik EK-1 maddeleri.
Madde "4 - Elektrik tesisatı, yangın veya patlama tehlikesi oluşturmayacak şekilde projelendirilip tesis edilir ve çalışanlar doğrudan veya dolaylı temas sonucu kaza riskine karşı korunur.
Madde "8 - İşyerinin ana pano ve tali elektrik panolarında seçicilik ilkesine uygun kaçak akım rölesi (artık akım anahtarı) tesis edilir."

Bu yönetmeliklerin verilme sebebi kaçak akım rölelerinin yasal mevzuatlardaki kullanım şartlarının tanımlanması ve bu idari şartlardan kaynaklı hatalı çalışma sebeplerinin de olabileceğini ve teknik sebeplerin yanı sıra idari konularında hatalı uygulamalarda etken olabileceğini vurgulamaktır.

3.2. Uygulamalarda sık karşılaşılan hatalı çalışma sebepleri

Endüstriyel tesislerde kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına etki eden faktörler iki bölümde değerlendirilecek olursa, idari ve teknik sebeplerden kaynaklı hatalar olarak sınıflandırılabilir.
İdari sebeplerden kaynaklı uygulama hataları;

Genel olarak idari yönetmelikler ve bağlı şartnamelerden kaynaklı hatalardır. Yürürlükte olan Elektrik İç Tesisat yönetmeliğinin 18.Madde'sine göre bina bağlantı girişine 300mA değerinde yangın rölesi, kolon hatlarına ise 30mA değerinde hayat koruma rölesi tesis etmelidir denmektedir[4]. Bu madde ile mesken ve benzeri yapıların elektrik proje ve uygulaması yapılabilir ama bir atölye veya endüstriyel tesis proje ve uygulaması yapmak imkânsız olur. Çünkü yönetmelikte çok basit tarım binaları, barakalar, basit köy evleri hariç bina girişine (kofra) yangın rölesi (300mA), kolon devresinde hayat koruma rölesi (30mA) tesis edilmelidir denerek asgari yapılar sınırlanmış fakat daha büyük yapı ve organizasyonlarda ne olacağı belirtilmemiştir. Bugün yapılan büyük boyutlu yapılarda ve endüstriyel tesislerde bu çelişki projeler de kararsız bir şekilde sürdürülmektedir. Projelerde yönetmelik şartını sağlamak için düzensiz bir şekilde konulan bu tarz kaçak akım röleleri tesisin gerçek ihtiyacına uygun olmadığından fiilen ya hiç takılmamakta ya da takılsa da iptal edilmektedir. Oysa aynı maddenin son bölümünde bu kurala uygun yapılmayan tesislere elektrik verilemez denmektedir. Bu idari yönetmelik maddesi röle değerlerinden ve yapı sınıfı üst sınırı belirtilmediğinden dolayı uygulamada hatalar oluşturan bir maddedir.

İdari şartlardan kaynaklı bir diğer hata sebebi yönetmelik maddesi ise iş güvenliği yönetmeliğinde ki 8. maddedir. Bu maddeye göre "Ana ve Tali Panolara seçicilik ilkesine uygun kaçak akım rölesi tesis edilir" denmektedir[6]. Bu seçicilik ilkesinden kast edilen amper aralığı iç tesisat yönetmeliği 18. Maddesindeki gibi 30mA ile 300mA aralığında bir seçicilik ise, ki bu maddede herhangi bir röle değeri telaffuz edilmemiştir, buna rağmen iş yerleri için tasarım yapan projeci veya uygulayıcı kaçak akım rölesi değeri belirlerken iç tesisat yönetmeliği 18. Madde şartına göre 30mA-300mA değerleri baz alınarak seçimler yapmakta ve haliyle de büyük akımlı makine, pano ve tesis kısımlarında bu röleler, çalışmada derinlemesine inceleyeceğimiz sebeplerden dolayı hatalı açmalar yapmaktadır.

Bir diğer örnek Topraklama tesisat yönetmeliği 6. maddesine göre TT tipi şebekede dolaylı dokunmaya karşı alınması gereken tedbirlerde korumanın görev yapıp yapmadığının kontrolünü şebeke tipi, koruma elemanının açma akımı, açma süresi ve sistemin koruma topraklama direnç değerlerinin uygun olması şartına bağlamıştır. Bugün bu madde deki şartlar TT Şebeke ile işletilen, kamusal alanlarda kullanılan aydınlatma direkleri, parsel panoları gibi elektrikli, metal gövdeli tesislerde incelendiğinde, TEDAŞ-MYD/2003-006.A numaralı metal muhafazalı alçak gerilim dağıtım panoları teknik şartnamesi, genel parsel panosu tek hat şeması tipinde, ana koruma elemanının termik manyetik (TMŞ) koruma yaptığı görülmektedir. Bu TMŞ şalterlerin ani açma akımı Ia, ayarlanabilir olmakla birlikte en hızlı olanında, nominal akımının 1,25 katında ani açma yapabilmektedirler. Bu tür bir panoda olası bir pano içi izolasyon hatasında, örneğin su baskının da TT şebeke koruma şartlarına göre panonun koruma topraklama direncinin değeri topraklama yönetmeliğine göre

$$Ra<50V/Ia \qquad (11)$$

değerini sağlamalıdır. 630A değerinde bir termik manyetik şalterle korunan dağıtım şebekesi parsel panosunda olası izolasyon hatası sonucunda tehlikeli bir dokunma geriliminin oluşmaması için koruma sisteminin devreyi yönetmelik gereği 0,2 sn de açması istenir bu da Ra direnç değerinin ve Ia açma akım değerinin (18) nolu bağıntıyı sağlanması ile mümkündür. Bu durumda Ra gövde koruma topraklama direnç değeri;

$$Ra<50V/(1,25*630) \qquad (12)$$

(12) nolu işlem sonucu Ra<0,063 ohm olarak hesaplanır. Yani bu parsel panosunun gövde koruma direnci 0,063 ohm gibi çok küçük bir değere sahip olması gerekir. Bu değeri sağlamak oldukça güçtür. TEDAŞ MYD şartnamesi ile topraklama tesisleri şartnamesinin çelişkili bu durumu, yönetmeliklerdeki çelişkilere ve hata kaynaklarına en somut örneklerden biridir. Aşağıdaki Şekil 7'de 2014 yılında böyle bir parsel panosuna su baskını sırasında dolaylı temas etmek sonucu yaşanmış ölümlü bir elektrik kazası görülmektedir.

Şekil 7 : Dolaylı temas sonucu oluşan ölümlü kaza.

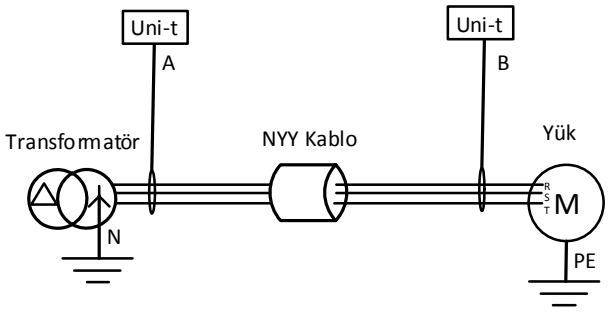
Kazada görgü tanıklarının ifadesiyle lise öğrencisi Resul Pekuslu yağmur suyuyla dolan sokakta yürürken yaya kaldırımındaki elektrik parsel panosuna tutunmak istemiş ve dokunduğu panoda oluşan elektrik kaçağı nedeniyle akıma kapılmıştır. Maalesef Resul Pekuslu bu kazada hayatını kaybetmiştir [16]. Her yıl ülkemizde dolaylı dokunma sonucu bu kazaya benzer onlarca kaza yaşanmaktadır. Bu kazadan da anlaşılacağı üzere elektrik sistemlerindeki koruma devreleri tehlikeli doğrudan ve dolaylı dokunma gerilimlerini önleyecek şekilde dizayn edilmelidir. Tüm elektrik tesislerinde topraklama sisteminin ölçümü yılda en az bir kez yapılmalıdır. İlgili sistemin topraklama tipine bağlı olarak sistem kontrolleri ve direnç değerlerinin korumayı sağlayıp sağlamadığı ölçülerek kontrol edilmelidir. Ölçüm sonuçlarına göre yeterli koruma sağlamıyorsa ek koruma önlemleri alınmalıdır. Bu bölümde yönetmelikler bölümünde de ayrıntılarıyla bahsedildiği üzere, bu önlemlerden biri de elektrik tesisatlarında kaçak akım koruma rölesi kullanılmasıdır. Bir sonraki bölümde bu önemli koruma aracının, hayati öneme sahip olmasına rağmen özellikle endüstriyel tesislerde ve örnekteki gibi kamusal tesislerde kullanılmamasının sebepleri araştırılacaktır.

Teknik uygulama hataları;

Endüstriyel tesislerde teknik uygulama hatalarının başında yanlış ürün seçimi, projelendirme hatası ve bağlantı hataları gelmektedir. Yanlış ürün seçiminden kasıt, bu çalışmada derinlemesine incelenecek olan doğal kaçak akımlar, tesisattaki harmonik değerler ve tesis şartlarının etkilerini göz önünde bulundurmadan yapılan kaçak akım rölesi seçimleri ve uygulamalardır. Yine kaçak akım rölelerinin bağlantı hataları da teknik uygulama hataları olarak görülmektedir. Röle sonrasında nötr ile toprak hattının irtibatlı olması, devreyi TN-C sistemdeki gibi yapacaktır. Yani tek fazlı sistemlerde, yüke giden akımın bir miktarı gövdeden toprağa akacak, nötrden dönen akım fazdan gelen akıma eşit olmayacaktır. Böylelikle nötr ile faz arasında bir fark akımı oluşacaktır. Bu akım normalde olmaması gereken hatalı bir bağlantı sonucu oluştuğundan kaçak akım rölesi hatalı çalışacaktır. Bunun yanı sıra uygulamada yaşanan sorunların temel sebepleri olarak yapılmış araştırmalarda tesislerdeki harmonikler, iletken kapasitansları, filtre devreleri, yüksek gerilim anahtarlama arıza pikleri, yıldırımlar, yüksek frekanslı elektro manyetik dalgalar, radyo dalgaları gibi birçok faktörün kaçak akım koruma sistemlerini olumsuz etkileyebileceği görülmüştür[13]. Teknik hata sebeplerinden ve bu çalışmanın konusu olan kablo kaynaklı etkiler ile akım, gerilim harmoniklerinin etkisi ileriki bölümde ayrıntılı olarak incelenecektir.

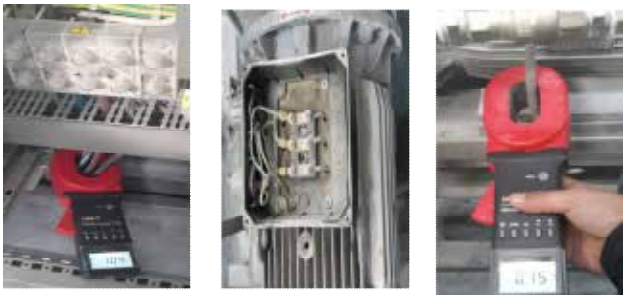
3.3. Gerçek tesislerde yapılan kaçak akım Ölçümleri.

Çalışmalar sırasında gerçek sistemlerdeki kaçak akımların varlığı da araştırılmıştır. Endüstriyel bir tesiste farklı makine ve motor devreleri üzerinde kaçak akım ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler bu amaç için üretilmiş UNİ-T [17] Toprak ve Kaçak akım test cihazı ile yapılmıştır. UNİ-T kaçak akım test cihazı pens ampermetre gibi çalışan bir cihaz olup, pens ampermetrelerden farkı, cihazın akım trafosu içine alınmış iletkenlerden geçen akımları vektörel olarak toplayabilme ve rms sonuç verebilme kabiliyetine sahip olmasıdır. Bu cihazla Şekil 8'deki şemadan da görüleceği üzere makine devresi besleme kablosunun kaynak tarafı, hat başından (A Noktasından) ve yük tarafı,hat sonundan (B noktasından) kaçak akımlar ölçülmüştür. Bu ölçümler ile kablo kaynaklı kaçak akımların fiili durumu görülmüştür.



Şekil 8 : Kaçak Akım ölçüm şeması.

Şekil 9'da sahada yapılan bu ölçümlere ilgili resimler görülmektedir. Yapılan ölçümlerde her sistemin, hattın ve makinanın kendine özgü doğal bir kaçak akıma sahip olduğu gözlemlenmiş ve Tablo 2' de bu ölçüm sonuçları görülmektedir.



Şekil 9:Uni-t Cihazıyla Kaçak Akım Ölçümü.

Ölçümdeki 11kW lık vakum pompası normal çalışma durumunda sabit çalışırken, üçgen bağlı motorun besleme panosunda yani Şekil 8 deki şemaya göre A noktasında 1,04A lik bir kaçak akım değeri ölçülmüş, 40mt lik 4x4 NYY Kablo hattının motor girişinde yani B noktasında ise 0,75A lik bir kaçak akım (RC) ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre ilgili makinada sadece kablo kaynaklı doğal kaçak akım miktarının 259mA. olduğu görülmektedir. Bu ölçümeler aynı cihazla yapılmıştır ölçüm anı aynı değildir yaklaşık bir dakika zaman farkı vardır. Ölçümler aynı ölçüm metodu ile tesisteki farklı sistemlerde de tekrarlanmıştır. Ölçüm sonuçları Tablo 2' deki gibidir.

Tablo 2: Kaçak akım ölçüm tablosu

Makine Adı	Güç	Kablo	Mesafe	A. Hat başı Kaçak Akım (A)	B. Hat sonu Kaçak Akım (A)	A-B Kablo kaçak akım (A)
K.Sirkilasyon	7,5kW	4x4NYY	70	0,74	0,65	0,09
V.Pomp.	11kW	4x4NYY	40	1,04	0,75	0,29
Enjeksiyon	11kW	4x4NYY	100	1,25	0,49	0,76

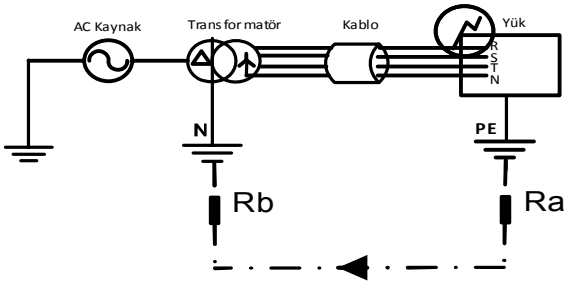
Tablo 2'deki değerler incelendiğinde hat başındaki kaçak akım değerleri ile hat sonundaki kaçak akım değerlerinin farklı olduğu görülmüştür. Bu ölçümler ile kablolardaki kayıp akımın kablo mesafesine ve yük miktarına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Bu ölçümün yapıldığı makinalarda çalışan personelin dolaylı dokunmaya karşı güvenliğinin sağlanması için yukarıda da genişçe yer verilen tesis topraklama tipine göre korumalar yapılmalıdır. Bu korumaların en önemlilerinden biride kaçak akım röleleri ile korumadır. Fakat Tablo 2'de de görüleceği üzere bu tür tesislerde kaçak akım koruma rölesi uygulanabilmesi sistemde gerçek manada dolaylı dokunma gerilimlerine neden olmayan, kaçak akımlar olduğu ve bu akımlarında kurulacak röle sistemlerinde hatalara ve istemsiz açmalara sebebiyet verebileceği görülmüştür. Bu tür doğal kaçak akımların varlığı ve bu akımların oluşumunu etkileyen faktörlerin tasarımcı ve uygulayıcı tarafından bilinmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada simülasyonla yapılan parametrik analiz sonuçları ile gerçek sistemler üzerinde yapılan ölçüm sonuçları arasında benzerlikler ve yakınsamalar olduğu görülmektedir.

4. ATP Programında TT şebeke tipinin modellenmesi ve bir faz toprak arızasının incelenmesi.

Bu kısımda topraklama sistemine göre sınıflandırılan şebeke tiplerinden olan TT şebeke tipi ATP Programında modellenmiştir. Arıza durumlarındaki devre davranışı ve kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına etki eden faktörler bu bölümde incelenecektir. Çalışma aşağıdaki üç durum için yapılmıştır.

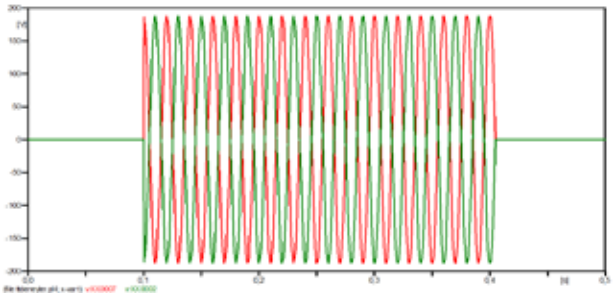
1. ATP programında modellenen devre üzerinde kalıcı hal analizi yapılacaktır. Faz toprak arızası sırasında yük gövdesindeki dokunma gerilimi değişimi, nötrdeki gerilim yükselmesi, nötr ve gövde topraklaması akımlarındaki değişimler incelenecektir.
2. Model devrelerde kablo geometrisi, kablo mesafesi ve yük değişimlerinin kaçak akımlara etkileri incelenecektir.
3. Model devrelerde gerilim ve akım harmoniklerinin değişiminin, kablo mesafesi faktörüne bağlı olarak kaçak akımlara etkisi incelenecektir.

Şekil 10'da TT tipi bir devre modellenmiş ve faz akımlarından yüke giden ve yükten dönen akım grafikleri arıza durumunu da içerecek şekilde incelenmiştir. Beş periyotluk bir normal çalışma süresi içerisinde, üçüncü periyotta zaman kontrollü anahtar yardımıyla bir periyotluk, bir faz toprak arızası yapılarak, TT Şebekede kaçak akımının oluşumu ve devredeki etkileri incelenmiştir. Model devrede 3 Fazlı 34,5kV kaynak, 34,5/0,4kV Üçgen/Yıldız bağlı transformatör,3x35+16mm² NYY kablo ile 3 fazlı yıldız bağlı, faz başına 4ohm değerinde bir rezistans yükü bağlanmıştır. Devredeki Ra direnci 0,5ohm değerindedir ve TT sistemli devrenin koruma topraklamasıdır. Rb direnci ise 0,5ohm değerinde nötr toprak direnç değeridir.



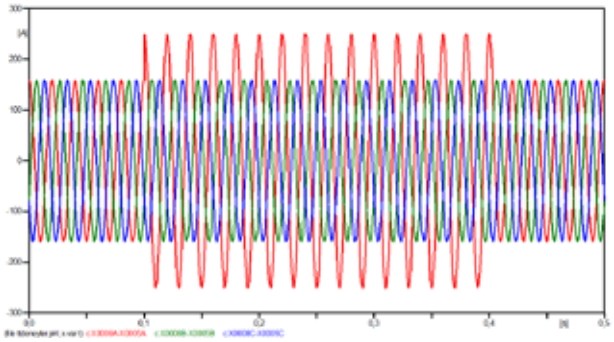
Şekil 10 : TT Şebekede Faz Toprak arızası

ATP programında bu devre incelendiğinde TT Şebekede bir faz toprak arızası durumunda Şekil 11'de görüldüğü gibi yük tarafında 178 volt değerinde dokunma ve trafo tarafında 178V değerinde nötr gerilimi oluşmaktadır. Ra (Gövde koruma topraklama geçiş direnci) direnç değeri arttıkça bu değer yani dokunma gerilimi de artmış olacaktır. Devrenin bu şekilde sürekli çalışması düşünülemeyeceği gibi açmanın uzaması halinde can ve mal emniyeti açısından büyük riskler ve sakıncalar oluşacaktır.



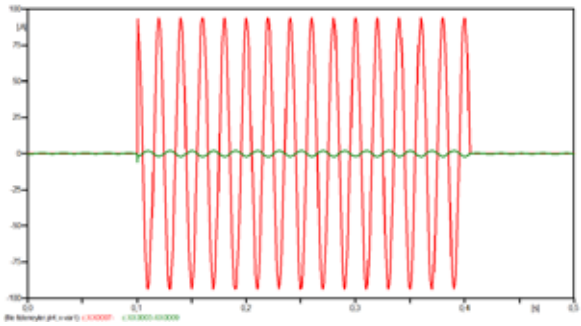
Şekil 11 : TT Şebekede Faz –Toprak Arızası durumunda Nötrde (yeşil) ve Gövdede (kırmızı) oluşan gerilimler.

Aynı devre için Şekil 12'de normalde faz akımları 160A iken arıza sırasında arızalı faz akımı 250 A olduğu görülmektedir, aşırı akım koruma elemanlarının bu akım değerinde açması, koruma sigorta veya şalterinin tipine bağlı olarak değişmekle birlikte akım genliğinin, aşırı akım açma elemanlarının açma akımı sınırına yakın olması nedeniyle oldukça yavaş ve geç kalınmış bir açma olacaktır. Sigorta veya termik şalterlerin ani açma akımı ve açma süresine kadar bu sakıncalı ve aşırı riskli durum tesis içerisinde devam edecektir. Bu nedenle TT şebekelerin tümü tesisin şekline uygun bir projelendirme ile gerçek kaçak akımlarda açma yapabilecek kaçak akım röleleriyle donatılmalıdır.



Şekil 12 : TT Şebekede Faz –Toprak Arızası durumunda Faz akımları (Kırmızı arızalı faz)

Son olarak Şekil 13'de Nötre akan akım ile Gövdeden toprağa akan akımların grafiği verilmiştir, Bu grafikte koruma iletkeni üzerinden toprağa akan akımın 90A değerinde olduğu görülmektedir. Bu akım ilgili dolaylı dokunulan sistem veya makine üzerinde koruma topraklama direncine bağlı bir gerilim oluşturacağı ve bu geriliminde yine tehlikeli dolaylı dokunma gerilimleri seviyelerine gelmeden sistemde elektriğin ani olarak kesilmesi gerekliliğine ihtiyaç olduğunu göstermektedir.



Şekil 13 : TT Şebekede Faz –Toprak Arızası durumunda Nötre akan akım (Yeşil) - Gövdeden toprağa akan akım(Kırmızı)

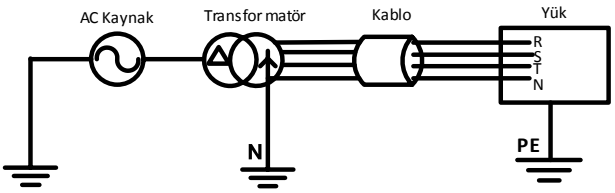
Bu kısımda TT şebekede yukarıdaki grafiklerden de anlaşılacağı üzere, faz toprak izolasyon hatası durumunda, yük tarafında, koruma topraklama direnç değerine bağlı olarak, hata anında ve sonrasında, sistem üzerinde tehlikeli dokunma gerilimlerinin oluşabileceği görülmüştür. Böyle bir durumda oluşacak hata akımı, çoğunlukla koruma devresinin ani açma akımından küçük kalacağından, kesinlikle koruma elemanı olarak sistemin karakteristiğine uygun seçilmiş tür ve değerdeki kaçak akım röleleriyle korunması gerektiği görülmüştür.

4.1. TT Sistemde Kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına etki eden faktörler

Bu kısımda TT şebeke tipinde kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına etki edebilecek faktörlerden kablo geometrisi ve kablo empedans dengesizliklerinin etkisi ile akım ve gerilim harmoniklerinin etkisi incelenecektir. Çalışma ile enerji sistemlerinde kullanılan kabloların geometrik yapıları ve izolasyon malzemelerine bağlı olarak toprağa ve birbirilerine göre olan empedans değerlerinden dolayı doğal kaçak akımların oluşabileceği ve bu akımlarında, kaçak akım rölelerinin görevleri dışında açmalara sebep olabileceği araştırılmıştır. İnceleme ATP Programında modellenen Şekil 21'de bulunan devre üzerindeki veriler ile parametrik analiz yöntemiyle yapılacaktır. Kablo mesafesine bağlı analizde, kablo mesafesi ve yük kaynaklı analizde ise mevcut kablonun taşıdığı yük miktarı değiştirilerek inceleme yapılmıştır. Gerilim ve Akım harmoniklerinin kaçak akımlara etkisi incelenirken gerilim harmoniği için kaynak gerilim frekansları değiştirilerek ve akım harmoniklerinin etkisi incelenirken de tek fazlı devrede akım kaynaklarından farklı akım harmonik değerleri uygulanarak analizler yapılmıştır.

4.1.1. 4.3.1 TT Şebekelerde, üç fazlı, dengeli yükte, kablo mesafesine bağlı kaçak akımların incelenmesi.

Şekil 14'deki eş değer devre modeli ATP Programında modellenmiştir. 3 Fazlı, 400V luk bir alçak gerilim TT Şebeke den 3x35+16+zırh NYY kablo ile beslenen 3 fazlı yıldız bağlı ideal dengeli rezistans yük bağlanmış, İdeal dengeli yükte kablo geometrisinden kaynaklı dengesizlikler ve kapastif etkilerin görülmesi için yükün yıldız noktası topraklanmıştır. Böylece sistem beş periyot boyunca çalıştırılarak sonuçlar listelenmiştir.



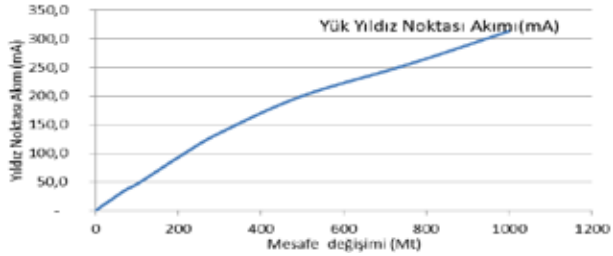
Şekil 14: TT Şebeke tipi.

Tablo 3 ve Şekil 15' de görülen tablo ve grafiklerde yük empedansı sabit tutularak iletken boyu 1 metreden 1000 metreye belirli ölçülerde değiştirilerek dengeli yükün çektiği faz akımları ve yıldız noktasından toprağa akan akım değerleri kaydedilmiştir. Yük ideal dengeli olduğu için, faz akımlarının vektörel toplamından oluşan ve yıldız noktasından toprağa akan akım; kablo faz iletkenleri aynı kesit ve özellikte olduğu halde iletkenlerin geometrik dizilişinden dolayı oluşan empedans dengesizliğinden kaynaklanmış ve mesafeye göre arttığı gözlenmiştir. Tablo ve grafiklerdeki akımlar, maksimum değerleridir.

Tablo 3: TT Şebeke de yıldız bağlı 3 fazlı sabit yükte, değişen mesafelere göre yükün yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi tablosu.

.

Gerlim	Sistem	Yük Tipi	yük değeri	besleme kablosu	Mesafe (metre)	A faz Akımı IA (Amper)	B faz Akımı IB (Amper)	C faz Akımı IC (Amper)	3x35+16 da Yıldız noktasından akan akım (mAmper)	1x3x35+16da Yıldız noktasından akan akım (mAmper)
380V	TT	3 faz yıldız bağlı omik yük	2,4 ohm	3*35+16+shit NYY-NYFGBY	1	135,43	135,43	135,43	5	
					10	135,02	135,04	135,06	44	
					20	134,58	134,61	134,65	85	
					30	134,14	134,19	134,25	124	
					40	133,7	133,75	133,85	161	
					50	133,27	133,35	133,44	196	
					75	132,19	132,32	132,45	276	485
					100	131,14	131,3	131,46	335	
					150	129,08	129,3	129,54	462	
					200	127,1	127,37	127,65	560	
					300	123,31	123,68	124,05	694	
					500	116,4	116,89	117,4	846	
					750	108,78	109,39	109,97	925	
					1000	102,11	102,79	103,42	960	
					1500	90,94	91,72	92,4	934	



Şekil 15:TT Şebeke de yıldız bağlı 3 fazlı sabit yükte, değişen mesafelere göre yükün yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi grafiği.

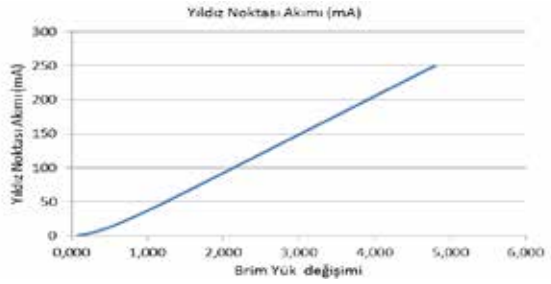
Şekil 14'deki devre endüstriyel tesislerde sıkça karşılaşılan bir yük ve tesisat tipidir. Bu kısımdaki çalışma da, kaçak akım rölesi kullanılacak yükün veya sistemin, röleye olan mesafesinin ve bağlantı şeklinin rölenin hatalı çalışmasında önemli bir etken olduğu ve modelde kullanılan devre için Şekil 15' de de görüldüğü üzere kablo kaynaklı doğal kaçak akım artışının kablo mesafesiyle ve bağlantı şekliyle doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Bu çalışmada kablo geometrisi kaynaklı kapastif kaçak akımların mesafeye bağlı olarak arttığı görülmüştür. Bununla birlikte, model devrede yükün yıldız noktası koruma topraklaması olan PE ile topraklanmış olduğundan böyle bir devrede kaçak akım rölesi üç faz ve nötr devresini kapsayacak şekilde ve yükün yıldız noktası PE iletkenine bağlı olduğundan, PE iletkeninden nötre dönen yıldız noktası akımı, rölenin çalışma prensibi olan vektörel toplama girmeyeceğinden, kaçak akım rölesi hatalı açmalar yapacaktır. Bu tür bir sistemde kaçak akım rölesi kullanılacaksa yükün yıldız noktası ya hiç topraklanmamalı ve röle sadece üç faz olarak bağlanmalı veya yıldız noktasının topraklanması gerekli ise bu topraklama, TT Şebeke şartını bozmadan nötr ile yapılmalıdır. Bu durumda nötrün gövdeden izole edildiğinden emin olunmalıdır. Bu sebeple projeci veya uygulamacı TT Şebekede kaçak akım rölesi uygulayacağı üç fazlı sistemlerde, kaçak akım rölesinden nötrün geçirilip geçirilmeyeceğine, nötrün yük tarafında kullanılıp kullanılmaması durumuna göre karar vermelidir. Nötr yük tarafındaki devrede kullanılacaksa, Kaçak akım rölesinden faz iletkenleriyle birlikte geçirilmeli ve devredeki bütün aktif devre nötr dönüşleri bu nötr iletkenine bağlanmalıdır. Özellikle kaçak akım rölesi ile korunan üç fazlı yükte, yükün yıldız noktasının, topraklanıp topraklanmayacağı da göz önündeeeeedododo önünde bulunduru önünde önünde önün önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca bu bölümde yapılan analizde de görüldüğü üzere röle ile yük arasındaki kablo mesafesinin, kablodaki kapastif etkilerden kaynaklı dengesizlik akımlarını artırdığı ve dolayısıyla iletkenlerin gerek karşılıklı, gerekse de toprağa göre olan kapasitanslarından dolayı, kapastif kaçak akımlarını mesafeye bağlı olarak arttığı görülmüştür. Bu faktörün, kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına etkisini önlemek için, kaçak akım rölesi, yüke oldukça yakın mesafelerde konumlandırılmalıdır.

4.1.2. TT Şebekelerde, üç fazlı, sistemde yük değişimine bağlı olarak faz akımlarında oluşan hatalı kaçak akımların incelenmesi.

Şekil 14' de görülen eş değer devre modelinde kablo 75 metre olarak sabit tutulup, yük empedansı değiştirilerek Tablo 4 ve Şekil 16'da görülen tablo ve grafiklerde dengeli yükün çektiği faz akımları ve yıldız noktasından toprağa akan dengesizlik akımları değerleri kaydedilmiştir. Mesafeye bağlı etkilerin incelendiği bölümdeki gibi yük ideal dengeli olduğu için, faz akımlarının vektörel toplamından oluşan ve yıldız noktasından toprağa akan bu akım tamamen kablo empedans dengesizliğinden kaynaklanmış ve yük değişimine bağlı olarak arttığı gözlenmiştir.

Tablo 4 : TT Şebeke de yıldız bağlı 3 fazlı sabit mesafede, değişen yük empedans değerlerinde yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi tablosu

Gerlim	Sistem	Yük Tipi	Mesafe	besleme kablosu	Yük R 3 Fazlı yıldız (ohm)	Yük R 3 Fazlı 2,4ohm :1 br yük ise	A faz Akımı IA (Amper)	B faz Akımı IB (Amper)	C faz Akımı IC (Amper)	Yıldız noktasından akan akım (mAmper)
380V	TT	3faz yıldız bağlı omik yük	sabit 75 metre	3*35+16+shit NYY-NYFGBY	30	0,080	10,82	10,82	10,82	2,2
					20	0,120	16,21	16,21	16,21	4,74
					10	0,240	32,33	32,33	32,34	18,5
					5	0,480	64,27	64,3	64,33	73
					3	0,800	106,28	106,36	106,44	183
					2,4	1,000	132,19	132,32	132,45	276
					1,9	1,263	165,91	166,09	166,3	420
					1,5	1,600	208,44	208,73	209,04	635
					1	2,400	306,74	307,35	307,96	1254
					0,5	4,800	580,68	582,62	584,59	3605
					0,3	8,000	903,37	907,5	911,99	7081



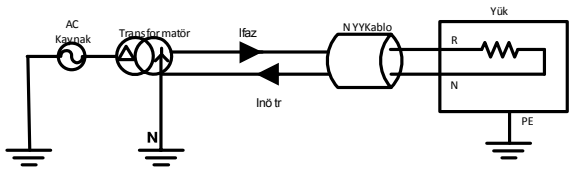
Şekil 16 : TT Şebeke de yıldız bağlı 3 fazlı sabit *mesafede, değişen yük empedans değerlerinde yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi grafiği.*

Bu kısımdaki çalışma ile, kaçak akım rölesi kullanılacak olan sistemlerde, yük miktarının değişimi kablolardaki dengesiz empedanslardan dolayı, doğal kapastif kaçak akımların artışında etkili olduğu görülmüştür. Şekil 16'da görüldüğü üzere yük miktarının artışı, kablo empedans dengesizliğine bağlı hata akımlarının artışına doğrudan etki etmektedir. Çalışmada Tablo 6'da görüldüğü üzere yük miktarının artması, kaçak akımlara sebep olmaktadır. Böyle bir durumda sistem de bulunan kaçak akım röleleri görevi dışında doğal kaçak akımlardan dolayı hatalı açmalar yapacaktır. Model devrede yükün yıldız noktası koruma topraklaması olan PE ile topraklanmış olduğundan devrede kaçak akım rölesi üç faz ve nötrü kapsayacak şekilde bağlandığında, yükün yıldız noktası PE iletkenine bağlı olduğundan, PE iletkeninden nötre dönen yıldız noktası akımı, rölenin çalışma prensibi olan vektörel toplama girmeyeceğinden, kaçak akım rölesi hatalı açmalar yapacaktır. Bu tür bir sistemde kaçak akım rölesi kullanılacaksa yükün yıldız noktası ya hiç topraklanmamalı ve röle sadece üç faz olarak bağlanmalı veya yıldız noktasının topraklanması gerekli ise bu topraklama, TT Şebeke şartını bozmadan nötr ile yapılmalıdır. Bu durumda nötrün gövdeden izole edildiğinden emin olunmalıdır. Bu sebeple projeci veya uygulamacı TT Şebekede kaçak akım rölesi uygulayacağı üç fazlı sistemlerde, kaçak akım rölesinden nötrün geçirilip geçirilmeyeceğine, nötrün yük tarafında kullanılıp kullanılmaması durumuna göre karar vermelidir. Nötr yük tarafındaki devrede kullanılacaksa, Kaçak akım rölesinden faz iletkenleriyle birlikte geçirilmeli ve devredeki bütün aktif devre nötr dönüşleri bu nötr iletkenine bağlanmalıdır. Özellikle kaçak akım rölesi ile korunan üç fazlı yükte, yükün yıldız noktasının, topraklanıp topraklanmayacağı da göz önünde bulundurulmalıdır. Mesafeye bağlı etkiler de olduğu gibi projeci veya uygulamacı, kaçak akım rölesi uygulayacağı sistemin bağlantı şeklini, yük miktarını ve besleme kablosu mesafesini birlikte değerlendirerek uygulama yapmalıdır. Kaçak akım uygulaması yapılacak sistemde; koruma rölesi ile yük arasında ki mesafe ve yük miktarının sistemde oluşturacağı kablo kapastif kayıplarına bağlı doğal kaçak akımlar dikkate almalıdır.

.

4.1.3. TT Şebekelerde gerilim harmoniği ve kablo mesafesine bağlı olarak kaçak akımın değişimi.

Şekil 17'de görülen TT Şebeke sistemin de tek fazlı olarak modellenen devrede 2x10mm² NYFGBY kablodan tek fazlı 4ohm değerindeki sabit omik yük beslenmekte iken, kablo kapasitif kaçak akımların şebeke gerilim frekansına bağlı olan değişimi, kablo mesafesi ve gerilim harmoniklerini simgeleyen şebeke geriliminin frekansları artırılarak oluşan faz nötr akım farkı (Doğal kaçak akım) değerleri kaydedilmiştir. Devre deki kaçak akım miktarları ATP programı fark alma özelliğiyle elde edilmiş, farklı frekans ve kablo mesafesi değerleri için bu metot tekrar edilerek parametrik analiz yapılmıştır.



Şekil 17 : TT Şebekede Tek fazlı yük sistemi modeli.

Model devrenin üzerinde yapılan çalışmada Tablo 5'de görülen veriler elde edilmiştir. Bu verilere göre tek fazlı bir sistemde faz iletkeni ile nötr iletkeni akımı bir birine eşit olması gerekirken iki akım arasında bir fark olduğu görülmüştür. Bu fark akımlar bilinen manada bir hata akımı değil, kabloların kapasitansları ve gerilim harmonik frekansları etkisiyle değişen doğal kaçak akımlardır. Devredeki kaçak akım IΔ, ATP programında

$$I\Delta = Ifaz - Inötr \qquad (13)$$

İşlemiyle elde edilmiştir. Tablo 5'de görüleceği üzere bu akımlar gerilim harmonik frekansı ve kablo mesafesinin artışına bağlı olarak artmaktadır. Kaçak akım rölelerinin normalde bir izolasyon hatası olmadığı halde 3030mA değerindeki kaçak akım rölesinin eşik değerine ulaşabilecek bu türden bir durumda rölenin hatalı açma yapabileceği görülmektedir.

Tablo 5: Gerilim harmoniklerinin mesafeye bağlı olarak kaçak

akımlara etkisi.

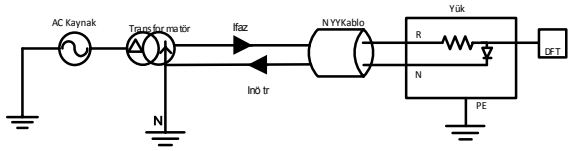
TT 1 Faz Sistem	Kablo Mesafesi (Mt.)							
Frekans(Hz)	10	40	75	150	300	500	750	1000
50	0,1	0,4	0,75	1,5	3	5	7,5	10
150	0,318	1,272	2,385	4,77	9,54	15,9	23,85	31,8
250	0,53	2,12	3,975	7,95	15,9	26,5	39,75	53
350	0,742	2,968	5,565	11,13	22,26	37,1	55,65	74,2
550	1,18	4,72	8,85	17,7	35,4	59	88,5	118
750	1,62	6,48	12,15	24,3	48,6	81	121,5	162
950	2,07	8,28	15,525	31,05	62,1	103,5	155,25	207
1350	3,21	12,84	24,075	48,15	96,3	160,5	240,75	321
1550	3,66	14,64	27,45	54,9	109,8	183	274,5	366
	1.Bölge		2.Bölge	3. Bölge				

Bu çalışma ile Tablo 5'deki tabloda görüldüğü üzere sistemlerdeki gerilim harmoniğinin varlığı, kablo mesafesine bağlı olarak devrede ki doğal kaçak akımları artırdığı görülmektedir. Ayrıca Mesafe ve Harmonik frekansının artışı sistemdeki doğal kaçak akım miktarını logaritmik olarak artırdığından, bu tür etkilerin olabileceği yerlerde ve devrelerde harmonik değerler ve mesafe etkileri göz önünde bulundurularak kaçak akım röle projelendirmesi ve tesisi

yapılmalıdır. Bu çalışmada Gerilim harmonik frekans değerlerinin röle ile yük arasındaki kablo mesafesiyle birlikte Tablo5'deki gibi üç bölgeli bir kaçak akım etkisi oluşturduğu görülmektedir. Birinci bölgede gerilim harmonik frekansının kaçak akım rölesi açısından bir sakınca oluşmadığı, İkinci bölgede 30mA değerindeki röleler açısından riskli bölge olduğu ve üçüncü bölgede ise 30mA değerindeki rölelerin çalışamayacağı görülmektedir. Bu değerlere göre, örneğin bir mesken tesisatında yaklaşık otuz adet priz ve aydınlatma sortisi olduğunu ve her sortinin de ortalama on metre uzunluğunda olduğu kabul edildiğinde tek bir kaçak akım rölesi çıkışında yaklaşık dört yüz elli metre uzunluğunda kablo olacaktır. Bu miktardaki bir kabloda üçüncü gerilim harmoniği nin olması durumunda, Tablo 5'e göre 30mA'e yakın harmonik kaynaklı doğal kaçak akım geçeceği ve bu akımında kaçak akım rölesinin hatalı çalışmasına sebep olabileceği görülmektedir. Bu nedenle kaçak akım kurulacak tesislerdeki harmonikler projeci veya uygulayıcı tarafından planlama aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır.

4.1.4. TT Şebekelerde akım harmoniği ve kablo mesafesine bağlı olarak kaçak akımın değişimi.

TS EN 61000-3-2 standardında faz başına 16A'den küçük, tek fazlı veya üç fazlı yüklerin harmonik akım sınırlarını, TS EN 61000-3-4 standardı ise faz başına 16A'den büyük yükler için harmonik akım sınırlarını düzenlemektedir. [13] Bu standarda göre cihazların üreteceği harmonikler sınırlandırılmıştır. Fakat uygulamada gerek tesis bazlı çözümler gerekse de bozunumlar nedeniyle ve tesisin faaliyetinden, kaynaklı yüksek harmonik değerlerle karşılaşılmaktadır. Bu tür cihaz veya cihazların ürettikleri harmonikler de kaçak akım koruma rölelerinin fonksiyonu dışında hatalı açmalarına sebep olabilmektedir.

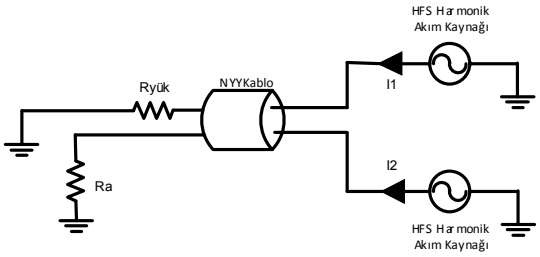


Şekil 18 :TT Şebekede yarım dalga doğrultuculu devre

Bu bölümde bu durumun incelenmesi için şekil 18'deki gibi tek faz yüklü bir devre modellenmiştir. Tek fazlı rezistif yüklü devreye yarım dalga doğrultucu ekleyerek devrede oluşan tek ve çift dereceli harmonikler DFT ölçü modeliyle tespit edilmiş, bu harmoniklerden dolayı oluşan

$$I\Delta(DFT) = Ifaz - Inötr \qquad (14)$$

akımının yani kaçak akımın rms değeri kayıt edilmiştir. Daha sonra 22. harmoniğe kadar kaydedilen bu harmonik akımlar Şekil 19'da görülen harmonikli akım kaynağı (HFS) ile oluşturulan devreye dönüştürülerek iki devrenin sonuçları karşılaştırılmıştır



Şekil 19 : TT Şebekede HFS akım harmoniği kaynaklı model devre.

Şekil 19'daki devrede HFS kaynağa girilen harmonik akımların sistemde oluşturacağı IΔ (HFS) doğal kaçak akımlar;

$$I\Delta(HFS) = I1 - I2 \qquad (15)$$

rms değerleri kayıt edilmiştir. Yarım dalga doğrultuculu devre kaçak akım değeri ile HFS kaynaklı devrenin kaçak akım sonuçları karşılaştırıldığında 0,75 mA değerin de eşit olduğu görülmüştür.

Böylelikle Şekil 19'daki HFS Harmonik kaynaklı model devrenin akım harmoniklerinin kaçak akımlara etkisini araştırmada parametrik analiz için kullanılabileceğine karar verilmiştir. Akım harmoniğinin farklı yüzde değerleri ve frekans değerleri için oluşan kaçak akımlar bu model devre ile parametrik analizle elde edilmiştir. Her bir harmonik frekansı için Harmonik akım genlikleri %1 den %20'ye ve yük-kablo mesafesi de 10 metreden 1000 metreye kadar değiştirilerek akım harmoniklerinin kaçak akımlara etkisi incelenmiştir. 2,3,4 ve 5. akım harmonikleri için yapılan bu çalışmada akım harmoniklerinin derecesi arttıkça doğal kapastif kaçak akımların da arttığı görülmüştür.

Aşağıda Tablo 6'da görüldüğü üzere tek fazlı sistemlerde olabilen ikinci harmoniğin kaçak akımlara etkisi görülmektedir. İkinci akım harmoniğinin genliği arttıkça devredeki kaçak akım miktarı da artmaktadır. Yine ikinci harmonik olan bir devrede kablo mesafesi uzadıkça da devredeki kaçak akım miktarının arttığı görülmektedir. Mesafe atışı ve akım harmoniğinin yüzde genlik artışına göre kaçak akım değişimleri Tablo 6'daki gibidir. Ayrıca bu çalışmada 30mA değerinde bir kaçak akım rölesi için Tablo 6 üzerinde üç bölgeli bir çalışma şekli belirlenmiştir. Bu bölgelerden 1. Bölge güvenli, 2.Bölge riskli ve 3. Bölge ise 30mA kaçak akım rölesinin çalışamayacağı bölge olarak işaretlenmiştir.

Tablo 6:TT Şebekede tek fazlı sistemde 2. harmoniğin kaçak akıma etkisi.

1+2.Harmonik		% IHD	(10-1000Mt.) Kablo Mesafesi (Mt.)								
1.Harmonik In(A)=	36,799		10	30	70	100	200	400	600	800	1000
1.Akım Harmoniğinin tamamı + 2.Akım harmoniğinin farklı % değerleri için devrede oluşan kaçak akım (mA)	3,68	10%	0,2	0,6	1,3	1,9	3,7	7,5	11,2	14,9	18,6
	7,36	20%	0,2	0,6	1,4	2,0	4,0	7,9	11,8	15,8	19,7
	14,72	40%	0,2	0,7	1,6	2,3	4,7	9,4	14,1	18,7	23,4
	29,44	80%	0,4	1,0	2,4	3,4	6,9	13,8	20,7	27,6	34,5
	44,16	120%	0,5	1,4	3,3	4,8	9,5	19,0	28,5	38,1	47,6
	55,20	150%	0,6	1,7	4,0	5,8	11,6	23,1	34,7	46,3	57,9
			1.Bölge					2.Bölge	3.Bölge		

Tablo 7'de üçüncü harmoniğin kaçak akımlara etkisi görülmektedir. 3. Harmoniğin genliği arttıkça ve devredeki kablo mesafesi uzadıkça devredeki kaçak akım miktarı artmaktadır. Mesafe artışı ve akım harmoniğinin yüzde genlik artışına göre kaçak akım değişimleri Tablo 7'deki gibidir. 30mA değerinde bir kaçak akım rölesi için Tablo 7 üzerinde üç bölgeli bir çalışma şekli belirlenmiştir. Bu bölgelerden 1. Bölge güvenli, 2.Bölge riskli ve 3. Bölge ise 30mA kaçak akım rölesinin çalışamayacağı bölge olarak işaretlenmiştir.

Tablo 7: TT Şebekede tek fazlı sistemde 3. harmoniğin kaçak akıma etkisi.

1+3.Harmonik		% IHD	(10-1000Mt.) Kablo Mesafesi (Mt.)								
1.Harmonik In(A)=	36,799		10	30	70	100	200	400	600	800	1000
1.Akım Harmoniğinin tamamı + 3.Akım harmoniğinin farklı % değerleri için devrede oluşan kaçak akım (mA)	3,68	10%	0,191	0,573	1,337	1,910	3,820	7,639	11,459	15,3	19,1
	7,36	20%	0,213	0,640	1,493	2,133	4,267	8,534	12,801	17,1	21,3
	14,72	40%	0,286	0,857	2,000	2,858	5,716	11,431	17,147	22,9	28,6
	29,44	80%	0,476	1,427	3,330	4,757	9,513	19,026	28,539	38,1	47,6
	44,16	120%	0,684	2,051	4,785	6,836	13,671	27,342	41,013	54,7	68,4
	55,20	150%	0,84325	2,52975	5,90275	8,4325	16,865	33,73	50,595	67,5	84,3
			1.Bölge				2.Bölge	3.Bölge			

Tablo 8'de görüldüğü üzere tek fazlı sistemlerde oluşabilen çift dereceli harmoniklerden dördüncü harmoniğin kaçak akımlara etkisi görülmektedir. Mesafe ve akım harmoniğinin genliği arttıkça devredeki kaçak akım miktarı da artmaktadır. Mesafe artışı ve akım harmoniğinin yüzde genlik artışına göre kaçak akım değişimleri Tablo 8'deki gibidir. 30mA değerinde bir kaçak akım rölesi için Tablo 8 üzerinde üç bölgeli bir çalışma şekli belirlenmiştir. Bu bölgelerden 1. Bölge güvenli, 2.Bölge riskli ve 3. Bölge ise 30mA kaçak akım rölesinin çalışamayacağı bölge olarak işaretlenmiştir. 4. Harmonikli bir sistemde 30mA değerindeki bir kaçak akım rölesinin çalışma bölgeleri Tablo 10 da ki gibidir.

*Tablo 8:*TT Şebekede tek fazlı sistemde 4. harmoniğin kaçak akıma etkisi.

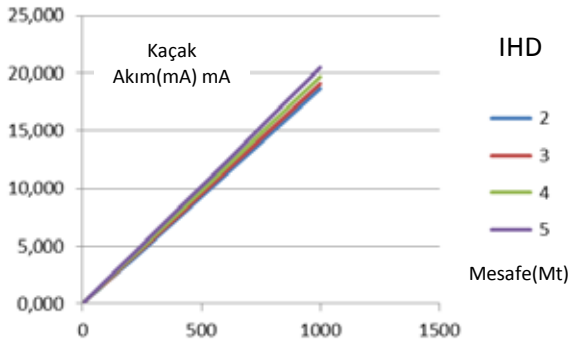
1+4.Harmonik		% IHD	(10-1000Mt.) Kablo Mesafesi (Mt.)								
1.Harmonik In(A)=	36,799		10	30	70	100	200	400	600	800	1000
1.Akım Harmoniğinin tamamı + 4.Akım harmoniğinin farklı % değerleri için devrede oluşan kaçak akım (mA)	3,68	10%	0,2	0,6	1,4	2,0	4,0	7,9	11,8	15,8	19,7
	7,36	20%	0,2	0,7	1,6	2,3	4,7	9,4	14,1	18,7	23,4
	14,72	40%	0,3	1,0	2,4	3,5	6,9	13,8	20,7	27,6	34,5
	29,44	80%	0,6	1,8	4,3	6,1	12,3	24,5	36,8	49,1	61,3
	44,16	120%	0,9	2,7	6,3	9,0	17,9	35,9	53,8	71,8	89,7
	55,20	150%	1,1	3,3	7,8	11,1	22,3	44,5	66,8	89,0	111,3
			1.Bölge				2.Bölge	3.Bölge			

Son olarak Tablo 9'da beşinci harmoniğin kaçak akımlara etkisi görülmektedir. Akım harmoniğinin genliği arttıkça devredeki kaçak akım miktarı da artmaktadır. Yine beşinci harmonik olan bir devrede kablo mesafesi uzadıkça devredeki kaçak akım miktarı artmaktadır. Mesafe artışı ve akım harmoniğinin yüzde genlik artışına göre kaçak akım değişimleri Tablo 9'daki gibidir. 30mA değerinde bir kaçak akım rölesi için Tablo 9 üzerinde üç bölgeli bir çalışma şekli belirlenmiştir. Bu bölgelerden 1. Bölge güvenli, 2.Bölge riskli ve 3. Bölge ise 30mA kaçak akım rölesinin çalışamayacağı bölge olarak işaretlenmiştir.

Tablo 9 : TT Şebekede tek fazlı sistemde 5. harmoniğin kaçak akıma etkisi.

1+5.Harmonik		% IHD	(10-1000Mt.) Kablo Mesafesi (Mt.)								
1.Harmonik In(A)=	36,799		10	30	70	100	200	400	600	800	1000
1.Akım Harmoniğinin tamamı + 5.Akım harmoniğinin farklı % değerleri için devrede oluşan kaçak akım (mA)	3,68	10%	0,203	0,610	1,428	2,040	4,090	8,180	12,270	16,4	20,5
	7,36	20%	0,259	0,776	1,811	2,587	5,174	10,348	15,522	20,7	25,9
	14,72	40%	0,409	1,227	2,863	4,09	8,18	16,36	24,54	32,7	40,9
	29,44	80%	0,7543	2,2629	5,2801	7,543	15,086	30,172	45,258	60,3	75,4
	44,16	120%	1,112875	3,338625	7,790125	11,12875	22,2575	44,515	66,7725	89,0	111,3
	55,20	150%	1,376177	4,1292078	9,6664078	13,809154	27,686	55,372	83,058	110,7	138,4
			1.Bölge				2.Bölge	3.Bölge			

Bu bölümdeki çalışma ile gerilim harmoniğinde olduğu gibi, sistemlerde ki akım harmoniğinin de, kapastif doğal kaçak akımları artırdığı görülmüştür. Akım harmoniği belirli bir değerin üzerinde olan yerlerde ve devrelerde akım harmonik değerleri göz önünde bulundurularak kaçak akım röle projelendirmesi ve tesisi yapılmalıdır. Bu akımların Tablo 6-9 incelendiğinde harmonik derece arttıkça kapastif kaçak akımların artacağı ve bu kablo kapastif kaçak akımların sistemdeki kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına sebep olacağı görülmüştür. Şekil 20'de farklı akım harmoniklerinin %10 luk değerinde mesafeye bağlı olarak devredeki kaçak akım değişimi görülmektedir. Bu özet tabloda da görüldüğü üzere harmonik derece arttıkça mesafeyle doğru orantılı olarak kablodaki kaçak akımlarda artmaktadır.



Şekil 20:TT Şebekede akım harmoniklerine bağlı kaçak akım değişimleri

Bu çalışmada TN ve IT Şebeke tipleride incelenmiş olup sonuçları itibariyle TN Şebekeyle TT Şebeke sonuçları yakınsadığı için burada ayrıca verilmemiştir. IT Şebekede ise her iki durumunda harmoniklerin ve kablo kapasitanslarının doğal kaçak akım oluşumunda etken olmadığı görülmüştür.

5. Sonuç

Kaçak akım koruma rölelerinin endüstriyel tesislerde kullanımında rölelerin hatalı seçimi veya hatalı çalışmaları nedeniyle sorunlar yaşandığı ve bu gerekçe ile çoğunlukla tesislerde ya hiç kurulmadığı ya da kurulsa da iptal edilerek devre dışı bırakıldığı görülmüştür. Bu sebeple rölelerin hatalı seçimi veya hatalı çalışmalarına etki eden faktörler bu çalışmanın temel amacı olarak gerek idari yönetmelikler açısından, gerekse de teknik yönden detaylı bir şekilde incelenmiştir.

İdari yönden hatalı seçim veya hatalı çalışmalara etki eden faktörler incelendiğinde, yönetmeliklerin endüstriyel tesis ile mesken ayırımı yapılmadan, genel hükümler içermesi ve her koruma devre mantığının en küçük tesis birimi olan meskene indirgenerek verilmesi olarak özetlenebilir. Bu karmaşa ve aşırı hassas bölge de kalma eğilimi ile yazılan talimatlar özellikle endüstriyel, ticari tesis proje ve uygulamalarında, uygulaması imkansız sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Örneğin Elektrik iç tesisleri yönetmeliği madde 18 bunun en somut örneğidir. Madde 18 de yapı sınırları tarifi, çok basit yapılar hariç tüm yapıları kapsayacak şekilde yapılmıştır. Bu maddeye göre kofra veya girişte yangın koruma rölesi (300mA KAR), Kolon hatlarında ise hayat koruma rölesi (30mA KAR) kullanılması zorunlu kılmıştır [4]. Çalıma içerisinde de görüleceği üzere endüstriyel yerlerde bu değerlerdeki normalde kaçak olmayan doğal kaçak akımlar, sadece bir makinanın hatta bazı durumlarda 75 metre uzunluğundaki 3x35+16mm² kablonun tek başına çekebileceği doğal kaçak akımlardır. Bu nedenle bu yönetmelik maddesinin bir çok ticari ve endüstriyel tesis de uygulanması imkansız görülmektedir.

Bir diğer idari yönetmelik maddesi ise 2013 yılında çıkan İş güvenliği yönetmeliğinde ki EK1- 8. maddedir. Bu maddeye göre "Ana ve Tali Panolara seçicilik ilkesine uygun kaçak akım rölesi tesis edilir" denmektedir [6]. Bu maddeye göre iş yeri tanımına giren yerlerde, tüm ana ve tali dağıtım panolarına yani tesislerin tümünde kaçak akım koruma sistemi zorunlu kılınmıştır. Bu madde oldukça geniş bir alanı kapsayan çok genel bir ifade olması nedeniyle uygulamada çelişkiler doğurmaktadır. Madde de geçen seçicilik ilkesi şartı akım ve açma zamanı olarak algılanmaktadır. Bu seçicilik ilkesi ile iç tesisleri yönetmeliği madde 18'deki 30mA ile 300mA aralığındaki sınır şartında bir seçicilikten bahsediliyorsa bu değerler ile endüstriyel tesislerde kaçak akım koruma sistemi tesis etmek yüksek doğal kaçak akımlardan dolayı imkansız olacaktır. Bu madde de tek başına herhangi bir değer telaffuz edilmemiştir. Görüldüğü üzere idari yönetmelikler de, kaçak akım rölelerinin hatalı uygulanmalarına ve dolayısıyla hatalı çalışmalara sebep olabilmektedir. Sanayi olarak gelişen ve büyüyen ülkemizde, yürürlükteki teknik kanun ve yönetmeliklere bu açıdan baktığımızda, çelişkiye meydan vermeyecek, daha fazla detaya ihtiyaç olduğu görülmektedir. Özellikle ticari ve endüstriyel tesislerdeki elektrik güvenliği için yeni düzenlemelere, uluslararası standartlara uygun yönetmelik güncellemelerine ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasında uygulamalardan ve teknik sebeplerden kaynaklı hata sebepleri de incelenmiştir. Güvenli bir elektrik koruma sistemi tesisi için, koruma devresinin hatalı çalışma sebeplerinin gerek tasarımcı gerekse de uygulamacı tarafından biliniyor olması önemlidir. Gerçek endüstriyel tesisler incelendiğinde en sık karşılaşılan uygulama hataları olarak röle seçimi ve bağlantı hatalarının olduğu görülmüştür. Koruma sistemi seçiminde uygulama yapılacak sistemdeki çarpılma riski ve çarpılma senaryosu analiz edilmeli ve o sistem için koruma türlerinden hangisi veya hangilerinin yeterli olabileceği belirlenmelidir. Koruma sisteminin uygunluğunun denetleniyor olması da ayrıca bir gerekliliktir. Doğrudan temas riski önlenmiş sistemlerde koruma sistemi olarak kaçak akım sistemleri kullanılacaksa, "en iyi koruma 30mA dir" diye genel bir yaklaşımla tesisin tümünü dizayn etmek, çalışmada da de işlendiği üzere bir çok sebepten ötürü imkansızdır. Her makinanın, hattın, devrenin kendine özgü doğal kaçak akımları vardır ve bu akımlar kaçak akım koruma rölesi projecisi ve uygulamacısı tarafından öngörülmelidir. Bunun yanında rölelerin hatalı çalışmasında tesislerin kendi yapısı, çevre şartları ve sistem kaynaklı hatalarda oldukça fazladır. Kaçak akım rölelerinin hatalı çalışması ile ilgili yapılan çalışmalarda harmonikler, iletken kapasitansları, filtre devreleri, yüksek gerilim anahtarlama arıza pikleri, yıldırımlar, yüksek frekanslı elektro manyetik dalgalar, radyo dalgaları gibi birçok faktörün kaçak akım koruma sistemlerini olumsuz etkileye bileceği görülmüştür[11]. Bu çalışmada kablo geometrisi kaynaklı kapasitif etkiler ve harmoniklerin etkisi incelenmiş ve tesislerdeki doğal kaçak akımların varlığı similasyonlar ve yapılan ölçümlerle gösterilmiştir. İncelemeler de kablo diziliş geometrisinden kaynaklı empedans dengesizlikleri, doğal kapasitansları ve tesiste bulunan akım-gerilim harmonik frekanslarının varlığının kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına sebep olabildiği görülmüştür. Çalışmada ATP Programında modellenen devrelerde kablo mesafesi ve yük miktarına bağlı olarak kabloların doğal kapasitanslarından kaynaklı kaçak akımlar oluştuğu görülmüş ve bu akımların bilinen manada dokunma gerilimine sebep olabilecek bir kaçak akım olmadığı ve bu faktörler göz önünde bulundurulmadan kurulan kaçak akım koruma sistemlerinde hatalı açmaların oluşacağı kanaatine varılmıştır. Bu sebeple iletken empedans dengesizliği ve iletken kapasitanslarının da yük ve mesafe ilişkisi göz önünde bulundurularak, kaçak akım koruma sistemleri projelendirme ve uygulamalarında birer faktör olarak göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

6. Kaynaklar

[1] (İMO)İnşaat Mühendisleri Odası, *(SGK) İş kazaları istatistikleri. TMH-469,* ANKARA: İMO, 5/2011.

[2] SGK, *İş Kazaları istatistikleri.,* Ankara, 2013.

[3] (İBB) İstanbul Büyük Şehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı., *2008-2013 Yıllarındaki Yangın istatistikleri.,* İstanbul: İBB, 2013.

[4] Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı., *Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği,* ANKARA: 18565 sayılı Resmi Gazete., 04.11.1984.

[5] Enerji Bakanlığı, *Topraklama tesisat yönetmeliği,* ANKARA: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 21.08.2001.

[6] (ÇASGB) Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, *İşyeri Bina Ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık Ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik.,* Ankara: 28710 sayılı Resmi Gazete. , 17.07.2013.

[7] G. E.-E. F.-J. C.-C. R.-B. Carlos Roldán-Porta, « Residual current circuit breaker Nuisance tripping Power quality faults.,» *Elsevier B.V.,* 19 09 2013.

[8] Y. X. W. a. M. C. Xiang Lou, «Tripping Characteristics of Residual Currents.,» *IEEE Transactıons on ındustry applıcatıons.,* p. 47, 3 Mayıs 2013.

[9] CAN/AM EMTP USER GROUP, «Alternative Transients Program (ATP) Rule Book,» 1992.

[10] R. C. Bernard LACROIX, *Earthing systems in LV.,* Schneider Electric, Cahier technique no. 172.

[11] Schenider Electric, «Electric shock,» 10 12 2013. [Çevrimiçi]. Available: http://www.electrical-installation.org/enwiki/Electric_shock. [%1 tarihinde erişilmiştir27 5 2015].

[12] IEC 6008-1, «Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCBs) - Part 1: General rules,» *IEC,* 11 02 2011.

[13] TSE, *TS HD 60364-6,* TSE, 27.03.2007.

[14] Schineder Electric., *Low Voltage Vigirex Residual-current protection relay.,* France: Schineder Electric., 2012.

[15] Mors Smitt, «http://www.morssmitt.nl/,» Mors Smitt, 2015. [Çevrimiçi]. Available: http://www.morssmitt.nl/catalogus/?v=4&lid=2&productid=133. [%1 tarihinde erişilmiştir21 08 2015].

[16] Milliyet Gazetesi Haber Sitesi., «Sokak ortasında inanılmaz ölüm.,» 16 09 2014. [Çevrimiçi]. Available: http://www.milliyet.com.tr/sokak-ortasinda-inanilmaz-olum--gundem-1940672/. [%1 tarihinde erişilmiştir11 05 2015].

[17] UNİ-T, «http://www.uni-trend.com.cn/en/,» UNI-T Teknoloji Co, [Çevrimiçi]. Available: http://www.uni-trend.com.cn/en/. [%1 tarihinde erişilmiştir22 08 2015].

[18] HES Kablo, «Hes Kablo Kataloğu,» [Çevrimiçi]. Available: http://www.hes.com.tr/images/user_uploaded_files/katalog-35MB.pdf. [%1 tarihinde erişilmiştir15 04 2015].

[19] S. Czapp, « The effect of earth fault current harmonics on tripping of residual current devices,» *in Proc. Int. School Non sinusoidal Currents Compensation,* pp. 1-6, 13 10 2008.

[20] IEC 60479-1, «Effects of current on human beings and livestock - Part 1: General aspects,» *IEC,* 13 07 2005.

[21] IEC 60947-1, «Low-voltage switchgear and controlgear - Part 1: General rules,» *IEC,* 30 03 2011.

ELEKTRİK KONTROL MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU-IV

Oturum Yöneticisi: Prof. Dr. Selim Şeker (Boğaziçi Üniversitesi)

Türkiye'de Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendislik Eğitimi
Prof. Dr. Hasan Dinçer (Beykent Üniversitesi)..... 188

Aşırı Öğrenme Makinesi ve Derin Boltzmann Makinesi Üzerine Bir İnceleme
Yrd. Doç. Dr. Bahadır Karasulu (Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi)..... 199

Kurşun-Asit Batarya Şarjı için DA-DA Buck Dönüştürücü Tasarımı ve Gerçeklenmesi
Yrd. Doç. Dr. Şule Kuşdoğan, Büşra Çeçen (Kocaeli Üniversitesi)..... 207

Simülasyonda Robotlu Uygulama
Senem Tanberk, Kerem İzgöl, Özgür Acar, Yrd. Doç. Dr. Dilek Tükel (Doğuş Üniv)..... 213

Türkiye'de Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendislik Eğitimi
The education of Electrical and Computer engineering in Turkey

Hasan Dinçer
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü Mühendislik – Mimarlık Fakültesi
Beykent Üniversitesi hdincer2@gmail.com

Özet

Bu çalışmada, Elektrik Bilimleri Dalındaki Mühendislik (EBDM) eğitimi incelenmiştir. Mühendislik eğitiminde yaşanılan bazı problemler sunulmuş ve çözüm önerileri verilmiştir. Hedeflenen mühendisin özellikleri, üniversite eğitiminin temel amaçları ve ülkenin hızla gelişmesi hedefi göz önüne alınarak, EBDM eğitimi altı farklı alt bölümde incelenmiştir.

Öğrencileri, Teknoloji Üretebilecek Mühendis olarak eğitmek gerekmektedir. Mühendisler mesleki ve sosyal kültüre sahip olmalıdırlar. Gelişmekte Olan Teknolojiler ve Büyük Buluş Tabanlı Teknolojiler gibi yeni teknolojileri Öğrencilere mühendislik öğreniminin birinci yılından itibaren adım adım öğreterek, öğrencilerin teknolojiye karşı ilgi ve merakını artırmak gerekir.

Üniversiteler, imkanları doğrultusunda, çalışmalarında mantıksal çıkarıma dayalı düşünce biçimini temel alan bilim insanlarını, bilimin temel felsefesini benimsemiş doktora derecesine sahip (Ph.D.) AR-GE araştırmacılarını yetiştirmekle yükümlüdür. Teknoloji Üretebilecek Mühendislerin (TUM) eğitiminde bir konunun iyi öğrenilmesi, Proje ve Problem Temelli Eğitim ile daha iyi bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

Bazı üniversitelerde Proje ve Ödev Temelli Öğrenim Uygulamaları yapılmaktadır. Türkiye'de mühendislik eğitiminin kalitesinin yükseltilmesine katkıda bulunmak için bütün Mühendislik fakülteleri MÜDEK akreditasyonunu almalıdır. Beklenen özelikteki bir EBD mühendisin iş alanları yatay gruplamada 8 grup ve dikey gruplamada 93 gruba ayrılabilir.

Abstract

In this study, education of Electrical Engineering Science Branches (EBDM) were examined. Some problems experienced in Engineering education been presented and solutions are given.Targeted engineer's specifications, the fundamental purpose of university education and objective of the rapid development of the country taking into consideration, EBDM education was examined in six different sections.

Students are required to educate as an engineer that can produce technology. Engineers must have the professional and social culture. Emerging technologies and new technologies such as Breakthrough Technologies to teach the students step by step from the first year of engineering education, we need to increase the students' interest and curiosity towards technology.

Universities, in line with the facilities, work based on logical deduction based on the thinking of the scientists, the science has embraced the basic philosophy of having a doctoral degree (Ph.D.) is obliged to educate their R & D researchers. The mastery of a subject in the training of engineers that can be produce technology (TUM), project and problem-based education and is carried out in a better way.

Some universities in the Project and Project-Based Teaching Practices are performed. All engineering faculties to contribute to improving the quality of engineering education in Turkey must receive accreditation MÜDEK. EBD engineer a desired feature in the study subjects, divided into eight horizontal and 93 vertical working group

1. Elektrik Bilimleri Dalı Mühendisliği

Mühendislik doğadaki olayları insanlığın hizmetine en uygun bir şekilde sunan bir meslek dalıdır. Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği bir ülkenin ekonomik ve toplumsal alt yapısının temel yönlendirici öğeleri olan elektriksel enerji, elektronik, haberleşme, kontrol ve bilgisayar endüstrilerini kapsar.[1] Mühendisliğin başka bir tanımı da "Mühendislik, bilimsel bilgiye dayanan yaratıcı bir meslek olup, insanlığın isteği doğrultusunda ekonomik ve sosyal güçleri yönlendirerek medeniyetin gelişmesine katkıda bulunur, Bilim adamı fiziksel dünyayı ve evreni anlamaya çalışan kuramlar ve bilgiler geliştirirken, mühendis bu bilgileri kullanarak ülkenin ihtiyaçlarına göre sistemleri tasarlar ve gerçekleştirilmesine çalışır. Mühendisler endüstri ve teknoloji için yeni düşünceler bulabilir ve düşünceleri yönlendirebilir, verdiği kararlarla insanlığın yaşam koşullarını değiştirebilir." [2]

Dünyada Elektrik mühendisliği; elektrik, elektronikle ilgili tüm mühendislik bilim dallarının genel adı olarak kullanılmaktadır.Türkiye ise de elektrik mühendisliği, elektrik mühendisliğinin bir alt dalı olan güç mühendisliğinin (power engineering) karşılığı olarak kullanılmaktadır.

Türkiye`de Elektrik Bilimleri Dalındaki Mühendislik (EBDM) eğitimi; Elektrik, Elektrik-Elektronik, Elektronik, Elektronik

ve Haberleşme , Bilgisayar, Biyomedikal, Kontrol, Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümlerinde verilmektedir;

Türkiye'de elektrik mühendisliği; Elektrik enerjisinin üretimi, iletimi, dağıtımı, enerji sistemleri ve yüksek güçlü aa cihazların tasarımı, geliştirilmesi, korunması, denetimi, güvenliği ve işletilmesi konularıyla ilgilenir.

Elektrik-Elektronik mühendisliği bölümünde elektrik, elektronik ve bilgisayar üzerine eğitim verilir. Çalışma alanı olarak elektrik içeren tüm alanları kapsar, çok geniş bir çalışma alanı vardır; Elektronik mühendisliği; elektronik, endüstriyel, kontrol, haberleşme, mikrodalga, radar , anten, ve tıp elektroniği sistemlerinin tasarımı, geliştirilmesi ve uygulanması konularıyla ilgilenir. Elektronik ve Haberleşme mühendisliği; Haberleşme, mikrodalga, radar , anten, elektronik cihaz üretimi, bilişim teknolojileri, tıbbi elektronik, ses görüntü sistemleri, Kontrol, proje-tasarım ve yazılım uygulamaları,internet servis sağlayıcıları, güvenlik teknolojileri sistemleri, test ve ölçüm aletleri konularıyla ilgilenir

Türkiye'de 06.05.2015 tarihi itibariyle 193 üniversite vardır. Bunlardan 109'u devlet üniversitesi, 76'sı vakıf üniversitesi 8'i ise Vakıf Meslek Yüksek Okulu dur.

Türkiye`de Temmuz 2015 tarihi itibariyle EBDM eğitimi; 84 devlet ve 60 vakıf olmak üzere toplam 144 üniversitede verilmektedir. Bu üniversitelerde,

a. Elektrik mühendisliğinde, 4 devlet üniversitesi bölümü (DÜB),
b. Elektrik-Elektronik mühendisliğinde, 62 DÜB ve 43 vakıf üniversitesi bölümü (VÜB),
c. Elektronik mühendisliğinde, 1 DÜB ve 2 VÜB,
d. Elektronik ve Haberleşme mühendisliğinde, 6 DÜB ve 4 VÜB,
e. Enerji Sistemleri Mühendisliğinde, 1 VÜB,
f. Kontrol mühendisliğinde, 2 DÜB ve 1 VÜB,
g. Biyomedikal mühendisliğinde, 9 DÜB ve 10VÜB

vardır.

2. Türkiye deki EBDM Eğitimi

EBDM Eğitiminin Program Geliştirme Süreci'nde, nasıl bir mühendis yetiştirilmesinin amaçladığı, adaylardan neleri yapabilmelerini beklediğini belirlemeye çalıştık. Hedeflediğimiz mühendis özellikleri, üniversite eğitiminin temel amaçları ve ülkenin hızla gelişmesi göz önüne alınarak EBDM Eğitimi altı farklı alt bölümde incelenmiştir.
Lütfen bildiri sunumunuzu MS-Word® formatında bir dosya şeklinde hazırlayıp PDF formatına dönüştürerek gönderiniz.

2.1. Meslek Eğitimi

Öğrencilerimizin en çok ihtiyaç duyduğu şeyler, öğrenilen kuramsal kavramların yeterince uygulama ile desteklenmesi, uygulamaların akla yatkın bir kurama dayandırılarak açıklanmamasıdır.
Öğrencilerimiz, "biz bu konuyu niçin görüyoruz, nerede kullanacağız, bunu yapmak için neyi bilmeliyiz, öğrendiklerimizin hepsi gerçekten gerekli mi?" sorularını sıklıkla sormaktadır.

Şekil.1. Elektrik Bilimleri Dalındaki Mühendislik Eğitimi

Geliştirilen programla teknoloji üreten mühendislerin yetiştirilmesi planlanmıştır. Öğrencilerden beklenenler aşağıda özetlenmiştir [1,3]

a. Matematik, fen ve mühendislik bilgilerini Elektrik bilimleri dalındaki mühendislik problemlerine uygulama becerisi
b. Elektrik bilimleri mühendisliği ve ilgili alanlarda, mühendislik problemlerini tanımlama veya tanımlanmış bir hedef doğrultusunda bir süreci modelleme, tasarlama ve çözme becerisi
c. Küresel ve toplumsal çerçevede mühendislik çözümlerinin özellikle sağlık, güvenlik ve çevre konularına etkilerinin de göz önünde tutulduğu kapsamlı bir eğitim verilmesi
d. Verilerin çözümlenmesi, deney yapma ve sonuçları yorumlama becerisi
e. Mühendislik uygulamaları için gerekli çağdaş teknikleri ve hesaplama araçlarını kullanabilme becerisi
f. Disiplin içi ve disiplinler arası takım çalışması yapabilme becerisi
g. Bağımsız davranma, bir konu hakkında kendi doğru olduğuna inandığı şekilde davranarak sonuca ulaşmaya çalışma ve yaratıcılık becerisi
h. Yaşam boyu öğrenme davranışını kazanma
i. Yazılı ve sözlü iletişim becerileri
j. Mesleki ve etik sorumluluk anlayışı
k. Ulusal ve uluslararası çağdaş sorunlar hakkında bilgi sahibi olmak
l. Kalite konularında bilgi sahibi olmak

Mezunlarımızın kuramsal ve uygulamaya yönelik kavramları ilişkilendirebilecek bilgi ve beceriyi edinmeleri beklenir. Bu ilişkilendirme için üç temel akıl yürütme yöntemi kullanılır. Bunlar; tümevarım, (induction), tümdengelim (deduction) benzetme (analogy) öğrenme biçimleridir.
Özel durumları inceleyerek onlardan genel bir duruma gitme veya sınırlı sayıda deneyimden genelleme yoluyla sonuç

çıkarma sürecine tümevarım denir. Bu yöntem öğretimde örneklerden, sorunlardan, olaylardan ve özel durumlardan hareket ederek genel sonuçlara, kurallara yada görüşlere varmak için kullanılır.
Tümdengelim (deduction) genel halden özel halelere inen bir düşünce sürecidir [4]. Anoloji iki özel durum arasındaki benzerlik ilişkisinden yola çıkarak yapılan akıl yürütmedir.

Tümdengelim genel halden özel halelere inen bir akıl yürütme sürecidir. Burada önce herhangi bir genelleme ele alınır, sonra bundan yola çıkarak özele inilerek yeni bir yargıya varılır.
Doğruluğu kabul görmüş genel önermelerden yola çıkarak yeni önermeler üretilir. Örneğin; İçerisinden zamanla değişen bir akım akan her bir iletken elektromanyetik dalga yayar (ışınlar) veya herhangi bir iletkene gelen elektromanyetik dalga, bu iletkende akım oluşturur. Paraboloid Yansıtıcı antende bir iletkendir. O halde Paraboloid Yansıtıcı anten de elektromanyetik dalga yayar veya Paraboloid Yansıtıcı antene gelen elektromanyetik dalga bu antende akım oluşturur.

Anoloji iki özel durum arasındaki benzerlik ilişkisinden yola çıkarak yapılan akıl yürütmedir. Örneğin; Her Gezgin (kablosuz) Haberleşme Sisteminde Baz istasyonu anteni vardır ve EM ışınım salar. 4.5 G sistemi de Gezgin (kablosuz) Haberleşme Sistemidir. O halde 4.5 G sistemi de EM ışınım salar.

Teknoloji Üretebilecek Mühendislerin (TÜM) eğitiminde, denklem veya yasalar verilmeden, öğrencinin neden bu denklem veya yasalara gerek duyulduğunu kendisinin fark etme becerisinin oluşması gerekir. Verilen eğitimde öğrenciler, yapılacak uygulamalarla genellemelere ulaşabilmeli, kendi genellemeleri ile kitaplarda gördükleri yasaları yorumlaya bilmelidirler. Ardından mantıksal çıkarım yoluyla diğer sonuçların neler olabileceğini kestirmeleri becerisini kazanmaları gerekir. Bunun için derslerde çözümleme, elindeki kuramsal bilgilerle bunu yorumlama, ardından da bir tasarımı gerçekleştirmeye ağırlık verilmelidir.

Yapılan anketlerde EBDM öğrencileri, derse katılmayı, sorumluluk almayı, gurup çalışması yapmayı, dersi dönem içinde uygulamalarla pekiştirmeyi istemektedir. Derslerin etkileşimli olmasının derse katılımı arttıracağını ve eğitim kalitesini arttıracağını, ezbere dayalı eğitimi ortadan kaldırmada etkili olacağını ifade etmişlerdir.

Öğrenciler; bölümün mezunlar veya firmalarla iletişiminin daha etkili olmasını istemişlerdir. Bu yolla bölümün öğrencilere düzenli olarak deney kiti ve malzeme tedariki sağlaması yol gösterici olması ve böylece uygulamaya yönelik çalışmalarda öğrencilerin ekonomik kaygılar taşımadan geliştirme yapabilmesi talep edilmiştir.[5]

Derslerin kuramsal eğitiminin ardından veya öncesinde, bunun nerede kullanıldığı, firmalara veya ar-ge merkezlerine, teknopark'a yönelik bölümün düzenleyeceği teknik gezilerle pekiştirilmesi, sektörü tanıyarak öğrencilerin ufkunun gelişmesine katkıda bulunması, mezun olmadan önce tecrübesizliği biraz da olsa aşabilecekleri her konuda destek verilmesi istenmiştir. Ayrıca dersler, daha görsel bir anlatıma dayalı olarak, gerçek hayattaki yeri gösterilerek somut bir şekilde verilmesi önerilmektedir.

Öğrenciler tarafından tercih edilen bir şey de, İngilizce derslerinin önemi konusunda öğrencinin bilinçlendirilmesine yöneliktir. Öğrenciler, kendilerine bir uygulama sırasında lazım olacak bir bilgi-sayfası veya makaleyi inceleyerek, neden yabancı terimleri bilmeye, makale taramaya, ihtiyaç duyacaklarının anlatılmasının dersleri daha ilgi çekici, öğrenciyi de daha alıcı duruma getireceğini düşünüyorlar.

Öğrenci değişim programlarından yararlanarak bilgi ve becerilerini arttırmak istiyorlar.
Mayıs 2003'te Ankara'da düzenlenen EBDM Eğitimi 1. Ulusal Sempozyumu'nda

- Nasıl Bir Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Mühendisi İstiyoruz?
- Lisansüstü Eğitimi Nasıl Olmalıdır?

Uzaktan eğitim

Konularında 3 panel/forum düzenlenmiştir. Sonuç bildirgesinde özetle şunlara değinilmiştir;
Altyapı kurulmadan bölüm açılmamalıdır. Öğretim üyeliğini çekici hale getirecek programlar ve yöntemler üzerine kafa yorulmalıdır. Uluslar arası hizmetlerin yanında ülke gereksinimlerine cevap verecek bir eğitim verilmelidir. Gelişen teknolojiye uygun olarak ders içerikleri dinamik biçimde güncellenmelidir. Öğrenci sorunlarına kulak verilmelidir. MÜDEK desteklenmelidir. ARGE' ye önem verilmelidir. Yaşam boyu öğrenme felsefesi özendirilmelidir. Deneyimlerin güvence altına alınıp paylaşıldığı meslek içi eğitim merkezleri kurulmalıdır. Elektronik ortamlar üzerinden bilgi paylaşımı özendirilmelidir. Bir türlü gerçekleşmeyen Üniversite-Sanayi işbirliği ütopyasına ulaşacak modeller geliştirilmeli ve odalar biraz daha aktif olmalıdır [6].

Ülkemizdeki mühendislik öğrencileri genelde yeterli yabancı dil bilmemektedir. Elektrik bilimleri mühendisliği öğrencileri derslerini iyi anlayabilmeleri, yabancı kaynakları araştırmaları için, EBDM mühendisleri ise gelişmeleri takip etmeleri, yeni teknolojilere uyum sağlamaları için mutlaka yabancı dil (özellikle İngilizce) bilmelidirler.
Türkçe' nin gelişmesi açısından yabancı teknik terimlerin de Türkçe karşılığı kullanılmalı, yerleşmiş terimler olduğu gibi kalmalıdır. Türkçe' nin bilim ve teknoloji dili olarak kullanılması ve gelişmesi sağlanmalıdır.
Mühendislik eğitimi Türkçe dilinde yapılmalı ve öğrenciler en az bir yabancı dil bilmelidir. Yabancı dil sorunu ilk okul seviyesinde çözülmelidir.

Çeşitli nedenlerden dolayı EBDM eğitimi genel olarak sadece bilgi aktaran ve ezbere dayanan bir eğitim olmuştur. Yaratıcı, düşünebilen ve herhangi bir problemi çözebilecek mühendisler yetiştirebilmek için eğitim ezbercilikten kurtarılmalıdır. Derslerde kavramsal düşünceler verilmeli diğer bilgileri bunlara bağlayarak öğretilmelidir. Bu düşünce ortaöğretim kurumlarına da sokulmalı gerekirse öğrenci formülleri kendi çıkartmalı veya kullanılacak bazı bağıntılar ve bilgiler sınavda verilmedir. Sınavda sınav sorularının en az %30'u yaratıcı ve özgün olmalıdır. Öğrenciler anlatılacak konularla önceden ilgilenmeli, derslerde her zaman not almak yerine ders dinlemeli, tartışmalara katılmalı dersi derste öğrenmelidir. Yaratıcı, araştırıcı ve yeni teknolojiler geliştirici mühendislerin yetiştirilmesi için EBDM bölümleri eğitim programı da yeniden düzenlenmelidir. Bu düzenlemede pratik

çalışmalara fazla yer verilmelidir. Ders programında bitirme ödevine daha fazla önem verilmeli ve bitirme ödevlerinin bir kısmının sanayide yapılması özendirilmelidir.

Yapılan anketlerde öğrenciler, derse katılmayı, sorumluluk almayı, gurup çalışması yapmayı, dersi dönem içinde uygulamalarla pekiştirmeyi istemektedir. Derslerin etkileşimli olmasının derse katılımı arttıracağını ve eğitim kalitesini arttıracağını, ezbere dayalı eğitimi ortadan kaldırmada etkili olacağını ifade etmişlerdir.
Bölümün, mezunlar veya firmalarla iletişiminin daha iyi olmasını istemişlerdir. Bu yolla bölümün öğrencilere düzenli olarak kit ve malzeme tedariki sağlaması yol gösterici olması ve böylece uygulamaya yönelik çalışmalarda öğrencilerin ekonomik kaygılar taşımadan geliştirme yapabilmesi talep edilmiştir [5].

2.2. Mühendislik Etiği

Etik sözcüğü, dil kullanımı bakımından günümüzde genel olarak üç farklı anlamda kullanılmaktadır. [7]

- Etik sözcüğü, bazen ahlak anlamında, yani; belirli bir grupta, belirli bir zamanda, kişilerin birbirleri ile ilişkilerinde değerlendirmelerini ve eylemlerini belirlemeleri beklenen değerlendirme ve davranış normları sistemleri anlamında kullanılmaktadır.
- Etik sözcüğü, bir grup insanın belirli amaçlarla oluşturduğu, o amaç için türetilmiş normlardan ve/veya mevcut normlar arasından seçilmiş, konsensüslerle kararlaştırılmış ve "evrensel" olarak geçerli kılınmak istenen norm bütünleri anlamında da kullanılmaktadır. Bir tür "ahlaklılık bildirgeleri" şeklinde düzenlenen bu normlar insanların başka insanlara nasıl muamele etmeleri ve nasıl muamele görmeleri gerektiğine ilişkin talepler getiren normlardır. Etik sözcüğünün bu ikinci anlamı, en yaygın kullanılan anlamıdır.
- Etik sözcüğü bir de, insansal bir fenomen olan etik fenomeni hakkında doğrulanabilir-yanlışlanabilir bilgi ortaya koyan ya da koyması beklenen felsefe dalını dile getirmek için kullanılmaktadır.

Dünya Mühendisler Birliği'nin 5 Ekim 1977 'de yapılan toplantısında, mühendislik etiği şöyle belirtilmiştir: "Mühendisler, mühendislik mesleğinin, doğruluğunu, onurunu ve değerini, insanların rahat yaşaması için bilgi ve becerilerini kullanarak, dürüst ve tarafsız olarak halka ve kendi işlerine sadakatle hizmet ederek, kendi disiplinlerinin mesleki ve teknik saygınlığını arttırmaya çalışarak yüceltir ve geliştirirler".

Temel mühendislik etik ilkeleri aşağıdaki gibi sıralanabilir: Mühendisler;

a. Mesleki görevlerini yerine getirirken, toplumun güvenliğini, sağlığını ve refahını en önde tutacaklardır.
b. Sadece kendi uzmanlık alanlarındaki hizmetleri vermelidirler.
c. Yalnızca objektif ve gerçek resmi raporlar yayınlayacaklardır.
d. Mesleki konularda, her işveren veya müşteri için güvenilir vekil olarak davranacaklar ve çıkar çatışmalarından kaçınacaklardır.
e. Hizmetlerinin geçerliliği konusunda mesleki itibarlarını oluşturacak ve diğerleriyle haksız rekabete girmeyeceklerdir.
f. Mesleğin doğruluğunu, onurunu ve değerini yüceltmek ve geliştirmek için çalışacaklardır.
g. Mesleki gelişmelerini kendi kariyerleriyle devam ettirecekler ve kendi kontrolleri altındaki mühendislerin mesleki gelişmeleri için olanaklar sağlayacaklardır [8].

Tüm mesleklerde olduğu gibi mühendisler de mesleklerini yaparken gerek karar alma sürecinde, gerekse kararlarını uygulamaya koyma ve sonuçlandırma aşamalarında, öncelikle sahibi oldukları mesleğin bilimsel kural ve yasalarına uymak zorundadırlar. Bir mühendisin tasarlama, planlama ve uygulama aşamalarında bilimin gereklerini yerine getirmesi zorunludur. Projelendirme safhasında yapılabilecek (kasıt dışı) hatalar, ahlaki hata değil bilimsel hata olacaktır.

Mühendisin yalnız bugünkü değil işlenerek geçmişten günümüze yapılan bütün , gelecekteki toplumun da sağlık, güvenlik ve refahını sağlamak üzere, doğal ve ekonomik kaynakların sürdürülebilir şekilde kullanımını gözetmesi şarttır Mühendisler insanlığın ekonomik kalkınması ve sorumlu insan ilişkileri geliştirmek üzere ne kadar özen göstermek mecburiyetinde iseler , aynı şekilde doğal sistemlerin kalitesini yükseltmek, özgün ve ender rastlanan doğal sistemleri ve yerleri korumak, bu gibi değerlerin bozulacağını hissettiklerinde direnmek zorundadırlar.
Bilgi birikimi ve donanımı yüksek bireylerin, aynı zamanda etik değeri yüksek, bilinçli, kişilikli yetişkin iyi insanlar olarak da yetiştirilmesi gereği ortaya çıkmaktadır. Üniversitelerimizde eksikliği sık sık vurgulanan insan kaynakları derslerine önem verilmelidir. Ayrıca, mühendislik tarihi bilim tarihi ile birlikte işlenerek geçmişten günümüze yapılan bütün gelişmeler ve gelişmekte olan teknolojiler incelenmelidir.

İnsanların davranış kuralları, kaynağını toplumdan, yetiştiği kültürden ve toplumu geliştiren üretim ilişkilerinden aldığından, toplumun değişimine paralel olarak bu kurallar da değişmektedir. Temel amaç, mühendislik mesleğinin ya da diğer mesleklerin insanlara daha iyi hizmet etmesi, kılavuzluk görevini eksiksiz yerine getirmesidir. [9]

2.3. Kültür aktarımı

Mühendislik eğitimi elbette bir meslek edindirme kursu değildir. Bir gazetenin oldukça eski tarihli bir sayısında yaptığı ankette sanayicinin istediği mühendis profili "Sanayici sosyal mühendis istiyor" başlığı altında bir yazı ile verilmiş ve yazı özel sektörden, kamudan röportajlarla desteklenmiştir. Buna göre mühendisler;

- *Kendini ifade edebilme yeteneğine sahip olmalı*
- *Esnek olmalıdır, her alanda yaşam kültürü kuvvetli olmalı, iletişim yönü kuvvetli olmalı, insanlarla sıcak ilişki kurabilmeli*
- *İşine heyecanlı ve sistematik yaklaşabilmeli*

- *Yaratıcı olmalı, yaratıcılığını kullanabilmeli, sorunu üstlenmeli ve çözebilmeli*
- *Espri yeteneğine sahip olmalı*
- *Bilgili olmaktan çok öğrenebilme yeteneğine sahip olmalı*

Yazı şu şekilde devam ediyor; *Artık mühendislerin sadece "hendese" bilmesi değil, sosyal ilişkilerinde de kuvvetli olması isteniyor. M.Ü. Mühendislik Fakültesi Dekanı Prof….' ın düzenlediği toplantıda mühendis adayı yüzlerce öğrenci sanayicilerle bir araya geldi. Sanayicilerin, mühendislerden beklentileri, "iletişimi kuvvetli, iyimser, yaratıcı olmaları". NETAŞ Genel Müdürü ….., mühendisin bilgi sahibi olmaktan çok öğrenme yeteneğinin önem taşıdığını belirtti. Tefken Mühendislik Genel Müdürü ….., sanayinin hayal kurmaktan korkmayan mühendislere ihtiyacı olduğunu anlattı. Mühendis; adaylarına, gerektiğinde patronuna hayır diyecek medeni cesarete sahip olmaları önerildi. Boğaziçi Üniversitesi Rektörü ……, "iyi dil bilen, öğrenmeyi öğrenen, kendine güvenen, sorumluluk ve risk alan, problemleri çözebilen, insanlarla rahat diyalog kuran, aldığı işin üstesinden gelen, ezberden uzak tutulan, analiz, sentez yapan, çok yönlü" öğrenciler yetiştirdiklerine dikkat çekiyor.*

Yapılan anketlerde özellikle birinci sınıf öğrencilerimizin çoğunun ilk defa evlerinden ayrıldıkları ve barınma, okul, ulaşım, yeni bir şehir gibi ilk defa karşılaştıkları durumlar karşısında tam da sıkıntılı bir uyum süreci yaşadıkları bir dönemde, bölümün onlara sahip çıkması, mesleği anlatıp sevdirecek, hedeflerini belirlemede yardımcı olacak bir rehberlik hizmeti istenmektedir. Özetle sosyal ve kültürel alanlarda daha çok etkinlik ve bölüme aidiyet duygusunun pekiştirilmesi, mezunlarla tanışma, fikir alma gibi genel aktarımlardaki kopuklukların giderilmesi istenmektedir. Başlangıçtaki bu özgüven eksikliğinin ortadan kaldırılması, sorumluluk ve merak etme duygularının desteklenmesi, şikayet edile gelen, bölümden soğuma, mesleğinden soğuma gibi olumsuzluklardan öğrencilerimizi koruyacaktır.

2.4. Bilimsel araştırma

EBDM bir ülkenin kalkınmasında ve ekonomik gelişmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu mühendislik dallarının çalışma konularından bazıları şunlardır: Haberleşme sistemleri, Elektronik sistem ve cihazların imalatı, Mikroişlemciler ve uygulamaları, Kontrol sistemleri, Endüstriyel ve tıbbi elektronik, Enerji üretimi ve dağıtımı, Elektrik makineleri ve Bilgisayar.

Önceki bölümlerde "teknoloji üreten mühendis" tanımı altında değinildiği gibi, EBDM Eğitimi, araştırma geliştirme altyapısını da desteklemelidir. Başta TÜBİTAK ve Teknopark'lar olmak üzere pek çok kuruluş ya da firmanın AR_GE faaliyetleri giderek ülke kalkınmasına daha da büyüyen oranda katkı koymaktadır. Özellikle yan sanayi'nde yerli üretim yedek parça pazar payı giderek büyümekte, katma değeri yüksek ürünler geliştirilmektedir.

Bilimin amaçlarının başında "doğanın güçlerini anlama ve bunu insanlık yararına kullanma" gelir. Arge' nin temelindeki analiz ve tasarımı bilim diline, anlama ve yararımıza olacak şekilde kullanma olarak çevirebiliriz. Bunu yapabilmek için analiz ve tasarım yapabilecek, analitik düşünen araştıran, neyi araştırdığını bilen, okuduğunu anlayan mühendisler yetiştirmeliyiz. Bu kişiler bilgiye nasıl erişeceğini bilmeli, güncel yayınları takip edebilmelidir.

Derslerin kuramsal eğitiminin ardından veya öncesinde, bunun nerede kullanıldığı, firmalara veya arge merkezlerine, teknopark'a yönelik bölümün düzenleyeceği teknik gezilerle pekiştirilmesi, sektörü tanıyarak öğrencilerin ufkunun gelişmesine katkıda bulunması, mezun olmadan önce tecrübesizliği biraz da olsa aşabilecekleri her konuda destek verilmesi istenmiştir. Ayrıca dersler, daha görsel bir anlatıma dayalı olarak, gerçek hayattaki yeri gösterilerek somut bir şekilde verilmesi önerilmektedir.

İstenen bir şey de, İngilizce derslerinin önemi konusunda öğrencinin bilinçlendirilmesine yöneliktir. Öğrenciler, kendilerine bir uygulama sırasında lazım olacak bir bilgi-sayfası veya makaleyi inceleyerek, neden yabancı terimleri bilmeye, makale taramaya, ihtiyaç duyacaklarının anlatılmasının dersleri daha ilgi çekici, öğrenciyi de daha alıcı duruma getireceğini düşünmektedir. öğrenci değişim programlarından yararlanarak bilgi ve becerilerini arttırmak istemektedir.[5].

Bilimsel araştırmanın olmazsa olmazı lisansüstü eğitimdir. Fen Bilimleri Enstitü'sü altında faaliyet gösteren Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı güçlendirilmelidir. Şöyle ki; Lisans eğitiminden atılan sağlam temelin üzerine danışmanların uzmanlık alanlarına yönelik olarak branşlaşma olmalıdır. İlgili branşta yapılacak tezin amacı, başı, sonu, öğrenim çıktılarının neler olacağı önceden yeterince belirlenmelidir. Bunun için mutlaka bir firmanın, bir endüstriyel tesisin, bir sanayi kuruluşunun, bir AR-GE kuruluşunun problemi bir proje adı altında ortaklaşa olarak çözüme kavuşturulmaya çalışılmalıdır.

Danışmanlar üniversite ortamında bulundukları yerden sentetik olarak konu üretmemelidir. Araştırma ve geliştirme konuları her zaman bir gerçek bir sıkıntıdan, gerçek bir ihtiyaçtan doğmaktadır. Elektrik Bilimleri Dalı Mühendisliği bölümlerinde Yüksek Lisans ve Doktora eğitimleri verilmelidir. Bu eğitimlerle hem Ar-Ge mühendisleri yetiştirilecek ve hem de ülkede teknoloji üretilmesine katkıda bulunulacaktır.

Bazı üniversiteler; AR-GE kuruluşlarına, teknoparklara ve özellikle de Gebze'de bulunan TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'ne çok sayıda araştırıcı yetiştirmektedir. Sonrasında bu kişilere faaliyet alanlarına yönelik lisansüstü öğrenim verilmektedir. Bu kişiler, gerçek problemler, uygulama deneyimine sahip oldukları güncel konularla ülkenin teknoloji üretmesine katkıda bulunmakta ve Bilimsel araştırma bu noktada başlamaktadır.

2.5. Yeni Gelişen Teknolojiler

Yeni gelişen teknolojileri, öğrencilere mühendislik öğreniminin birinci yılından itibaren seviye seviye aktararak onların teknolojiye karşı ilgi ve merakını artırmak gerekir. Yeni gelişen teknolojileri aşağıdaki gibi iki guruba ayırabiliriz.

2.5.1. Gelişmekte Olan Teknolojiler

Yeni gelişen teknolojileri, öğrencilere mühendislik öğreniminin birinci yılından itibaren seviye seviye aktararak onların teknolojiye karşı ilgi ve merakını artırmak gerekir. Gelişmekte Olan Teknolojiler (Emerging Technologies); mevcut durumu değiştirme yeteneğine sahip, bağıl olarak köklü yenilik yapan ve hızlı büyüyen teknolojilerdir. Bunlar;

- **Bilişim ve haberleşmede**; 4G ve 5G hücresel haberleşme sistemleri, Çevresel zeka, yapay beyin, Arttırılmış gerçeklik, Yazılım Tabanlı Radyo, Nesnelerin İnterneti, Kuantum bilgisayarı, Kuantum kriptografi, Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID) teknolojisi, Sanal gerçeklik, Giyilebilir bilgisayar
- **Elektronik Teknolojilerinde**; Biyometri, Elektronik burun, Memristor, Spintronik
- **Ulaşım teknolojilerinde**; sürücüsüz araba,Tesla araba (Tesla Model S Car)
- **Enerji Teknolojilerinde**; Akıllı şebekeler (İki yönlü bir haberleşme kullanarak; elektrik enerji sistemindeki üreticinin arzı ile tüketicinin enerji talebi arasındaki dengeyi sürekli izleyen ve denetleyen bir enerji yönetim sistemidir.), Kablosuz enerji transferi Elektrik Enerjisinin bazı koşullarda kablosuz olarak iletimidir. Uçan rüzgâr türbini; kulesi olmaksızın havada duran bir rüzgâr türbinidir.

2.5.2. Büyük Buluş Tabanlı Teknolojiler

Büyük buluş tabanlı teknolojiler (Breakthrough Technologies); Bir buluşa dayanan, büyük bir değişim ve gelişme sağlayan teknolojilerdir. 2015` in büyük buluş tabanlı teknolojileri MIT Technology Review ` göre aşağıdaki gibi sıralanmıştır. [10]

a. Sihirli Sıçrama (Magic Leap)
3-D görüntüleme oluşturma yaklaşımı ile büyük doğruluklu kestirim sağlayan teknoloji. 1-3 yıl içersinde kullanılabilir duruma gelecektir.

b. Çok Küçük Boyutlu Mimari Yapılı Malzemeler (Nano Architecture)
Nanoteknoloji, maddenin atomik ve moleküler seviyede kontrolüdür. Geleneksel Seramik malzemeler güçlü, ağır , kırılgan ve kırılmaya yatkındırlar. The California Institute of Technology den Julia Greer; şimdiye kadar yapılmış en güçlü ve en hafif maddelerden biri olan yeni bir tür seramik geliştirdi. Bu seramik,ayni zamanda kırılgan da değil. Bu seramiğe presle kuvvet uygulandığında bu nano mimari yapılı seramiğin, boyutları küçülüyor. Seramiğe uygulanan kuvvet kaldırıldığında, nano mimari yapılı seramik eski özgün durumuna geri dönüyor. 1-2 yıl içersinde kullanılabilir duruma gelecektir.

c. Otomobilden Otomobile Haberleşme
Bu teknoloji, Otomobilden otomobile basit bir kablosuz haberleşme tekniği uygulayarak, otomobil kullanımı daha güvenli hale getirme beklentisini veriyor. Bu teknoloji 1-2 yıl içersinde kullanılabilir duruma gelecektir.

d. Balon Tabanlı Kablosuz Haberleşme Projesi
Google, baz istasyonu antenlerinin kapsama alanında olmayan birçok yere helyum balonları göndererek, milyarlarca insanın canlı haberleşmesini (Project Loon) sağlayabilecek. Bu teknoloji 1-2 yıl içersinde kullanılabilir duruma gelecektir.

e. Sıvı biyopsi tekniği (Liquid Biopsy)
DNA eşleme makineleri, kanser için kan testlerine öncülük etmektedir. Bu yöntem şimdi kullanılmaktadır

f. Büyük Ölçekli (Megaölçek) Tuzdan arındırma
Dünyanın en büyük ve en ucuz ters-osmoz tuzdan arındırma tesisi İsrail'de çalışmaktadır.

g. Apple Ödeme
Teknolojilerin akıllı birleşimi ile Cep telefonu ile daha hızlı ve daha güvenli alış veriş yapma bilme yöntemi.Bu ödeme yöntemi kullanılmaktadır.

h. Beyin organımsısı
Organımsılar üreterek, insan vücudunun tamamen yenilenebileceğini iddia edilmektedir. Bu yöntem; hücre şifresinin çözülmesine dayanmaktadır. Bu uygulamada, hastadan hücrelerinin alınarak bozuk genlerinin düzeltilip tekrar yerlerine yerleştirilmektedir.
İnsan beyin hücrelerini üretmek için yeni bir yöntem olan "beyin organımsısı yöntemi" verilmiştir. Bunun için İnsan kök hücrelerinden laboratuarda, üç boyutlu yaşayan nöronlar elde edilmektedir.
Bu beyin organımsısı yöntemi ile bunama hastalığının, ruhsal hastalık ve diğer nörolojik hastalıklarını sırlarını çözebilir. Bu teknoloji halen kullanılmaktadır.

i. Sayısal Kan Testi Sistemi
Parmaktan alınan bir damla kanla, 150 ayrı bulgu araştırılabiliyor. 150 bulgu, full check-up'tan çok daha ileride bir şey, Normal bir laboratuarda bin dolardan fazla paraya mal olacak bu işlem, Theranos ile 30 TL (10.17$) mal oluyor. Bu teknoloji halen kullanılmaktadır.

j. Aşırı Güçlendirilmiş Fotosentezleme
Aşırı Güçlendirilmiş Fotosentezleme (Supercharged Photosynthesis) ile gelişmiş genetik araçlar mahsul veriminin artmasına yardım ederek milyarlarca kişinin beslenmesini sağlayabilir. 10-15 yıl içersinde kullanılabilir duruma gelecektir.

k. DNA interneti
Genomların milyonlarca evrensel ağı; ilaçlar teknolojisindeki geleceğin büyük bir ilerlemesi olabilir. Bu teknoloji 1-2 yıl içersinde kullanılabilir duruma gelecektir.

2.6. Yeni Bilim İnsanı Yetiştirme

Üniversiteler, imkanları doğrultusunda, çalışmalarında mantıksal çıkarıma dayalı düşünce biçimini temel alan bilim insanları, bilimin temel felsefesini içinde sindirmiş doktoralı (Ph.D.) AR-GE yöneticileri yetiştirmekle yükümlüdür. Üniversitenin temel görevlerinden biri de bilimi, bunun için bilim üreten merkezleri, bir anlamda kendini, yeniden üretmek ve varlığını sürdürmektir.

Bunun için öğretim üyeleri, zamanı geldiğinde bayrağı teslim edebilecekleri bilimi seven, araştırmayı seven insanlar yetiştirmelidir.

Bilimsel kadrolar kesinlikle ortalama maaşlı ama rahat bir meslek veya bir iş kapısı olarak görülmemelidir. Bu görev, bilimsel araştırmayı, çalışmayı belki de çocukluğundan beri seven, severek yapan insanlar tarafından yapılmalıdır. Ertesi gün düelloda kaybedeceğini bile bile ünlü matematikçi Galois son gecesini çok sevdiği matematikle ve adıyla anılan denklemlerini çıkarmakla geçirmiştir.
Aksi takdirde akademisyenler, belirli bir statüye ulaştıktan sonra, araştırmayı bırakıp köşelerine çekilmekte veya bilimsel çalışma ekseninin ve profesyonelliklerinin dışında bir alana kayarak bu arayışı sürdürmektedir;

Bilim insanları, ağırlıklarının olduğu yerde çalışmalıdır. Sonrasında asli görevi olan akademisyenliğe dönmek kaydıyla, yine akademisyen arkadaşlarının bu işi iyi yapabileceğini düşündüğü ve desteklediği için, üniversitede geçici olarak idari görevler yapılabilir. Ancak profesyonel yöneticilik, milletvekilliği, belediye başkanlığı, sabah kuşağı programlarında gelin-kaynana ilişkilerinden, yemek gurmeliğine veya komedi filmlerinde figüranlığa kadar her türlü medyatik görevi ikinci plana atmalıdır. Elbette gerektiğinde alanımızda yöneltilen soruları yanıtlamalıyız. Ancak bizler birer profesyonel yönetici, CEO, genel müdür veya iyi bir komedyen olamayız. Bu görevi uzmanlarına bırakıp, çalışmalarımızla kendi uzmanlık alanımızın saygınlığını korumalı ve arttırmalıyız.

Bir çok Üniversitenin Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü akademik kadrosu, üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme AD' da yüksek lisans ve doktora öğretimini sürdürmektedir. Bu kanalla üniversitelere ve bilim dünyasına çok sayıda nitelikli akademisyen kazandırmaktadır.

Öğrenci anketlerinde, araştırma görevlilerinin sorunlarının çözülmesi ve laboratuar uygulamalarına daha istekli katılmalarının teşviki istenmiştir [4].
Gerek buradan gerek asistanlarımızla olan diyaloglarımızdan, gerekse burada yetişmiş hocalarımızdan, araştırma görevlilerini ne kadar sıkıntılı ve belirsiz bir yolun beklediğini görebiliriz.

Bilimi seven, üniversiteyi seven, araştırmayı seven, öğrencileri seven genç arkadaşları burada tutabilmek, ümitlerinin kırılmasını önlemek için bir dizi önlem almalıyız. Yetiştirmeyi hedeflediğimiz bilim insanları, belirli bir çalışma yükü sonrasında nerede olabilecekleri, nerede olamayacakları, kadro alıp alamayacakları konusunda önceden açık ve net olarak bilgilendirilmelidir.

Konferanslar, yayınların takibi, öğrenci ve akademisyen değişim programları, gerektiğinde başka bir üniversitedeki iyi bir dersin takibi, bir önceki başlıkta lisansüstü öğreniminde sözü geçen sanayi projelerinde görev alma gibi konularda yeterli teşvik ve yönlendirmenin yapılması, akademisyen kalitesini olumlu yönde arttıracaktır.

3. Proje ve Problem Temelli Eğitim Uygulaması

Proje ve Problem Temelli Eğitim öğrencilere kuramsal bilgilerinin uygulamasını sağlayarak kuramsal bilgilerin daha iyi kavranılmasını ve ayni zamanda uygulama bilgi ve becerilerini arttırmaktadırlar. Elektrik bilimleri dalı mühendisliğinde ve diğer bilim dallarında bir konunun öğrenilmesinde; kuramsal bilgiler ve uygulamalar birbirini tamamlayan süreçlerdir. Teknoloji Üretebilecek Mühendislerin (TÜM) eğitiminde, bir konunun iyi öğrenilmesi Proje ve Problem Temelli Eğitim ile daha verimli sağlanmaktadır.

3.1. Proje ve Problem Temelli Eğitim

Proje temelli öğrenme bir konunun derinlemesine araştırılmasını amaçlar. Bu araştırmada öğrenen aktiftir,öğrenme etkinlikleri bazen bir grupla bazen de bireysel olarak yürütülür. Diğer taraftan proje tabanlı öğrenme projeler yoluyla öğrenmeyi organize eden bir modeldir. Proje tabanlı öğrenme öğrencilerin genelde problemlerle ilgilenmesini sağlayan ve sonuçta özgün ürünlere erişmesini amaçlayan bir öğretim modelidir. Proje tabanlı öğrenmede, öğrenci öğrenme sorumluluğunu alır. Bu
sorumluluk, verilen problemleri tanımlama, çözüm yollarını araştırma, araştırmayı yönetme, verileri analiz etme, bilgileri seçme, seçilen bilgileri bütünleştirme ve eski bilgilerle yeni bilgileri ilişkilendirme evrelerinden meydana gelir.

Problem tabanlı öğrenme; gerçek dünyanın insan yaşamına aksettirdiği karmaşık problemlerin, öğrencilerce bulundukları ortamda problem çözme yönetmesi ve bilgiye dayalı becerilerin her ikisinin eşzamanlı gelişimiyle çözülmesini amaçlayan bir öğretim sistemidir şeklinde tanımlanmaktadır.

Proje temelli öğrenmede, öğrenci bilgilerini birçok kere gözden geçirerek karşılaşmış olduğu problemlere farklı çözüm ve yaklaşımları geliştirir. Proje temelli önemli özelikleri, öğrenmenin belirgin amaçlarının olması ve gerçek bir ölçüm içermesidir. Buna karşın proje bulmakta zorlanma, projenin bitirilmesinin uzun zaman alması, projenin maliyeti çok yaşanan problemlerdir.
Problem temelli öğrenmede, etkin bir uygulama için seçilecek problemin mevcut bilgiyi geliştirici özellikte olması, farklı çözüm yolları içermesi, öğrencilerde ilgi uyandıracak türden olması gerekir. Problem temelli öğrenmede değerlendirme oldukça daha özneldir. Bu öznelliği gidermek için bir ön çalışma ile problem temelli öğrenme etkinliğinin öğrenme amaçları hatasız belirlenmelidir. [11]

3.2. Proje ve Ödev Temelli Öğrenim Uygulamaları

3.2.1. KOU Elektronik Haberleşme Bölümündeki Uygulamalar

KOU Elektronik Haberleşme Bölümünde aşıda sıralanan derslerde, proje ve ödev temelli öğrenim uygulanmıştır.

- Elektroniğe Giriş dersinde, elektroniğin basit uygulamaları ile ilgili 168 uygulamalı ödevler verilmiştir [12].
- Elektronik dersinde, 0-30V, 3A LCD panel metreli, mikroişlemcili güç kaynağı yaptırılmıştır. Bu cihaz

bir çok yerde temel güç kaynağı olrak kullanılmaktadır.

- Elektronik Devreler dersinde, ülkemizin güncel konularından olan inverter (dönüştürücü), GSM Bandı Jammer, mayın arama dedektörü uygulama ödevleri verilmiştir.
- Haberleşme Sistem Temelleri'nde IEEE Communications Magazine, IEEE Transactions on Wireless Communication'den alınmış 182 farklı güncel konular verilmiş. Öğrenci bu konulardan "a) literatür incelemesi, b) Diğer kaynaklardan da faydalanarak verilen konu ile ilgili kuramsal çalışma yapmak, c) Bu çalışmayı İngilizce dilinde yazmak", şeklinde ödev yapmışlardır. Ayrıca bu derste öğrenciler FM bandı (88-108 MHz) Radyo vericisi veya FM bandı (88-108 MHz) Radyo alıcısını uygulamalı olarak yapmışlardır.
- Haberleşme Elektroniği dersinde, IEEE Communications Magazine'den alınmış 162 farklı güncel konular verilmiş. Öğrenci bu konulardan "a) literatür incelemesi, b) Diğer kaynaklardan da faydalanarak verilen konu ile ilgili kuramsal çalışma yapmak, c) Bu çalışmayı İngilizce dilinde bildiri yazmak" şeklinde ödev yapmışlardır.

3.2.2. İstanbul Kültür Üniversitesindeki Uygulamalar

İstanbul Kültür Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde aşıda sıralanan derslerde, proje ve ödev temelli öğrenim uygulanmıştır.

- Introduction to Electromagnetics dersinde, 88-108 MHz FM vericisi, kapsama alanı açık alanda 30 m (Building simplest 88-108MHz FM transmitter)
- Electromagnetic Wave Theory dersinde, FM bandı taşınabilir Radyo alıcısı gerçekleştirilmesi (FM receiver with TDA 7000 and TDA2822 Features: Building mono FM portable radio)
- MicrowaveTheory dersinde kuramsal veya uygulamalı çalışma olmak üzere her bir öğrenciye ayrı konu verilmiştir.(Örnegin; Directional couplers design, Vehicle-mounted Automatic Satellite TV Systems)
- Communication Electronics dersinde kuramsal veya uygulamalı çalışma olmak üzere her bir öğrenciye ayrı konu verilmiştir. (Örnegin; Portable GSM900 Cellular Phone Jammer, EKG design, Weather station pressure reading, relative humidity, indoor & remote temperature reading)
- Special Topics II in Electronic Engineering dersinde kuramsal veya uygulamalı çalışma olmak üzere öğrencilere, Function Generator (sine square and triangle waveforms a frequency range from about 20Hz to 70 Khz ,uses only one CMOS hex invertor IC (4049) konusu verilmiştir.
- İstanbul Kültür Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde aşıda sıralanan derslerde, proje ve ödev temelli öğrenim uygulanmıştır.

- Signals and Systems for Computer Engineers dersinde İşaret ve Sistem uygulamaları MatLab ortamında gerçekleştirilmiştir.
- Computer Networks dersinde Wireshark Lab, Evaluating Internet Connection Choices for a Small Home PC Network, Multistory Building LAN, Evaluating Application Performance across a WAN, Wireshark Lab: TCP, Small Internetworks, IT Guru Lab 3: Hubs, Bridges and Switches uygulamaları yapılmıştır.
- Computer Organization dersinde öğrenciler piyasadaki elemanlarla masa üstü bilgisayar tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.
- Introduction Computer Engineering dersinde her bir öğrenci kendisine verilen proje hakkında rapor hazırlanmış sunu ve poster olarak sunmuştur.(81 ayrı proje örneğin; Remote Surgical Robotics: Control Systems and Human-Machine Interfacing, 3D Printers, Wearable Computer, Android, gynoid, Agricultural robot)

3.3.Ulusal -Uluslararası Eğitim Standartlarına Uyumluluk

Üniversitelerde EHM eğitimi müfredatı, uzun süre önce ABET' in akreditasyon süreci doğrultusunda güncellenmişti. Geçen dört yıl içinde kredileri, amaçları ve kapsamı, eğitimde kullandığımız araç ve gereçler, ders yükü, beklenen eğitim çıktıları Avrupa Kredi Transfer Sistemi ECTS tarafından izlenebilir hale getirilmiştir. Bu çalışma kredi uyumsuzluklarından kaynaklanan değişim problemlerini ortadan kaldırarak, Bologna Süreci'nde öğrenci hareketliliğini arttıracaktır. Bu kapsamda hedeflenen Avrupa yükseköğretim alanına girebilmek için ders sayısı ve içerikleri halen düzenlenmektedir.

EHM eğitimi ulusal ihtiyaçları da gözeterek, ülkemizde sorunları çözecek, iş yapacak güvenilir ve yetkin mühendisler yetiştirmeyi hedeflemektedir. Mezun öğrencilerimizle iletişim kurulmaya , toplantılar yapılmaya, eksiklerimizle ilgili geri bildirimler alınmaya başlamıştır. Öğretim üyeleri, tüm lisans derslerini verebilecek şekilde, aralarında ders değişimlerine başlamıştır.Konumuzda ülkemizde hizmet veren eğitim programları değerlendirme ve akreditasyon dermeği MÜDEK' tir. MÜDEK, farklı disiplinlerdeki mühendislik eğitim programları için akreditasyon, değerlendirme ve bilgilendirme çalışmaları yaparak Türkiye'de mühendislik eğitiminin kalitesinin yükseltilmesine katkıda bulunmak amacıyla faaliyet gösteren bir sivil toplum kuruluşudur. MÜDEK' in amacı, farklı disiplinlerdeki mühendislik eğitim programları için akreditasyon, değerlendirme ve bilgilendirme çalışmaları yaparak Türkiye'de mühendislik eğitiminin kalitesinin yükseltilmesine katkıda bulunmak, böylece, güncel ve gelişmekte olan teknolojileri kavrayan, daha iyi eğitilmiş ve daha nitelikli mühendisler yetiştirilerek toplumun refahının ileri götürülmesini sağlamaktır. Bazı Üniversiteler MÜDEK akreditasyonunu almış durumdadır.

3.4. EBD Mühendisliğinin Türkiye'deki İş Alanları

Mühendis:"Öğrenmeyi öğrenmiş, araştıran, bilgi üreten, yabancı dil bilen, teknolojiyi kullanabilen, sosyal bilimlere açık, çevresini sorgulayan, yaratıcı, üretken,toplumla bütünleşen, kalite bilincine sahip, yerel değerleri göz ardı etmeyen, zamanın değerin kavrayan, kendisiyle barışık, etik değerlere sahip, entelektüel özellikli, meslek örgütüne ve

örgütlenmesine inanan, ülke ve meslek sorunlarına duyarlı" [13] ve Teknoloji ürete bilen biridir. Bu özelikteki bir mühendisin iş alanları aşağıda verilmiştir.

3.4.1. EBDM *Yatay Uygulama Grupları*

İş Alanlarında ortaya çıkan başka bir gerçek ise Mühendislik disiplinlerine bağlı kalmaksızın yapılan işin belirli gruplarında çalışanların da ortak noktalar bulunmaktadır. Bu ortak gruplara da Yatay Uygulama Grupları adı verilmektedir. Yatay Uygulama Grupları (YUG) her bir Dikey İş Alanında bulunmakla birlikte, Dikey İş Alanlarındaki YUG' ların etkileri aynı değildir. [14]
Yatay Uygulama Grupları aşağıda sıralanmıştır ve Dikey İş Alanlarını kapsayan Mühendislik Yatay Uygulama Gruplarının bazılarının sektörde bilinen isimleri verilmiştir.

a. Tasarı (Etüt)-Planlama-Proje
Planlama Müdürü, Planlama ve Maliyet Kontrol Mühendisi, Bütçe ve Plan Mühendisi, Planlama Mühendisi, Sürvey Mühendisi, Yazılım Tasarım Mühendisi, Yazılım Mühendisi, Yazılım Uzmanı, Yazılım Mimarlığı, Bilişim Sistemleri Mühendisi, Yazılım Sistem Tasarımcısı

b. Araştırma-Geliştirme, Ürün-Geliştirme, Tasarım,
Ar-Ge Mühendisi, ARGE Yazılım Mühendisi, ARGE Müdürü, ARGE Metod Mühendisi, Data Modelleme Uzmanı, Ar-Ge Uzmanı, Laboratuar Elemanı, Araştırma Sorumlusu,

c. Üretim/Yapım-Test/ Kalite Kontrol
Üretim Müdürü, Üretim Planlama ve Üretim Mühendisi, TPM (Toplam Üretim Mühendisi), Üretim Mühendisi, Yazılım Uygulama Mühendisi, Donanım Uygulama Mühendisi, Uygulama Yazılımı İşletmeni, Uygulama Programcısı, Kıdemli Yazılım Mühendisi, Proses Mühendisi, Uygulama Programcısı, Satınalma Mühendisi, Teklif ve Satınalma Mühendisi

d. İşletme, Bakım-Onarım, Teknik Destek,
Network Yöneticisi, Konfigürasyon Yönetim Uzmanı, Sistem Yöneticisi,Sistem Mühendisi, Saha Mühendisi, İnternet Sistem Yöneticisi, Veritabanı Yöneticisi, SAP Sistem Yönetim Uzmanı, Elektrik Şantiye Şefi, Network İşletmecisi, İnternet Uygulamaları Mühendisi, Teknik Ofis Müdürü, YG Tesisleri İşletme Sorumlusu, Sistem/Teknoloji Uygunlaştırıcı (Sistem Entegrasyon Uzmanı), Network Güvenlik Mühendisi

e. Müşavirlik-Danışmanlık,Mahkemelerde Bilirkişilik,Eksperlik,Denetim(Kontrolörlük)
Serbest Mühendislik Müşavirlik (SMM'lik), Kurumsal Entegrasyon ve Danışmanlık Hizmetleri Uzmanı, Danışmanlık, Bilirkişi, Eksper,

f. Eğitim ve Öğretim,
Öğretim Üyeleri, Öğretim Görevlileri, Araştırma Görevlisi, Asistan

g. Yönetim,
Rektör, Rektör Yardımcısı, Dekan, Dekan Yardımcısı, Bölüm Başkanı, Bölüm Başkan Yardımcısı, Genel Müdür, Genel Müdür Yardımcısı, Ülke Müdürü, Direktör ,Proje Lideri,

h. Teknik Satış ve Pazarlama,
Teknik Servis ve Garanti Hizmetleri Uzmanı, Satış Teknik Destek Uzmanı,
Satış Öncesi Destek Mühendisi, Teknik Satış Elemanı,

3.4.2. EBDM *Dikey Gruplar*

Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal olarak bir üst başlıkta toplayabileceğimiz İş alanlarının çoğu zaman birlikte olmasına rağmen, bazı çalışma alanlarında, tek başına çalışma yapmaktadırlar. Bu çalışma alanlarının belirlenmesi oldukça önemlidir. Çalışma alanlarını Dikey İş Alanları olarak da adlandırabiliriz. Dikey İş Alanları; belirli bir sektör, alan veya uygulamayı kapsayabilir. Her bir Dikey İş Alanı için kullanılacak kuramsal ve uygulama bilgileri olarak birbirinin içersinde yer alan gruplara ayrılabilinir. EEBB Mühendisleri Dikey iş Alanları sayısı 89 olarak belirlenmiştir. [14] Bu gruba Dağıtık kontrol Sistemleri Teknolojileri, Gelişmekte olan teknolojiler (Emerging Technologies), Büyük buluş tabanlı teknolojileri (Breakthrough Technologies) ve ayrıca Gelişmekte olan teknolojilerinden biri olan Akıllı Şebekeleri de ekleyerek, Dikey iş Alanları sayısı 93 olarak verebiliriz. Dikey İş Alanı Grupları aşağıda verilmiştir.

1. Enerji İletim Sistemleri / Şebekeleri
2. Enerji Dağıtım Sistemleri / Şebekeleri
3. Hidroelektrik Enerji Üretim Tesisleri (Nehir Tipi, Orta ve Büyük Tip)
4. Rüzgar Enerjisi Üretim Tesisleri
5. Güneşten Enerji Üretim Tesisleri
6. Yük Yönetimi ve Sistem Planlaması
7. Isı Kazanımlı Enerji Üretim Sistemleri
8. Elektrik Makinaları
9. Enerji Depolama (Bataryalar, Piller) Teknolojisi
10. Kesintisiz Güç Kaynakları Teknolojisi
11. Aydınlatma Tesisatı ve Teknolojisi
12. İş Güvenliği Mühendisliği
13. Bina Elektrifikasyonu Ve Özdenetimli Bina Teknolojileri (YapıİçiTesisat)
14. Topraklama, Yıldırımdan Korunma ve Önleme Teknolojisi
15. Asansörler, Vinçler, Yürüyen Merdivenler ve Yol Teknolojisi
16. Enerji Yöneticiliği (Bina Ve Sanayi)
17. Enerji Kimlik Belgesi Uzmanlığı
18. Ev ve Büro Tipi Elektrikli Aygıtlar
19. Endüstri ve Sanayideki Elektrikli Aygıtlar
20. Televizyon/Radyo (TV/R) İletişim Teknolojisi
21. Kablosuz İletişim (Gezgin Haberleşme) Teknolojisi
22. Veri İletişim Teknolojisi
23. Ağ (Network) Teknolojileri
24. Fiber Optik Teknolojisi
25. Kablo TV Teknolojisi
26. Dar bant İletişim Teknolojileri
27. Anten Teknolojisi
28. Radyo Link Teknolojisi
29. Seslendirme ve Özel Haberleşme Teknolojileri

30. Uydu ve Uydu Üzerinden Haberleşme ve Yayın Teknolojisi
31. Radar Teknolojisi ve Sonar Teknolojisi
32. Mikrodalga Elektroniği Ve Teknolojisi
33. Endüstriyel Elektronik Teknolojisi
34. Elektronik Devre ve Kartların Tasarımı ve Üretim Teknolojisi
35. Sayaç, Algılayıcı ve Çeviriciler Teknolojileri
36. Konum Belirleme, Araç Tanıma Ve Yönetim Teknolojileri
37. Elektronik Güvenlik Aygıtları Teknolojileri
38. İletken ve Kabloların Bağlantı ve Ekleme Malzemeleri Teknolojileri.
39. Ölçümbilim, Kalibrasyon Teknolojisi ve Ölçü Aletleri
40. Ses, Resim ve Görüntü Aygıtları Teknolojisi
41. Hava Meydanları Teknolojisi
42. Kara Taşıtları Teknolojisi
43. Raylı Taşıtlar Teknolojisi
44. Hava Taşıtları Teknolojisi
45. Su ve Deniz Taşıtları Teknolojisi
46. İşaretleşme ve Scada Teknolojileri
47. Proje ve Uygulama Denetçisi
48. Organizasyon,Belgelendirme veYazılım Uygulamaları
49. Kullanıcılara Yönelik Yönetim Uygulama Teknolojileri
50. Kurumsal Bilgi İşlem Uygulamaları ve Teknolojileri
51. Adli Bilişim ve Bilişim Suçları Uygulamaları ve Teknolojileri
52. Benzetim (Simülasyon)-Eğlence Uygulamaları ve Teknolojileri
53. Donanım ve Yardımcı Araç Yazılım Teknolojileri
54. Yazılım Geliştirme Araçları ve Teknolojileri
55. Yapay Zeka ve Robotsal Uygulama Teknolojileri
56. Bilimsel Kuram Tasarım ve Modelleme Teknolojileri
57. Taşınabilir ve Giyilebilir Bilgisayar Yazılım ve Donanım Teknolojileri
58. Hastane ve Sağlık Uygulamaları ve Teknolojileri
59. Biyoenformatik Uygulamaları ve Teknolojileri
60. Paralel Hesaplama Teknolojileri
61. Bilgisayar Destekli Üretim Uygulamaları ve Teknolojileri
62. Veri Tabanları Uygulamaları ve Teknolojileri
63. Yazılım Altyapı Teknolojileri
64. Web Uygulama Teknolojileri
65. Biçimsel Diller ve Özdevinirler
66. Ajan ve Antivirüs Koruma Yazılım Teknolojileri
67. Bilgisayar Bilimi Kuramı Uygulamaları
68. İşletim Sistemi Uygulamaları ve Teknolojileri
69. Yardımcı Araç Yazılımları
70. Bankacılık ve Finans Uygulamaları
71. Bilgi Güvenliği Teknolojileri
72. Kuantum ve Biyolojik Hesaplama Mimarisi Teknolojileri
73. İnsan Makine Etkileşimi Uygulama Teknolojileri
74. Proje Yönetim Uygulamaları ve Teknolojileri
75. Görüntüleme Aygıtları
76. Yaşam Destek Cihazları
77. Elektro fizyolojik Takip Aygıt Teknolojileri
78. Sterilizasyon ve Dezenfeksiyon Cihazları ve Yönetimi
79. Laboratuar Tetkik Aygıt Teknolojileri
80. Fizik Tedavi Ve Rehabilitasyon Cihazları
81. Cerrahi Müdahale Aygıtları
82. Tıbbi Gazlar Dağıtım Teknolojisi
83. Biyomedikal veri Teknolojileri Yönetimi
84. Protez - Ortez Aygıtları
85. Yapay Organ ve Organ Çalışmalarını Düzenleyen Aygıtlar
86. Diş Sağlığı Ve Tedavi Aygıt Teknolojileri
87. Optik Alanında Kullanılan Aygıt Teknolojileri
88. Su Altı, Hava Ve Uzay Hekimliği Alanında Kullanılan Aygıt Teknolojileri
89. Onkoloji Alanında Kullanılan Aygıt Teknolojileri
90. Otomasyon ,Dağıtık kontrol Sistemleri Teknolojileri
91. Akıllı Şebekeler
92. Gelişmekte olan teknolojiler(Emerging Technologies)
93. Büyük buluş tabanlı teknolojileri (Breakthrough Technologies)

6. Sonuç

Dünyada Elektrik mühendisliği; elektrik, elektronikle ilgili tüm mühendislik bilim dallarının genel adı olarak kullanılmaktadır.Türkiye ise de elektrik mühendisliği, elektrik mühendisliğinin bir alt dalı olan güç mühendisliğinin (power engineering) karşılığı olarak kullanılmaktadır.

Türkiye`de Elektrik Bilimleri Dalındaki Mühendislik (EBDM) eğitimi; Elektrik, Elektrik-Elektronik, Elektronik, Elektronik ve Haberleşme , Bilgisayar, Biyomedikal, Kontrol, Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümlerinde verilmektedir.

Hedeflediğimiz mühendis özellikleri, üniversite eğitiminin temel amaçları ve ülkenin hızla gelişmesi göz önüne alınarak EBDM Eğitimi altı başlık altında verilmiştir. Bunlar; "Meslek Eğitimi, Mühendislik Etiği, Kültür aktarımı, Bilimsel araştırma, Yeni Gelişen Teknolojiler ve Yeni Bilim İnsanı Yetiştirme" dir.

Öğrencileri, Teknoloji Üretebilecek Mühendis (TÜM) olarak eğitmek ve Mühendislik Etiği eğitimi vermek gerekmektedir. Mühendisler mesleki ve sosyal kültüre sahip olmalıdırlar. Elektrik Bilimleri Dalı Mühendisliği bölümlerinde Yüksek Lisans ve Doktora eğitimleri verilmelidir. Elektrik Bilimleri Dalı Mühendisliği bölümlerinde Yüksek Lisans ve Doktora eğitimleri verilmelidir. Bu eğitimlerle hem Ar-Ge mühendisleri yetiştirilecek ve hem de ülkede teknoloji üretilmesine katkıda bulunulacaktır. Gelişmekte Olan Teknolojiler ve Büyük Buluş Tabanlı Teknolojiler gibi yeni gelişen teknolojileri, öğrencilere mühendislik öğreniminin birinci yılından itibaren seviye seviye aktararak onların teknolojiye karşı ilgi ve merakını artırmak gerekir.
Gelişmekte Olan Teknolojiler (Emerging Technologies); mevcut durumu değiştirme yeteneğine sahip, bağıl olarak köklü yenilik yapan ve hızlı büyüyen teknolojilerdir. Büyük buluş tabanlı teknolojiler (Breakthrough Technologies); Bir buluşa dayanan, büyük bir değişim ve gelişme sağlayan teknolojilerdir.
Bilişim ve haberleşmede; 4G ve 5G hücresel haberleşme sistemleri, Çevresel zeka, yapay beyin, Arttırılmış gerçeklik,

Yazılım Tabanlı Radyo, Nesnelerin İnterneti. Ulaşım teknolojilerinde; sürücüsüz araba, Tesla araba (Tesla Model S Car). Enerji Teknolojilerinde; Akıllı şebekeler, Gelişmekte Olan Teknolojilere örnektir. Büyük Buluş Tabanlı Teknoloji örnekleri ise Çok Küçük Boyutlu Mimari Yapılı Malzemeler, Otomobilden otomobile haberleşme, Beyin organımsısı, Sayısal Kan Testi Sistemi dir.

Üniversiteler, imkanları doğrultusunda, çalışmalarında mantıksal çıkarıma dayalı düşünce biçimini temel alan bilim insanları, bilimin temel felsefesini içinde sindirmiş doktoralı (Ph.D.) AR-GE yöneticileri yetiştirmekle yükümlüdür. Üniversitenin temel görevlerinden biri de bilimi, bunun için bilim üreten merkezleri, bir anlamda kendini, yeniden üretmek ve varlığını sürdürmektir

Proje ve Problem Temelli Eğitim öğrencilere kuramsal bilgilerinin uygulamasını sağlayarak kuramsal bilgilerin daha iyi kavranılmasını ve ayni zamanda uygulama bilgi ve becerilerini arttırmaktadırlar. Elektrik bilimleri dalı mühendisliğinde ve diğer bilim dallarında bir konunun öğrenilmesinde; kuramsal bilgiler ve uygulamalar birbirini tamamlayan süreçlerdir. Teknoloji Üretebilecek Mühendislerin (TÜM) eğitiminde, bir konunun iyi öğrenilmesi Proje ve Problem Temelli Eğitim ile daha verimli sağlanmaktadır. Bazı üniversitelerde Proje ve Ödev Temelli Öğrenim Uygulamaları yapılmaktadır.

Türkiye'de mühendislik eğitiminin kalitesinin yükseltilmesine katkıda bulunmak için bütün Mühendislik fakülteleri MÜDEK akreditasyonunu almalıdır.
Beklenen özelikteki bir mühendisin iş alanları yatay gruplamada 8 grup ve dikey gruplamada 93 gruba ayrılabilir.

Ülkemizin kalkınmasını hızlandırmak yeni teknolojileri geliştirmek ve yapmak için EHM bölümlerinde her bakımdan yeni yapılanmaya gerek vardır. EHM bölümlerinde öğrenciler mutlaka yabancı dil bilmeli fakat mühendislik eğitimi Türkçe yapılmalıdır. Türkçe' nin bilim ve teknoloji dili olarak kullanılması ve gelişmesi sağlanmalıdır.

Öğrencilere bir problemi kendi başına çözebilme, yenilik yapabilme(buluş) becerisi kazandırılmalıdır. Öğrencilere bağımsız ve takım halinde çalışma becerisi verilmelidir. Öğrencilere kendi işini kurabilme becerisi kazandıracak eğitim ve dersler verilmelidir. Ülkemizin ve insanlığın gelişimi için teknolojik gelişmeler, bireysel beceri, takım halinde çalışma gereği ve becerisi yanında öğrencilere mühendislikte etik kavramı verilmelidir.

EHM öğrencilerinin yararlanabileceği ders kitaplarının ve notlarının sayısı oldukça azdır. Bu yüzden öğrenciler, anlatılan konulara daha önceden ilgilenme imkanı bulamamaktadır. Dersten önce anlatılacak konularla ilgili herhangi bir hazırlık yapmadığı için derste sadece not tutmaktadır. Böylece konular hakkında herhangi bir yorum yapamamakta ve bu konuda yeterince geniş düşünememektedir. Öğrenciler bu yöntemde anlatılan konuları derste anlayamadıklarından, daha sonra anlamak için çok zaman vermekte, çok kere de anlamadan ezberlemektedir. Bu durumda bir konu hakkında düşünme yeteneği fazla gelişmemiş, araştırma yapmadan sadece verilen bilgileri anlamaya çalışan ezberci bir mühendis yetiştirilmektedir. Öğrenimin kalitesinin artması için ders kitaplarının ve notların artması gerekmektedir. Bunun için de öğretim elemanları ders kitapları yazmaları için teşvik edilmeli, bu elemanlara fazla zaman ve mali kaynak sağlanmalıdır. EHM eğitiminde yeni teknoloji üretebilecek mühendisler yetiştirilmesi amaç edinmelidir.

7. Kaynaklar

[1] Dinçer H., Dinçer P., Burdurlu H., Hacıvelioğlu İ., "Türkiye'de EEB Mühendislik Eğitimi", *Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendislikleri Eğitim,1. Ulusal Sempozyumu,* s. 198-200, 30 Nisan-2 Mayıs 2003, Ankara

[2] Dinçer H., Kasım 1994, "Türkiye'de mühendislik eğitimi", 2000'li Yıllara Girerken Bilgi Çağında Nasıl Bir Mühendislik Eğitimi Konulu 1. Kongre, Elektrik Mühendisleri Odası Yayınları İstanbul.

[3] Dinçer H., Dinçer P., Tezgel Ö., Öztop D., "KOÜ Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Bölümlerinde Mühendislik Eğitimi ", *Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendislikleri Eğitimi,Ulusal Sempozyumu*, s. 137-142, 25-27 Mayıs 2005, Samsun

[4] Çepni, S., Ayas, H., Johnson, D., Turgut, M. F., *Fizik Öğretimi,* YÖK/Dünya Bankası, Milli Eğitim Geliştirme Projesi, Ankara, 1997

[5] Yılmaz,S., *Öğrenci Geri Bildirim Anketleri Arşivi,* 2005-2008 Dönemi

[6] Sonuç Bildirgesi, *Elektronik ve Bilgisayar Mühendislikleri Eğitimi 1. Ulusal Sempozyumu*, 30 Nisan - 2 Mayıs 2003, Ankara

[7] İpbüker C., Göksel Ç., Deniz R., Mühendislik Etiği

[8] Elektrik Mühendisleri Odası Etik Komisyonu, Mühendislik ve Etik, II. Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendislikleri Eğitimi Sempozyumu, Samsun, 2005.

[9] Gençoğlu T. M., "Mühendislikte Etik" II. Elektrik Elektronik Bilgisayar. Mühendislikleri Eğitimi Sempozyumu, Samsun, 2005

[10] http://www.technologyreview.com/lists/technologies/2015 MIT Technology Review

[11] Tuncer M., "Proje Tabanlı Öğrenme İle Problem Tabanlı Öğrenmenin Fark ve Benzerlikleri", ISSN:1306-3111 *e-Journal of New World Sciences Academy* 2009, Volume: 4, Number: 2,

[12] Dinçer H., Öztürk S., Duru N. , Dirikol A., Kadıoğlu T., "KOÜ EEBM Bölümlerinde Eğitimin Alt Yapısı ve Öğretim Elemanlarının Eğitime Genel Bakışı ", *Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendislikleri Eğitimi 2. Ulusal Sempozyumu*, s. 131-136, 25-27 Mayıs 2005, Samsun

[13] Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Mühendislikleri(EEBM) Eğitimi 1.Ulusal Sempozyumu Sonuç Bildirgesi, 2 Mayıs 2003, Ankara,

[14] EEBB İŞ ALANLARI Elektrik-Elektronik-Bilgisayar-Biyomedikal, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası 1. Baskı, Ankara-Mart 2012, ISBN: 978-605-01-0324-3, EMO Yayın No: GY/2012/11

Aşırı Öğrenme Makinesi ve Derin Boltzmann Makinesi Üzerine Bir İnceleme

A Review on Extreme Learning Machine and Deep Boltzmann Machine

Bahadır Karasulu[1]

[1]Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
bahadirkarasulu@comu.edu.tr

Özet

Öğrenme teknikleri etkin ve birleştirilmiş çözümleri sağlamaktadırlar. Makine öğrenmesinin ana başarısı; hesapsal ortamın uygunluğuna, eldeki verinin çok ve zengin oluşuna ve öğrenme tekniğinin etkinliğine bağlıdır. Hesaplamalı zekâ, algoritmik öğrenme yolu sunması nedeniyle hatası enküçüklenmiş ve akıl yürütmesi eniyilenmiş çözümleri de sağlamaktadır. Bu çalışmada, hesaplamalı zekâ kapsamında değerlendirilen aşırı öğrenme makinesi ve derin Boltzmann makinesi için literatürde (2010 ilâ 2015 yılları arasında) yapılan güncel 18 adet çalışma sistematik olarak incelenmiş ve konularına göre bu çalışmalar kategorize edilmiştir. Bu iki makinenin avantajları ve dezavantajları karşılaştırılarak ilgili araştırma alanları üzerinden kullanırlık açısından değerlendirme yapılmıştır. Çalışmada, elde edilen sonuçlar ve tartışmaya da yer verilmiştir.

Abstract

Learning techniques provide efficient and unified solutions. The main success of machine learning relies on the suitability of computing environments, the largeness and richment of data, and efficiency of learning technique. Due to its algoritmic learning way, computational intelligence provides solutions with minimized errors and optimized reasoning. In this study, contemporary 18 studies in the literature (i.e., the years between 2010 and 2015) for extreme learning machine and deep Boltzmann machine are systematically reviewed and categorized which are considered as falling within the scope of the computational intelligence. Advantages and disadvantages of both machines are compared with each other, and evaluated by considering usefulness for related research fields. Obtained results and discussion are given in the study.

1. Giriş

Günümüzde büyük verilerden (big data) öğrenim yapılmasına duyulan ihtiyaç gittikçe artmaktadır. Özellikle finans piyasaları, bankacılık sektörü, eğlence sektörü, sağlık sektörü, enerji piyasaları ve benzeri uygulama alanlarından çok büyük miktardaki girdi verisinin elde edildiği durumlarda, geleneksel yapay öğrenme yöntemleri ve bunların alana özgü problemlerin çözümüne yönelik gerçekleştirimlerinin bu devasa büyüklükteki veri ile baş edilebilmesinde karşılaşılan bazı olumsuz yanları bulunmaktadır. Bunlar arasında; çok-boyutlu olan ve bir çok modu bulunan özelliklerin öğrenme algoritmasının etkinliğini ve başarımını düşürüyor oluşu, veri hacmi dinamik olarak artış gösterirken öğrenme kavramlarında dönüşümün gerçekleştirilmesinin oldukça zor oluşu, tek bir bilgisayar ile mâkul bir süre içerisinde çözüm üretebilmenin güçlüğü bu zorluklar arasında sayılabilir **[1]**. Bu bakış açısıyla, büyük verinin sınıflandırılmasına dair bir çok yaklaşım büyük-çaplı hesaplama ve makine öğrenmesi kapsamında literatürde geliştirilmiştir. Biyolojik yapılardan esinlenilerek oluşturulan veya doğadaki moleküler olaylardan yola çıkılarak oluşturulmuş bazı yaklaşımlar, daha hızlı öğrenmenin gerçekleştirilmesine ve çok az miktarda insan müdahalesinin gerekeceği şekilde çözüme ulaşılabilmesine olanak sunmaktadırlar. Bu sayede daha iyi bir genelleme yeteneğine sahip olan yapay sinir ağı (artificial neural network, YSA) modellerini temel alan, danışmansız öğrenim (unsupervised learning, DÖ) yapabilen çok-katmanlı (multilayer) sinirsel yapılar çeşitli çalışmalarda ortaya konulmuştur **[2]**.

Aşırı Öğrenme Makinesi (Extreme Learning Machine, AÖM), Guang-Bin Huang ve arkadaşları **[3]** tarafından tek gizli katmanlı ileri beslemeli bir YSA (single-layer feed-forward neural network, TİBSA) olarak önerilmiştir. Bu YSA için, çıkış ağırlıkları analitik olarak hesaplanılabilmektedir. Giriş ağırlıkları ise rasgele seçilmektedir. Genelleşmenin sağlanabilmesi adına, gizli katmanda sıklıkla Sigmoid, Gauss gibi doğrusal-olmayan (non-linear) fonksiyonlar kullanılmakta, çıkış katmanında ise doğrusal (linear) fonksiyonlar kullanılmaktadır **[4]**.

Simetrik olarak çiftlenmiş ikili eşik değeri birimleri ağının basit bir karesel enerji fonksiyonuna sahip olduğunu ve bu sayede bu ağın dinamik davranışını yönettiğini Hopfield belirtmiştir. Hopfield ağı için, bir süre boyunca ağın düğümleri belirlenimci olarak güncellenirse, ağ bir enerji minimumuna yerleşir. Bu minimum noktasının, içeriği adreslenebilir belleklerin depolanmasında kullanılması önerilmiştir **[5]**. Bu fikrin üzerine Hinton ve Sejnowski, ağın tüm ikili düzenleşimleri (configuration) üzerinden bir olasılık dağılımını tanımlayacak şekilde bir dolaylı yol olarak enerji fonksiyonunu tanımlamanın gerektiğini düşündüler. Buna göre, eğer doğru bir olasılıksal güncelleme kuralı kullanılırsa, çeşitli dinamiklerin etkisiyle sonunda Boltzmann dağılımından örnekler üretilebileceğini gördüler **[5]**, **[6]**, **[7]**. Bunu gerçeklemek için bir Boltzmann makinesi, görünür (visible) düğümler ve gizli (hidden) düğümlerden oluşan bir küme olarak görülebilir. Görünür düğümlerin durumları verilere kenetlenmiş şekildeyken, gizli düğümlerin ayrı bir kümesi vardır. Verilen şu anki veriler için gizli düğümlerin düzenleşimleri üzerinden sonsal dağılımdan örnekleri olasılıksal güncelleme yordamı üretmektedir. Gözlemlenen veri üzerinden, gizli özellikler (hidden features) olarak bu

örneklenmiş gizli düzenleşimler görülebilir. Bu gizli özellikleri tanımlayan ağırlıkların azami olabilirlik öğrenimi (maximum likelihood learning) ile öğrenilmesi mümkündür. Fakat yüksek gürültü varken, öğrenim yavaş ve güvensiz olmaktadır **[5]**. Hinton ve Salakhutdinov **[8]**, Vincent ve arkadaşları **[9]** çalışmalarına bakıldığında, kısıtlanmış Boltzmann makinesi (restricted Boltzmann machine, KBM) ve oto-kodlayıcılar'ın (auto-encoders) veriden uygun özelliklerin elde edilmesinde yoğunlukla kullanılabileceği görülmektedir **[2]**. Bakış açımızı, çok katmanlı YSA'ları derin öğrenim mimarileri olarak kabul edecek bir yöne çevirirsek, özellik elde etme (feature extraction) için kullanılabilecek bir çok doğrusal-olmayan işlem biriminin üst üste eklenmiş katmanlar halinde sunulduğu bir yapıyı görürüz. Daha yüksek seviyeli özelliklerin, daha düşük seviyeli özelliklerden elde edilerek sıradüzensel bir sunum oluşturulabilmektedir. KBM tabanlı derin ağların (deep networks) iki çeşidi bulunmaktadır: derin inanç ağı (deep belief network, DİA) ve derin Boltzmann makinesi (DBM). Ayrıca, oto-kodlayıcı tabanlı derin ağlar olarak; yığılmış oto-kodlayıcılar (stacked auto-enceoders) ve yığılmış gürültüsüz (denoising) oto-kodlayıcılar mevcuttur. Cambria ve arkadaşlarının çalışmasında büyük veri (big data) için Kasun ve arkadaşlarının ilgili çalışmalarına **[2]** dayanarak, DİA ve DBM'lerin KBM'lerinin yığılması ile oluşturulduğundan ve yığılmış oto-kodlayıcılar sayesinde de yığılmış oto-kodlayıcılar ve bunların gürültüsüz hallerinin oluşturulabildiğinden bahsedilmiştir. Genel itibariyle büyük veri göz önüne alındığında derin ağlar; geleneksel çok katmanlı YSA'lardan, TİBSA'lardan ve destek vektör makinelerinden daha başarılı sonuçlar vermekte, fakat eğitilme hızı oldukça yavaş olmaktadır. Buna karşın AÖM'ler daha hızlı bir şekilde (daha kısa sürede) öğrenimi gerçekleştirmekte ve iyi bir genelleştirme yeteneğine sahip olmaktadırlar.

Çalışmamızda çeşitli araştırma alanlarında mevcut olan büyük verinin sınıflandırılması probleminin çözümünde kullanılan derin ağlar özelinde DBM'ne dair çalışmalar ve bununla başarım açısından okuyucuların karşılaştırma yapılabilmesi adına AÖM'ne dair çalışmalar sistematik olarak incelenmiştir. Çalışma aşağıdaki şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde, AÖM ve DBM'nin matematiksel altyapısına değinilerek metodolojik yaklaşımların bir sunumu verilmektedir. Üçüncü bölümde görüntü işleme, ses işleme, örüntü tanıma, tahminleme vb. alanlardaki çeşitli çalışmaların öne çıkan detayları temel alınarak literatür incelemesi yoluna başvurulmuştur. Dördüncü bölümde, AÖM ve DBM'in karşılaştırılması ve her iki modelin bireysel olarak kullanıldığı çalışmaların yıllara ve yayın mecrasına göre dağılımına yer verilmiştir. Beşinci bölümde, sonuçlara yer verilerek çalışmada varılan bulgu ve kanılara değinilerek ileriki çalışmalar için güncel fikirler ortaya konulmaktadır.

2. Metodolojik Yaklaşımlar

AÖM ve DBM'nin matematiksel altyapısının detayları, temel aldıkları YSA'ların özellikleri, öğrenme yeteneklerinin detaylarına ve sınıflandırma yetenekleri hakkındaki detaylara bu bölümde değinilmektedir.

2.1. Aşırı Öğrenme Makinesi

AÖM, bir tek gizli katmanlı ileri beslemeli YSA'nı (TİBSA) temel almaktadır. Sınıflandırma için AÖM öğrenme algoritması çoğu çalışmada kullanılmıştır. AÖM'deki uyarma fonksiyonu (excitation function) $f(x)$ ve S birimli gizli katmana sahip bir ağ'ı göz önüne alalım ve n adet ayrı örnek için $\{X_i, T_i\}$ ele alındığında $X_i = [x_{i1}, x_{i2}, ..., x_{in}]^T \in R^n$ ve $T_i = [t_{i1}, t_{i2}, ..., t_{im}]^T \in R^m$ olarak belirleyelim. Burada n değeri, bir girdinin örüntüsündeki ayrı özelliklerin sayısını ifade etmektedir. Bunun yanı sıra, m değeri verideki sınıf sayısını göstermektedir. Verilen bir eğitim veri kümesi için $\{(X_i, T_i)_{i=1}^n\} \subset R^n \times R^m$ olsun. Buna göre, TİBSA'nın birleştirilmiş modeli **[10]**, **[11]** aşağıdaki gibidir.

$$\sum_{i=1}^{S} \beta_i f_i(X_i) = \sum_{i=1}^{S} \beta_i f_i(a_i * X_i + b_i) = t_j \quad , \quad j = 1,2,...,n \tag{2.1}$$

Burada $a_i = [a_{i1}, a_{i2}, ..., a_{in}]^T$ terimi gizli katmanın i inci birimiyle girdi ağırlığını gösterirken, b_i ise sapma miktarı ağırlığını (bias) göstermektedir. Bunların değerleri rasgele olarak oluşturulur. Gizli katmanın i inci birimi ise çıktı katmanı arasındaki ağırlık $\beta_i = [\beta_{i1}, \beta_{i2}, ..., \beta_{im}]^T$ ile ifade edilmekte, herhangi bir uyarma ise $f(x)$ ile ifade edilmektedir. Eşitlik (2.1) 'deki ifade daha özlü bir biçimde ifade edilecek olursa **[10]**, **[11]**:

$$H\beta = T \tag{2.2}$$

Burada H bir matris olarak tanımlanmaktadır ve ağın gizli katman çıktı matrisidir. H matrisinin sütunları gizli katman düğümlerinin her biri için ilgili çıktı vektörünü gösterirken, H matrisinin satırları, girdi vektörü X ile ilgili olan çıktı vektörünü göstermektedir. Standart TİBSA'nın öğrenme kabiliyeti nedeniyle geçerli çıktı neredeyse ideal çıktıya yakın değerde olmaktadır **[10]**. Gizli düğümlerin girdi bağlantı ağırlıklarına rasgele olarak başlangıç değerleri verilir ve bunların eğitilmesine gerek duyulmamaktadır. Bu nedenle iteratif öğrenim, β çıktı ağırlıkları için Eşitlik (2.2)'deki doğrusal denklemin çözülmesi haline gelir **[11]**. Genelleştirilmiş başarım için AÖM eğitim hatasını enküçüklemeye (minimize) çalışmaktadır. Buna göre aşağıdaki eşitlik verilebilir:

$$\sum_{j=1}^{S} \left\| t_j - y_j \right\| = 0 \tag{2.3}$$

Bu eşitliği şu şekilde de ifade edebiliriz:

$$H\beta = T \tag{2.4}$$

Bu ifade aslında $\varepsilon = H\beta - T$ şeklindeki ifade edilen eğitim hatasının enküçüklenmesi ile elde edilmiştir **[11]**. Doğrusal denklemin en küçük kareler çözümü ise şöyle verilebilir:

$$\beta = H^+ Y \tag{2.5}$$

Burada H^+ terimi, H çıktı matrisinin Moore-Penrose biçimiyle genelleştirilmiş tersidir. AÖM öğrenim algoritmasının detaylarına Kumar ve arkadaşları **[11]** çalışmasında yer verilmektedir.

2.2. Derin Boltzmann Makinesi

Bir Boltzmann makinesi, simetrik olarak çiftlenilmiş olasılıksal ikili birimlerin bir ağı olarak ifade edilir. Görünür birimlerin bir kümesini $v \in \{0,1\}^D$ olarak ve gizli birimlerin bir kümesini $h \in \{0,1\}^P$ olarak içermektedir. Buna göre; $\{v,h\}$ durumunun enerjisi, Eşitlik (2.6) 'daki şekilde tanımlanır **[12]**:

$$E(v,h;\theta) = -\frac{1}{2}v^T Lv - \frac{1}{2}h^T Jh - v^T Wh \qquad (2.6)$$

burada $\theta = \{W, L, J\}$ model parametrelerini göstermektedir. Sırasıyla, W terimi görünürden-gizliye, L terimi görünürden-görünüre ve J terimi gizliden-gizliye simetrik etkileşim terimleridir. Ayrıca, L ve J teriminin diyagonal elemanları sıfıra ayarlanmıştır. Görünür düğümler (birimler) için belirtilen v vektörüne atanmış modele ait olasılık, görünür ve gizli birimlerin üzerindeki koşullu dağılımın detaylarına Salakhutdinov ve Hinton **[12]** çalışmasında detayları ile yer verilmiştir.

DBM, derin öğrenme (deep leraning) kapsamında ortaya çıkmıştır. Çok-katmanlı Algılayıcı (Multilayer Perceptron, ÇKA) tipinde YSA'lar literatürde çeşitli eniyileme çalışmalarında derin öğrenme yapılmasında da kullanılmışlar, fakat derin modeller için eniyileme yapılmasındaki zorluk nedeniyle etkin bir öğrenmenin yapılmasının oldukça zorlaştığı da anlaşılmıştır. Bunun yanı sıra, 2006 yılındaki Hinton'ın **[13]** çalışmasında, derin inanç ağları (deep belief network, DİA) olarak adlandırılan oluşturucu (generative) modeller sayesinde danışmansız ve etkin olan bir öğrenme biçimi meydana getirilmiştir. Bir DİA'nın ana bileşeni, açgözlü (greedy) ve katman-katman öğrenimin yapıldığı bir algoritmayı temel alır, bu yolla ağın derinliğine ve büyüklüğüne göre doğrusal olacak şekilde bir zaman karmaşıklığında DİA'nın ağırlıklarının eniyilemesi yapılır. Buna göre, öğrenim algoritması etiketlenmemiş verinin etkin kullanımını sağlar, Bayesçi yaklaşıma dayanan olasılıksal model DİA ile kullanılabilir ve derin katmanlardaki gizli (latent) değişkenlerin değerleri etkin bir yoldan hesaplanabilir **[14]**.

Bu bakış açısıyla, DİA'lar olasılıksal oluşturucu modellerdir ve olasılığa dayalı çok-katmanlara sahip olan, gizli değişkenlerinin mevcut olduğu yapılardır. Bir DİA KBM'lerin üst üste yığılması yoluyla oluşturulabilir **[14]**.

KBM'ler, Markov rasgele alanı'nın (Markov random field, MRA) özel bir biçimidirler. Bu özel biçim, gizli bir katmana sahiptir ve bu katmanda Bernoulli tipinde olasılıksal gizli birimler mevcuttur. Ayrıca Gauss veya Bernoulli tipli olasılıksal görünür veya gözlemlenebilir birimler de diğer bir katmanda mevcuttur. KBM'ler çizge biçiminde gösterilebilirler. Buna göre, tüm görünür birimler tüm gizli birimlerle bağlantılandırılmışlardır. Bunun yanı sıra görünür-görünür ve gizli-gizli bağlantılar ise mevcut değildir. Görünür ve gizli birimlere dair birleşik olasılık dağılımına ve ilgili modele ait enerji fonksiyonunun detaylarına Yu ve Deng'in **[14]** çalışmasında yer verilmiştir.

DBM'ler, aynen DİA'larda da olduğu gibi öğrenim konusunda büyük bir yeteneğe sahiptirler. Karmaşık ve zor problemler olan konuşmacı tanıma, görüntüden nesne tanıma, etiketsiz algılayıcı (sensor) verilerinden ve sınırlı sayıda etiketli veriden yola çıkılarak öğrenim modeline ince ayar yapılması gibi konularda oldukça başarılı olmaktadırlar. Fakat, yaklaşıklamalı çıkarsama (apprioximate inference) konusunda katmanlar arası bilginin alttan üste geçişleri ve üstten alta geri beslemesi sayesinde belirsizliği DBM'ler daha iyi bir şekilde ağ içerisinde yayabilmektedirler **[12]**.

DBM'ni, $h^1 \in \{0,1\}^{F_1}, h^2 \in \{0,1\}^{F_2}, ..., h^L \in \{0,1\}^{F_L}$ şeklinde çok-katmanlı biçimde olan gizli birimlerin bir kümesi olarak ve $v \in \{0,1\}^D$ şeklinde olan görünür birimlerin bir kümesi olarak düşünebiliriz. Buna göre, her bir katmanının kendi içerisinde hiç bir bağlantısı bulunmayan bir DBM'ni göz önüne aldığımızda $\{v,h\}$ durumunun enerji fonksiyonu aşağıdaki gibi verilebilir **[15]**:

$$E(v,h;\theta) = -v^T W^1 h^1 - h^{1T} W^2 h^2 \qquad (2.7)$$

Burada, gizli birimlerin kümesi $h = \{h^1, h^2\}$ ile gösterilirken, $\theta = \{W^1, W^2\}$ terimi model parametrelerini göstermektedir. Bunlar görünürden-gizliye ve gizliden-gizliye simetrik etkileşim terimleridir **[15]**. Görünür v vektörüne atanan modelin olasılığı ve model tarafından tanımlanan olasılıksal dağılıma dair detaylara Salakhutdinov'un **[15]** çalışmasında yer verilmektedir. Bahsedilen bu modelde, azami olabilirlik (maximum likelihood) öğreniminin *izlenemez* (intractable) olması nedeniyle üstel zaman karmaşıklığından daha az bir sürede bir hesaplama yapılması beklenemez. Bunun başlıca nedeni, bu modelin hem veri-bağımlı hem de model-bağımlı oluşudur.

3. Literatür Taraması

Literatürdeki bir çok çalışma görüntü işleme, nesne tespiti, video işleme, ses ve müzik işleme, konuşmacı tanıma, yazılım mühendisliği, kontrol uygulamaları gibi zeki sistemlerin çözmesi umulan gerçek-hayat problemlerini ele almaktadır. AÖM ve DBM gibi YSA tabanlı yaklaşımlar öğrenme yetenekleri ile bu tarz zeki sistemlerin kurulabilmesinde temel yapıtaşı olarak güncel gelişmelerin en çok kullanılan öğeleridirler. Bu bölümde AÖM ve DBM'nin hem bireysel olarak hem de melezleme yoluyla başka bileşenlerle birlikte kullanıldığı çalışmalara ve hangi alanda nasıl kullanıldıklarına yer verilmektedir.

3.1. Aşırı Öğrenme Makinesinin Kullanıldığı Çalışmalar

Görüntü işleme alanına bakıldığında Wang ve arkadaşları **[10]** çalışmasında 4-Boyutlu yerel ikili örüntüleri temel alan insan yüzü tanıma yaklaşımı kullanılmış, buna göre AÖM ile yüz görüntülerinin sınıflandırılması yapılmıştır. AÖM eğitiminde kullanmak üzere görüntülerden özellik elde etme yoluyla 4-Boyutlu vektör oluşturulmuş ve Yale insan yüzü görüntüleri veritabanı üzerinden deneyler yapılarak AÖM sınıflandırıcısı sınanmıştır. Elde edilen sonuçlar AÖM sınıflandırıcısının doğru bir biçimde, 4-Boyutlu yerel ikili örüntü özellikleri yöntemi ile 3-Boyutlu ve tek-boyutlu olan yaklaşımlardan daha başarılı olarak tanıma oranına sahip olduğunu göstermiştir. Kumar ve arkadaşları **[11]** çalışmalarında, döndürme ile değişmez bir parmak izi betimleyicisi ve iyileştirilmiş genelleştirme başarımına sahip bir sınıflandırıcı önerilmiştir. Yerel yönlü örüntü histogramı ile sunulan yeni betimleyici parmak izi görüntülerinden hesaplanılmıştır.

Parmak izi eşleştirme için TİBSA kullanılan çalışmada, AÖM ile genelleştirilmiş esnek yayılım algoritmasının kombinasyonu ile bu TİBSA meydana getirilmiştir. Önerilen parmak izi eşleme sistemi dört aşamalı bir sistemdir. Bunlar; parmak izi ön-işleme (iyileştirme), ilgilenilen bölgeyi (parmak izi bölgesi görüntüden elde etme, değişmez özelliklerin elde edilmesi ve melez sınıflandırıcının kullanımı. Deneysel sonuçlar, önerilen sistemin, AÖM'ne göre daha iyi sonuçlar elde ettiğini göstermiştir.

An ve Bhanu **[16]** çalışmasında, düşük çözünürlüklü girdilerden yüksek çözünürlüklü görüntülerin oluşturulması sürecine görüntü süper-çözünürlük süreci denildiği belirtilmiş ve AÖM temelli bir etkin süper-çözünürlük yaklaşımı önerilmiştir. Bu yaklaşımda, detay içeren yüksek-frekanslı bileşenlerin ve düşük çözünürlüklü görüntülerde kaybedilen ince yapıların tekrar oluşturulması sağlanmıştır. Eğitim adımında, orijinal yüksek-çözünürlüklü görüntülerdeki yüksek frekanslı bileşenler hedef değerler olarak ve düşük-çözünürlüklü görüntülerden elde edilen özellikleri AÖM'nin bir modeli öğrenmesi adına AÖM'ne verilmiştir. Verilen düşük-çözünürlüklü görüntü için, yüksek-frekans bileşenleri öğrenilmiş model aracılığıyla oluşturulmuş ve interpolasyonla elde edilen düşük-çözünürlük görüntüye eklenmiştir. Deneysel sonuçlar basit görüntü özelliklerine sahip olan önerilen algoritmanın doğruluk ve etkinlik açısından yüksek-frekanslı bileşenleri AÖM'nin daha iyi belirlediğini ve başarımın oldukça yüksek olduğunu ortaya koymaktadır.

Shanmugam ve Banu **[17]** çalışmasında, insan göz (retina) kan damarlarının göz görüntülerinden bölütleme ile elde edilmesinde AÖM kullanımı önerilmiştir. Bu iş için, 7-Boyutlu bir özellik vektörü kullanılarak piksel sınıflandırması yoluna gidilmiştir. Bu özellik vektörü, ön-işlemden geçirilmiş göz görüntülerinden elde edilmiş ve AÖM'ne girdi olarak verilmiştir. AÖM, her bir pikselin iki farklı sınıftan (damar ve damar-olmayan şeklinde belirtilen kategoriler) birine ait olacak şekilde sınıflandırılmasını gerçekleştirmektedir. Son olarak, damar sınıfındaki pikseller arasında boşluklar mevcutsa morfolojik (matematiksel) işlemler yapılarak düzgün damar yapıları görüntüde oluşturulmuştur. Deneylerde iki farklı göz görüntü veritabanı kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Alhichri **[18]** çalışmasında, çok yüksek-çözünürlüklü görüntülerdeki değişimin danışmansız olarak tespitinde ölçekle değişmez özellik dönüşümü (scale invariant feature transform, SIFT) ve AÖM'nin birlikte kullanımını temel alan bir yöntem önermiştir. SIFT tekniği anahtar noktaların tespiti için kullanılırken, AÖM ise sınıflandırma için kullanılmaktadır. Rasgele örnek ortak fikri (random sample consensus, RANSAC) algoritması ile görüntüden SIFT ile elde edilmiş anahtar noktaların değişim öncesi ve sonrası oluşan görüntüde birbirleriyle eşleştirilmesi yoluna gidilmiştir. Değişimin-olmadığını ifade eden bir sınıf için eğitim noktaları olarak bu elde edilen anahtar noktaların eşleşenleri kullanılmıştır. Değişimin-olduğunu ifade eden bir sınıf için geriye-kalan (eşleşmeyen) SIFT anahtar noktaları kullanılmıştır. Böylece, AÖM'nin eğitilmesinde tüm bu seçilen noktalar kullanılarak, sınıflandırma haritası oluşturulmuştur. Uydu görüntüleri üzerinden yapılan deneylerde, önerilen yöntemin oldukça başarılı sonuçlar elde ettiği görülmüştür. Lòpez-Fandiño ve arkadaşları **[19]** çalışmasında, hiperspektral uzaktan algılama görüntülerinin grafik işlemciler kullanılarak sınıflandırılması için etkin bir AÖM-tabanlı teknik önerilmiştir. Binlerce iş parçacığı (thread) kullanılan çalışmada grafik işlemci sayesinde ve paylaşımlı bellek kullanımı yoluyla görüntü bölütleme yapılmış daha yüksek doğrulukta sınıflandırma ise AÖM sayesinde elde edilmiştir.

Xun ve arkadaları **[20]** çalışmasında, videolardaki karmaşık sahnelerden araç tespiti yapılması için çeşitli görüntü özellikleri ile AÖM'nin bir araya getirildiği etkileşimli bir tespit yöntemi önerilmiştir. Çalışmada her bir hedef araç, el ile işaretlenmiş ve temel bileşen analizi-açılı gradyan histogramı (principle componenet analysis-histogram of oriented gradient, PCA-HOG) ve ayrık moment değişmez özellikleri sayesinde ilgili nesneye dair özellikler elde edilmiştir. Sonraki aşamada, AÖM için bu iki farklı özellik çeşidine göre aynı anda öğrenim yaptırılmıştır. Parametre eniyilemesi ve sınıflandırma açısından AÖM'nin bu çalışmada destek vektör makinesi'ne (support vector machine) göre daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmektedir.

Wang ve arkadaşları **[1]** çalışmasında, büyük veri üzerinden AÖM-ağacı yaklaşımı ile belirsizliğin indirgenmesine dair sezgisellik kullanılmıştır. Sonraki aşamada, AÖM-ağacı modelinde bilgi entropisi ve çift anlamlılık, karar ağacının düğümlerinin ayrıştırılması için belirsizliğin ölçütü olarak kullanılmıştır. Karar ağacında tümevarım sırasında yaşanabilecek fazladan bölümleme sorununu çözebilmek için yaprak düğümler olarak AÖM'ler ağaca gömülmüştür. Son olarak, AÖM-ağacının bileşenleri üzerinden paralel hesaplama yapılarak büyük veri sınıflandırmasında karşılaşılan zaman karmaşıklığının azaltılması sağlanmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda önerilen yöntemin etkinliği çeşitli büyük veri setleri üzerinden gösterilmiştir. Pillai ve arkadaşları **[21]** çalışmasında, kontrol uygulamaları için uyarlanır ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (adaptive network based fuzzy inference system, ANFIS) ile AÖM'nin bir araya getirildiği bir sinirsel-bulanık öğrenim makinesi önerilmiştir. Bu makinenin, doğrusal-olmayan sistemlerin kontrol edilmesinde kullanılabileceği belirtilerek, doğrusal-olmayan sistemlerin model kestirim kontrolü ve ters kontrol için kullanıldığı ifade edilmiştir. Benzetim sonuçlarına bakıldığında, iyileştirilmiş başarım sonuçlarının daha az hesaplama süresi ile elde edildiğini ve bunun gerçek-zamanlı kontrol için oldukça önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Jagtap ve Pillai **[22]** çalışmasında, regresyon problemleri için klasik ANFIS iler AÖM-tabanlı ANFIS'in başarım karşılaştırılması yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, AÖM-tabanlı ANFIS'in klasik ANFIS'e göre daha iyi bir genelleştirebilme yeteneği bulunduğunu ve daha hızlı öğrenim gerçekleştirdiğini göstermektedir. Pillai ve Jeyakumar **[23]** çalışmasında, küçük programlar için yazılım geliştirme çabası (maliyet) hesaplamasının AÖM ile yapılması önerilmiştir. Önerilen yaklaşıma dair başarım, doğrusal en küçük kareler regresyonu (linear least squares regression) başarımı ile karşılaştırılmış, bir veya iki adet bağımsız değişkenin kullanımına dair etkinlik hesaplanmıştır. Deneysel sonuçlar, regresyon hesabı için AÖM'nin iyi bir alternatif olduğunu ve yazılım geliştirme çabası (maliyet) hesaplamasında, hesap doğruluğunu da kaybetmeden rahatlıkla kullanılabileceğini göstermiştir.

Literatürde AÖM ile yapılan bir çok çalışma bulunmaktadır. Genel ortak özellikleri AÖM'nin hızlı öğrenme gerçekleştirebilmesinin ve genelleştirebilme yeteneğinin kullanımına yönelik çeşitli avantajlarıdır. Bunun yanı sıra, gürültülü girdilere karşı oldukça hassas olan AÖM, bu nedenle sınıflandırma doğruluğunun düşmesi tehlikesini de beraberinde getirebilmektedir.

3.2. Derin Boltzmann Makinesinin Kullanıldığı Çalışmalar

Benzetilmiş tavlama (simulated annealing, BT) literatürde oldukça sık kullanılan bir meta-sezgi olarak çeşitli çalışmalarda kendine yer bulmuştur. Boltzmann makinesinin temelinde BT tabanlı eniyileme yatmakta, buna dair bir öğrenme süreci gerçekleştirilmektedir.

Salakhutdinov'un **[15]** çalışmasında, uyarlanır Monte Carlo Markov zinciri (MCMZ) kullanan DBM'nin öğreniminin nasıl yapılabileceğine odaklanılmıştır. İlgili çalışmada, çiftlenilmiş uyarlanır benzetimli ısıtma (coupled adaptive simulated tempering) algoritması geliştirilerek, çok-modlu enerji yüzeyinin daha iyi araştırılabilmesi sağlanmıştır. İki farklı veri seti üzerinden yapılan deneyler sonucunda, büyük-ölçekli DBM'lerde öğrenim yapılmasında parametre kestirimini önerilen algoritmanın daha iyi bir hale getirdiği ortaya çıkmıştır. Tang'ın **[24]** çalışmasında, yapay tanıma sistemlerinin örtüşüme (bir nesnenin bir başka nesne tarafından kamera görüş alanında örtülmesi) karşı gürbüz (robust) olması gerektiğinden bahsedilerek, görsel nesnelerin oluşturucu biçimde modellenmesinde ve tanınmasında DBM'nin oldukça iyi olduğu belirtilmiştir. Bunu gösterebilmek için ilgili çalışmada, kısmi örtüşüm altındaki nesneler halinde verilen el yazısı ile yazılmış rakamları daha doğru tanıyacak bir sistem oluşturacak bir DBM ana çatısı (framework) meydana getirilmiştir. Örten nesnenin görüntüde göz ardı edileceği yeri belirlemede kullanılmak üzere ek olarak rasgele değişkenler göstergesi oluşturulmuştur. Yeni model, DBM'nin enerji fonksiyonuna eklenen bazı terimler haricinde hâlâ bir Boltzmann makinesidir. Bu model, çıkarsama (inference) sırasında görüntüde neyin bakılan nesne neyin örten nesne olduğunu belirlemeye çalışmaktadır. Öğrenilmiş örten nesne modeli diğer DBM'lere farklı tipte veriler üzerinden (insan yüzü vb.) uygulanabilmektedir. Test hataları hesaplanırken eğimli (gradient) eniyileme yapılması için geri-yayılım (backpropagation) tekniği kullanılmıştır.

Zhang ve arkadaşları **[25]** çalışmasında, konuşmacıyı ses verisinden tespit etmek için DBM kullanımını temel alan bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem yarı-danışmanlı (semi-supervised) ve danışmansız (unsupervised) eğitim senaryolarında denenmiştir. Deneylerde kullanılan konuşma veri setinde bazı anahtar kelimeler üzerinden değerlendirme yapılmış, DBM'nin başarımı danışmansız eğitim koşullarında Gauss-karışım modeli tabanlı yönteme göre %10 daha iyi sonuç göstermiştir. Sınırlı sayıda etiketlenmiş veri kullanılarak eğitim yapıldığında, DBM daha az etiketlenmiş veri ile bile oldukça iyi sonuçlar verebilmiştir. Bunun için verinin sadece %30'luk kısmının kullanılması yeterli olmuştur. Wen ve arkadaşları **[26]** çalışmasında, DBM kullanılarak görsel özelliklerden öğrenim yapılması yoluyla görüntü işlemede doğal sahnelerdeki çarpıcı (salient) bölgelerin belirlenmesi için belirginlik hesaplama (saliency computation) model önerilmiştir. Ayırt edici ve güvenilir olan zıtlık tabanlı düşük-seviyeli özelliklerden daha gelişmiş özelliklerin öğrenilmesi için iki-katmanlı DBM kullanılmıştır. Önerilen hesaplama modeli sayesinde gözle sabitlenmiş noktaların verisi ile gelişmiş özelliklerin eşleşmesi için eğitim yapılmıştır. Önerilen model ve buna ait yaklaşım iki farklı veri seti üzerinden sınanmıştır. Deneysel sonuçlar çalışmanın etkinliğini göstermektedir. Hu ve arkadaşları **[27]** çalışmasında, görüntü-tabanlı araç tanıma problemi ele alınmış, çevrit (contour), biçim (shape) ve görünüm tabanlı olarak değerlendirilen beklenen nesne dağılımını kullanan bir manifold-özellik öğrenme algoritması ile bu problem ifade edilmiştir. Böylece örtüşüm ve duruş (pose) değişimlerini de dikkate alabilecek bir derin öğrenme modeli ortaya konulmuştur. Bu model, bir DBM olarak tasarlanmış ve verilen nesne için altta yatan manifold bilgisini yeni bir eğitim süreci sayesine araştırabilmiştir. Deneysel sonuçlar, araç tanıma başarımı açısından önerilen modelin oldukça başarılı olduğunu ortaya çıkarmaktadır.

Leng ve arkadaşları **[28]** çalışmasında, bir 3-Boyutlu model tanıma mekanizmasının DBM'ni temel alınarak oluşturulması ve bu yolla çok sayıda etiketlenmiş 3-Boyutlu modelleri içeren veri setlerinde daha doğru bir sınıflandırma yapılması amaçlanmıştır. Önerilen mekanizma iki kısımdan oluşmaktadır; DBM tabanlı özellik tespiti ve yarı-danışmanlı öğrenme yöntemi tabanlı sınıflandırma. İlk kısım boyunca, iyi eğitilmiş DBM'den yüksek-seviyeli soyutlama sunumu elde edilebilmektedir. İkinci kısımda, yarı-danışmanlı sınıflandırma yönteminde tespit edilen özellik kullanılmaktadır. Üç farklı veri seti ile yapılan deneylerde, önerilen yöntemin değerlendirme kriterleri açısından başarım olarak literatürdeki benzeri çalışmalara göre daha iyi sonuç elde ettiği görülmektedir. Berglund ve arkadaşları **[29]** çalışmasında, KBM ve DBM'nin başarımının ölçülmesinin veya belirli bir gizli biriminin ne kadar önemli olduğunun ölçülmesinin zorluğundan bahsedilmiş, bunun için Boltzmann makinelerindeki bireysel gizli birimlerin kullanılırlığını (usefulness) ölçmede karşılıklı bilgi (mutual information) kullanımı önerilmiştir. Burada yapılan ölçümün, hızlı hesaplanır olması ve sinir hücresinin üstünden geçirdiği bilgi için bir üst sınır olarak hizmet etmesi gerektiğinden bahsedilmiştir. Bu yolla, kötü eğitim sonuçları böylece tespit edilebilmektedir. Deneysel olarak, KBM'nin bazı birimleri budandığında model başarımının ne kadar düştüğü bu ölçüm yoluyla belirlenebilmekte, buna dayanılarak DBM'in kötü eğitilmesi durumunun önceden tespitinde bu ölçümün kullanılırlığının ortaya konması ilgili çalışmada gerçekleştirilmiştir.

Literatürde bir çok çalışma DBM'in sıradüzensel yapısının etkin kullanımı, birimlerin istatistiksel anlamı, danışmansız veya yarı-danışmanlı eğitim açısından kullanışlı oluşu, etkin yoldan özellik kullanımı bakımından olumlu olduğunu değerlendirirken, bir yandan da eğitimin ilerleyişinin izlenebilirliğinin kolay olmayışı ve bunun değerlendirilmesindeki zorluklar açısından olumsuz yanları da bulunduğu belirtilmiştir

4. Tartışma ve Değerlendirme

Boltzmann makineleri, KBM ve DBM göz önüne alındığında, AÖM'nin de benzer mantıkla (YSA olması nedeniyle), girdi verilerini alarak bir eğitim sürecinden bilgiyi geçirip, çıktı sonucu olarak ya sınıflandırma ya da belirli bir eniyileme ile verilen problemi çözebileceği görülmektedir. Buradaki ana soru, bu eğitim sürecinin toplam YSA başarımını ne kadar etkilediği, daha açık bir ifadeyle beklenen hata miktarına eğitim sonucunda elde edilen hataya sayısal değer olarak ne kadar yaklaştığıdır. Öğrenim sırasındaki YSA dinamiklerinin sonuç başarımına etkisi hem AÖM hem de DBM açısından oldukça önemlidir. Bu açıdan sinir hücrelerinin istatistiksel karakteristiklerinin incelenmesi gerekir.

DBM'in, KBM'nin yapısal olarak gevşetilmiş bir hali olarak önerilmiş olması ve bir KBM'nin üzerine gizli sinir hücrelerinin ek katmanları şeklinde yığılmaları ile

oluşturuluyor olması başarım açısından önemlidir. Burada aktivasyon fonksiyonunun işlerliği özellikle olasılığa dayalı gizli sinir hücrelerinin mevcut olduğu YSA'lar için bilgi akışının sonuç üretmedeki belirleyici rolünü de farklılaştırmaktadır. Literatürdeki Berglund ve arkadaşları **[29]** çalışması bu bakış açısıyla başarım değerlendirmesini işlenen bilgiye dayandırdığı için oldukça iyi bir örnek olarak gösterilebilir.

Bu bölümde, AÖM ve DBM için çeşitli yayınlarda karşılaşılan uygulamalar, çalışmanın yayınlandığı mecra (uluslararası dergi, konferans vb.), yayın yılı gibi kriterler üzerinden karşılaştırılarak değerlendirilmektedir. Literatür incelemesinde ele alınan AÖM ve DBM çalışmalarına dair kategorik bilgiler aşağıdaki Çizelge 1 ve Çizelge 2 'de görülmektedir. Yayınların dağılımına bakıldığında, AÖM için 2012 ilâ 2015 yılları arasında, DBM için ise 2010 ilâ 2015 yılları arasında çeşitli çalışmalar olduğu görülmektedir. AÖM'nin genel olarak görüntü işleme, video işleme ve veri sınıflandırma gibi uygulamalarda kullanıldığı görülmektedir. Bunun yanı sıra yazılım mühendisliği alanındaki bir uygulamada da kullanılmıştır. Ayrıca DBM'in ise, görüntü işleme ve video işlemenin yanı sıra 3-Boyutlu grafikler ve ses verisinden konuşmacı tanıma gibi uygulamalarda da kullanıldığı görülmektedir.

Çizelge 1: AÖM için yayınların kategorizasyonu.

Yayın	Yayın yılı	Yayın mecrası	Uygulama alanı	Başarım değerlendirme yöntemi
Wang ve arkadaşları **[10]**	2014	Uluslararası konferans	İnsan yüzü tanıma	Tanıma oranı (yüzdelik oran), ortalama çalışma süresi.
Kumar ve arkadaşları **[11]**	2013	Uluslararası konferans	Parmak izi tanıma	Ortalama karesel hata (eğitim ve test için), eşleşme doğruluğu oranı.
An ve Bhanu **[16]**	2012	Uluslararası konferans	Süper-çözünürlüklü görüntü oluşturma	Sinyal-Gürültü oranı (Signal-to-Noise ratio, SNR), yapısal benzerlik skoru.
Shanmugam ve Banu **[17]**	2013	Uluslararası konferans	Göz kan damarları bölütlemesinin yapılması	Doğruluk oranı (accuracy rate), hassasiyet oranı (sensitivity rate), belirginlik oranı (specificity rate).
Alhichri **[18]**	2014	Uluslararası konferans	Çok-yüksek çözünürlüklü görüntülerde değişiklik tespiti	Hata oranı, yanlış alarm oranı (false alarm rate), kaçırılmış alarm oranı (missed alarm rate).
Lòpez-Fandiño ve arkadaşları **[19]**	2014	Uluslararası (SCI-Exp) dergi	Hiperspektral görüntü sınıflandırma	Sınıflandırma doğruluğu ve standart sapma.
Xun ve arkadaşları **[20]**	2013	Uluslararası konferans	Videoda karmaşık sahnelerde araç tespiti	Çapraz geçerlileme (cross validation) doğruluk oranı, eğitim süresi, parametre eniyileme süresi.
Pillai ve arkadaşları **[21]**	2014	Uluslararası konferans	Doğrusal-olmayan sistemlerin kontrolü (AÖM-ANFIS)	Ortalama karesel hata (eğitim ve test için), hesaplama süresi.
Jagtap ve Pillai **[22]**	2014	Uluslararası konferans	Regresyon problemleri için daha hızlı öğrenme (AÖM-ANFIS)	Ortalama karesel hata (eğitim ve test için), hesaplama süresi.
Pillai ve Jeyakumar **[23]**	2014	Uluslararası konferans	Yazılım geliştirme çabası (maliyet) hesaplaması	Göreceli hatanın ortalama büyüklüğü, istatistiksel test.
Wang ve arkadaşları **[1]**	2015	Uluslararası (SCI-Exp) dergi	Büyük veri sınıflandırma	Test doğruluk oranı, eğitim süresi, paralel hesaplama için çalıştırma süresi.

Çizelge 2: DBM için yayınların kategorizasyonu.

Yayın	Yayın yılı	Yayın mecrası	Uygulama alanı	Başarım değerlendirme yöntemi
Salakhutdinov [**15]**	2010	Uluslararası konferans	Görüntüdeki nesneyi sınıflandırma, el yazısı rakam tanıma	Log-olabilirlik (log-likelihood) için varyasyonel altsınır.
Tang **[24]**	2010	Uluslararası çalıştay-sempozyum	Görüntüde diğer nesneyi örten nesnenin var olduğu durumda el yazısı rakamını tanıma	Tanıma hata oranı (recognition error rate)
Zhang ve arkadaşları **[25]**	2012	Uluslararası konferans	Ses verisinde konuşmacı tespiti	Ortalama hata oranı.
Wen ve arkadaşları **[26]**	2014	Uluslararası konferans	Videoda doğal sahnelerdeki çarpıcı bölgelerin tespiti	Karar işletim grafiği (receiver operating characteristics, ROC), eğri altında kalan alan (area under curve , AUC).
Hu ve arkadaşları **[27]**	2014	Uluslararası konferans	Videoda araç (vehicle) tanıma	Tanıma için ortalama duyarlık oranı (average precision) (yüzdelik oran).
Leng ve arkadaşları **[28]**	2015	Uluslararası (SCI-Exp) dergi	3-Boyutlu grafiklerde 3-Boyutlu model tanıma	Sınıflandırma doğruluk kriteri, sınıflandırma duyarlığı (precision).
Berglund ve arkadaşları **[29]**	2015	Uluslararası (SCI-Exp) dergi	Karşılıklı bilgi (mutual information) sayesinde kullanılırlığın (usefulness ölçülmesi)	Karşılıklı bilgi ölçüsü, sınıflandırma doğruluk oranı.

Genel olarak AÖM veya DBM için başarı değerlendirmek için bilgi elde etme (information retrieval) teorisi kapsamındaki doğruluk, duyarlık, hassasiyet, belirginlik, yanlış alarm oranı gibi ölçütler (metric) kullanımı yanı sıra, ortalama karesel hata oranı ve sinyal-gürültü oranı gibi literatürde sıkça rastlanan ölçümlere de çalışmalarda yer verilmiştir. Bu yolla, önerilen AÖM veya DBM tabanlı sistemler veya yaklaşımlar çeşitli veri setleri kullanılarak sınanmıştır. Böylece, bunların başarımları diğer çalışmalardaki sistem veya yaklaşımlarla kıyaslanabilmiştir. AÖM ve DBM'in 2015 yılındaki uluslararası dergilerde kendine yer bulmuş olması, bu araştırma alanının oldukça güncel konular içerdiğini de göstermektedir.

5. Sonuçlar

Literatürdeki hesaplamalı zekâ alanındaki güncel çalışmalarda çeşitli teori, algoritma ve tekniklere bakıldığında bunlar arasında; AÖM, DBM, büyük veri analitikleri, bilişsel bilim ve hesaplama, otonom sistemler, paralel ve dağıtık hesaplama, bulut hesaplama, gerçek-zamanlı öğrenim ve akıl yürütme ve benzeri konuların yoğunlukta olduğu görülmektedir. Bunlar bir çok farklı bilimsel araştırma alanında hem uygulamaya yönelik hem de teorik çalışmalarda bireysel bileşen olarak veya bir çok bileşenin melezlenmesi yoluyla kullanılmaktadır. Bu çalışmanın ana katkısı, AÖM ve DBM için literatürdeki çalışmalar hakkında teknik detayların bir incelemesini yapmak ve hangi alanlarda kullanılabileceklerini ortaya koymaktır. İkinci katkı olarak, literatürden seçilen bir kaç çalışma üzerinden AÖM ve DBM'in bireysel bileşen veya melezleme yoluyla kullanımında hangi durumlarla karşılaşılabileceği konusunda araştırmacılara yardımcı olmaktır.

Bu çalışmada bahsi geçmeyen fakat literatürde farklı kombinasyonlar ile kullanılan, hesaplamalı zekâ veya esnek hesaplama alanlarında yapılmış daha bir çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda AÖM ve DBM'in öğrenme yetenekleri sıklıkla kullanılmasına rağmen literatür incelemesinde karşılaştığımız çalışmalarda hali hazırda gevşek-bağlı (loosely-coupled) zeki sistem oluşturma yolu izlenmektedir. Sıkı-bağlı (tightly-coupled) veya tamamen tümleştirilmiş (fully-integrated) zeki sistemlerin oluşturulmasında (AÖM-ANFIS örneğinde olduğu gibi) problemi çözen ve akıl yürütmeyi yapan asıl kısım çoğunlukla kural-tabanlı veya bulanık mantık-temelli kuralların işletildiği bileşen olmaktadır. Bu açıdan kara kutu karakteristiği taşıyan YSA cinsi yaklaşımlardan olan AÖM ve DBM'in (bazı çalışmalarda ÇKA tipli YSA) farklı melezleme veya bileşen kombinasyonları ile yeni çalışmalarda farklı uygulamalara da muhtaç olduğu görülmektedir.

6. Kaynaklar

[1] Wang, R.; He, Y.-L.; Chow, C.Y.; Ou, F.-F.; Zhang, J., "Learning ELM-Tree from big data based on uncertainty reduction", *Fuzzy Sets and Systems*, Cilt No. 258, pp. 79-100, 2015. ISSN 0165-0114, DOI: 10.1016/j.fss.2014.04.028.

[2] Cambria, E., Huang, G.-B.; Kasun, L.L.C.; Zhou, H.; Vong, C.M.; Lin, J.; Yin, J.; Cai, Z.; Liu, Q.; Li, K.; Leung, V.C.M.; Feng, L.; Ong, Y.-S.; Lim, M.-H.; Akusok, A.; Lendasse, A.; Corona, F.; Nian, R.; Miche, Y.; Gastaldo, P.; Zunino, R.; Decherchi, S.; Yang, X.; Mao, K.; Oh, B.-S.; Jeon, J.; Toh, K.-A.; Teoh, A.B.J.; Kim, J.; Yu, H.; Chen, Y.; Liu, J., "Extreme Learning Machines [Trends & Controversies]", *IEEE Intelligent Systems*, Cilt No. 28, no.6, pp. 30-59, 2013. DOI: 10.1109/MIS.2013.140S

[3] Huang, G.-B.; Zhu, Q.-Y. Siew, C.-K., "Extreme learning machine: Theory and applications", *Neurocomputing*, Cilt No. 70, no. (1-3), pp. 489-501, 2006. DOI: 10.1016/j.neucom.2005.12.126,

[4] Ertugrul, O.F.; Tagluk, M.E.; Kaya, Y.; Tekin, R., "EMG signal classification by extreme learning machine", *21st Signal Processing and Communications Applications Conference*, 2013, pp.1-4. DOI: 10.1109/SIU.2013.6531269.

[5] Welling, M.; Teh, Y.W., "Approximate inference in Boltzmann machines", *Artificial Intelligence*, Cilt No. 143, no. 1, pp. 19-50, 2003. ISSN 0004-3702, DOI: 10.1016/S0004-3702(02)00361-2.

[6] Hinton, G.E.; Sejnowski, T.J., "Optimal perceptual inference", *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Washington, DC, 1983, pp. 448–453.

[7] Hinton, G.E.; Sejnowski, T.J., "Learning and relearning in Boltzmann machines", *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, Cilt No. 1: Foundations, MIT Press, Cambridge, MA, 1986.

[8] Hinton G.E.; Salakhutdinov, R. R., "Reducing the Dimensionality of Data with Neural Networks", Science, Cilt No. 313, no. 5786, pp. 504-507, 2006.

[9] Vincent P. et al., "Stacked Denoising Autoencoders: Learning Useful Representation in a Deep Network with a Local Denoising Criterion", *J. Machine Learning Research*, Cilt No. 11, pp. 3371-3408, 2010.

[10] Wang, C.; Yang, J.; Chen, Y., Wu, C.; Dong, S.; Zhang, X., "Face recognition based on 4 Dimensions Local Binary Patterns", *9th International Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM)*, 2014, pp. 79-84. DOI: 10.1109/CHINACOM.2014.7054263.

[11] Kumar, R.; Chandra, P.; Hanmandlu, M., "Fingerprint Matching Using Rotational Invariant Image Based Descriptor and Machine Learning Techniques", *6th International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET)*, 2013, pp.13-18, DOI: 10.1109/ICETET.2013.4.

[12] Salakhutdinov, R.; Hinton, G., "Depe Boltzmann Machines", *12th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS)*, Clearwater Beach, Florida, USA, Cilt No. 5-JMLR, 2009, pp. 448-455.

[13] Hinton, G.E.; Ossindero, S.; Teh, Y.-W., "A Fast Learning Algorithm for Deep Belief Nets", *Neural Computation*, Cilt No. 18, no. 7, pp.1527-1554, 2006. DOI: 10.1162/neco.2006.18.7.1527.

[14] Dong, Y.; Deng, L., "Deep Learning and Its Applications to Signal and Information Processing [Exploratory DSP]", *IEEE Signal Processing Magazine*, Cilt No. 28, No. 1, pp. 145-154, 2011. DOI: 10.1109/MSP.2010.939038.

[15] Salakhutdinov, R., "Learning Deep Boltzmann Machines using Adaptive MCMC", *27th International Conference*

on Machine Learning (ICML2010), Haifa, Israel, 2010, pp. 943-950.

[16] An, L.; Bhanu, B., "Image super-resolution by extreme learning machine", *19th IEEE International Conference on Image Processing*, 2012, pp. 2209–2212.

[17] Shanmugam, V.; Banu, W.R.S.D., "Retinal blood vessel segmentation using an Extreme Learning Machine approach", *IEEE Point-of-Care Healthcare Technologies (PHT)*, 2013, pp.318,321. DOI: 10.1109/PHT.2013.6461349.

[18] Alhichri, H., "Sift-ELM approach for unsupervised change detection in VHR images", *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2014, pp. 4699-4702. DOI: 10.1109/IGARSS.2014.6947542.

[19] Lopez-Fandino, J.; Quesada-Barriuso, P.; Heras, D.; Arguello, F., "Efficient ELM-Based Techniques for the Classification of Hyperspectral Remote Sensing Images on Commodity GPUs", *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, no. 99, pp.1-10, 2014. DOI: 10.1109/JSTARS.2014.2384133

[20] Xun, L.; Shiru, Q.; Lei, C., "Vehicle detection from complex scenes based on combination features and ELM", *IEEE International Conference on Signal Processing Communication and Computing (ICSPCC)*, pp. 1-5, 2013. DOI: 10.1109/ICSPCC.2013.6663941.

[21] Pillai, G.N.; Pushpak, J.; Nisha, M.G., "Extreme learning ANFIS for control applications", *IEEE Symposium on Computational Intelligence in Control and Automation (CICA)*, pp. 1-8, 2014. DOI: 10.1109/CICA.2014.7013226.

[22] Jagtap, P.; Pillai, G.N., "Comparison of extreme-ANFIS and ANFIS networks for regression problems", *IEEE International Advance Computing Conference (IACC)*, pp.1190-1194, 2014. DOI: 10.1109/IAdCC.2014.6779496.

[23] Pillai, S.K.; Jeyakumar, M.K., "Extreme learning machine for software development effort estimation of small programs", *International Conference on Circuit Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, pp.1698-1703, 2014. DOI: 10.1109/ICCPCT.2014.7054900.

[24] Tang, Y., "Gated Boltzmann Machine for recognition under occlusion", *NIPS Workshop on Transfer Learning by Learning Rich Generative Models*, 2010, no. 1.

[25] Zhang, Y.; Salakhutdinov, R.; Chang, H.-A.,; Glass, J., "Resource configurable spoken query detection using Deep Boltzmann Machines", *IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp.5161-5164, 2012. DOI: 10.1109/ICASSP.2012.6289082.

[26] Wen, S.; Han, J.; Zhang, D.; Guo, L., "Saliency detection based on feature learning using Deep Boltzmann Machines", *IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, pp. 1-6, 2014. DOI: 10.1109/ICME.2014.6890224

[27] Hu, A.; Li, H.; Zhang, F.; Zhang, W., "Deep Boltzmann Machines based vehicle recognition", *The 26th Chinese Control and Decision Conference (2014 CCDC)*, pp. 3033-3038, 2014. DOI: 10.1109/CCDC.2014.6852695

[28] Leng, B.; Zhang, X.; Yao, M.; Xiong, Z., "A 3D model recognition mechanism based on deep Boltzmann machines", *Neurocomputing*, Cilt No. 151, Part 2, pp. 593-602, 2015. ISSN 0925-2312. DOI: 10.1016/j.neucom.2014.06.084.

[29] Berglund, M.; Raiko, T.; Cho, K., "Measuring the usefulness of hidden units in Boltzmann machines with mutual information", *Neural Networks*, Cilt No. 64, pp. 12-18, 2015. ISSN 0893-6080. DOI: 10.1016/j.neunet.2014.09.004.

Kurşun-Asit Batarya Şarjı için DA-DA Buck Dönüştürücü Tasarımı ve Gerçeklenmesi
Design and Implementation of DC-DC Buck Converter for Lead-Acid Battery Charging

Şule Kuşdoğan[1], Büşra Çeçen [2]

Elektrik Mühendisliği
Kocaeli Üniversitesi
kusdogan@kocaeli.edu.tr, cecenbusra@hotmail.com

Özet

Batarya yönetim sisteminin amacı, bataryanın en güvenli ve verimli şartlarda çalışmasını garanti etmektir. Batarya yönetim sisteminin içerisinde çalışma performansını ve şartlarını izleme, değerlendirme, aynı zamanda şarj ve deşarj durumlarını izleme olanakları vardır. Elektrokimyasal enerji depolama yapan bataryalar, farklı operasyon ve çevre koşulları altında farklı davranışlar sergilerler. Bu bildiride kurşun asit batarya için şarj ünitesi tasarlanmış ve uygulanmıştır. Batarya şarj ünitesi, batarya enerji yönetim sistemi ve güç işleme ünitesi olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Bu çalışmada, kontrol cihazından verileri almak ve testleri kontrol etmek için LabView gerçek zamanlı yazılım ve donanımı kullanılarak maksimum şarj ve deşarj gerilimi kontrol edilmektedir, ayrıca pillerin doluluk oranı da görülmektedir. Kademe değiştiricili transformatör ve darbe genişlik modülatörlü (PWM) AC kıyıcının birlikte bulunduğu, step-down gerilim regülatörü (LM2576-ADJ) ile akü şarj işlemi sunulmaktadır. Bu regülatörün çıkış gerilimi ayarlı dirençler sayesinde giriş gerilimine göre istenilen oranda azaltılabilir. Gerilimi azaltma sırasında açığa çıkan ısı kaybı yok denecek kadar azdır. Deney sonuçları ısı kaybının azaltılması ile güç tasarrufunun etkin bir şekilde sağlanması için step-down AC regülatörün kullanılması gerektiğini göstermektedir. Böylelikle enerji depolama sistemleri verimlilik yönünden de değerlendirilmektedir.

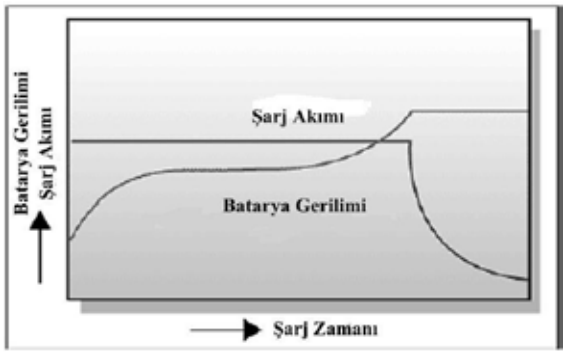
Abstract

The purpose of battery management system is to ensure that battery works at the most possible safe and efficient circumstances. Battery management system includes options of monitoring working performances and conditions as well as charge/discharge levels. The batteries making electrochemical energy storage shows different attitudes in different working and environmental situations. In this article charge unit for lead-acide battery is designed and operated. Battery charge unit is formed from battery energy management system and power conditioning unit. In this work maximum charge and discharge voltage is monitored by using real time software and hardware programme LabView for taking parameters from control device and checking the test results, furthermore battery charge rate can be monitored. Battery charge operation is presented with step-down voltage regulator (LM2576-ADJ) which includes both tap-changer transformer and AC chopper with pulse width modulation. Output voltage of this regulator can be reduced at aimed rating compared to input voltage with variable resistors. While reducing the voltage heat loss nearly doesn't exist. The experiment results shows that for ensuring power save with the reduce of heat loss, step-down AC regulator needs to be used. Thus power storage systems can be evaluated by efficiency.

1. Giriş

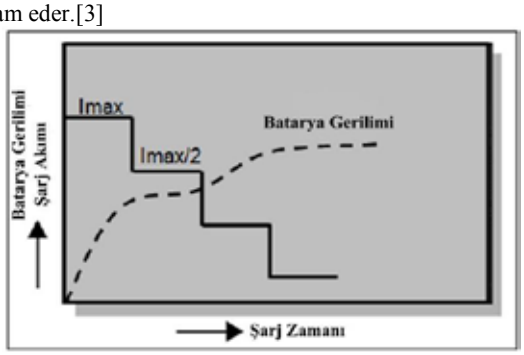
Şarj edilebilir piller tüm elektrikli ekipman ve aletlerin önemli bir bileşenidir. Her cihaz sürekli olarak elektrik enerjisine ihtiyaç duyduğu için, pil şarj devrelerinin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Verimli bir pil şarj cihazının tasarımı kontrollü şarj devresi, yüksek güç yoğunluğu, yüksek deşarj kapasitesi, uzun ömür, düşük maliyet gibi parametrelere en iyi şekilde cevap vermesi gerekir.[1]

Sabit akim sabit gerilim (CC-CV) ve çok aşamalı sabit akım sabit gerilim (MCC-CV) olmak üzere iki türlü şarj yöntemi vardır [2]. Genel olarak yaygın şarj yöntemi şekil-1'de gösterilen CC-CV ile şarjdır. Bu yöntem iki farklı aşamadan oluşur. İlk aşamada batarya hücrelerine, daha önceden belirlenmiş hücre eşik gerilimini geçene kadar belli bir süre sabit akım verilir. Hücre gerilimi bu seviyeye ulaştıktan sonra sabit gerilim aşamasına geçilir. Bu aşamada hücre gerilimini tam şarj gerilim değerinde sabit tutmak hedeftir. Tam şarj olan bataryanın akımı yavaş yavaş sıfıra düşer. Ancak her bir hücrenin bir alt kesme değeri olduğu için akımın tam olarak sıfıra düşmesi istenmeyecektir.



Şekil 1. Sabit Akım, Sabit Gerilim Şarj Yöntemi

Başka bir yöntemde ise 150 mA, 300 mA, 600 mA gibi farklı seviyelerde akım uygulanır. Buna çok aşamalı şarj yöntemi denir. Bu yöntemde bataryaya en büyük şarj akımı uygulanarak başlanır ve batarya gerilimi ilk eşik gerilimine ulaştığı an akım bir sonraki eşik gerilimine ulaşıncaya kadar yarı yarıya azalır. Bu algoritma pil tamamen şarj olana kadar devam eder.[3]



Şekil 2. Çok aşamalı Sabit Akim-Sabit Gerilim Şarj Yöntemi

Sonuç olarak hücre gerilimi üst kesme gerilim değerini aştığı zaman bataryanın ömrü azalır. Bu nedenle pili şarj ederken koruma sistemi gereklidir. Esas olarak daha uzun ömürlü pil güvenliği sağlamak için batarya yönetim sistemi (BMS) tasarlanmalıdır.

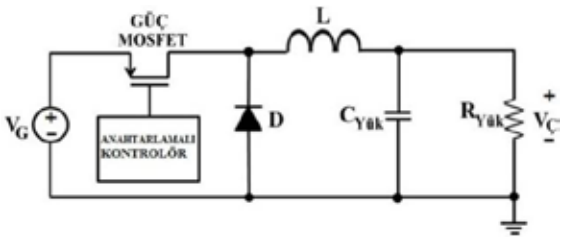
2. DA-DA Düşürücü Dönüştürücülerin Analizi

Modern güç elektroniğinde anahtarlamalı mod DA-DA dönüştürücülerin kararlı durum dinamik özellikleri sebebiyle kullanımı kaçınılmazdır.[4] Bilgisayar, iletişim, elektrikli araçlar, telekom sistemleri de dâhil olmak üzere çok sayıda uygulamalarda kullanılırlar. Anahtarlamalı mod dönüştürücüler güç ünitesi ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Güç ünitesi yarıiletken cihazlarla işleme göre giriş gerilimini düşürür veya yükseltir. Kontrol ünitesi ise çıkış gerilimini referans gerilim düzeyinde muhafaza etmektir.[5]
DA-DA dönüştürücülerin gerilim seviyesini değiştirmek ve çıkış gerilimini düzenlemek gibi iki temel amacı vardır. Sistem koşullarına göre dönüştürücü, bu görevlerden yalnız birini veya ikisini yerine getirmek zorundadır.[6] Düşürücü tip dönüştürücü çıkış gerilimin giriş gerilime göre düşük olması gereken uygulamalarda kullanılır. En sık kullanılan dönüştürücülerden biridir.[5]
Şekil 3.'te temel düşürücü dönüştürücü devresi verilmiştir. Düşürücü dönüştürücü devresi bir kondansatör, bir bobin, bir anahtarlama elemanı ve bir diyottan meydana gelmektedir. Anahtarlama elemanı Darbe Genişlik Modülasyonunun (PWM) anahtarlama frekansı oranına göre açılıp kapatılır.
Anahtarlama elemanının iletimde kalma süresinin, periyot süresine oranına görev oranı (Duty cycle) denir ve "D" harfi ile gösterilmektedir. Duruma göre D değerine bağlı çıkış gerilimi ayarlanır. Normal olarak D, 1'den küçüktür böylece çıkış gerilimi giriş geriliminden düşük olur.[7]
Denklem 1 giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki ilişkiyi gösterir.

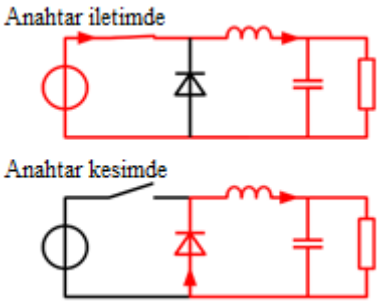
$$V_0 = D \times V_i \tag{1}$$

$$D = t_{on} \div (t_{on} + t_{off}) \tag{2}$$

Düşürücü dönüştürücülerde iki işlem modu vardır.[6] Anahtarlama elemanı mod1'de iletimde, mod2'de kesimdedir.



Şekil 3. Temel Düşürücü Dönüştürücü Devresi

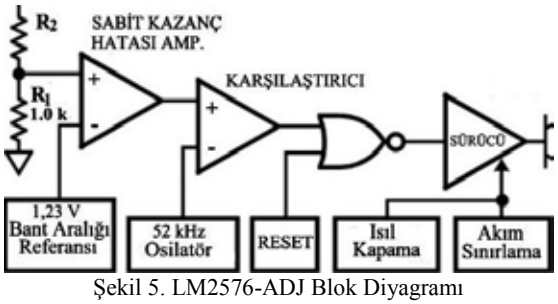


Şekil 4. (a) Anahtar İletimde
(b) Anahtar Kesimde

Devrede her bileşen belli bir görevi görür. Endüktansın temel görevi anahtarlama akımını regüle eder, aynı zamanda akım değerindeki dalgalanmaları azaltır. Endüktans kullanımıyla akım değeri hiçbir zaman sıfır değerine düşmeyecektir. Buna sürekli çalışma modu denir.[1] Devrenin çalışma prensibi; mod1'de anahtarlama elamanı iletimdeyken diyot kesimdedir ve akım L bobini üzerinden çıkışı besler. Bu sırada geçen akımla orantılı olarak bobinde enerji depolanır. Anahtar kesimdeyken birikmiş akım, bobin ve diyot üzerinden devresini tamamlayarak deşarj olur. [7] Devredeki C kapasitesi ise çıkış gerilimini süzme görevini üstlenir.
Dünya temiz ve yeşil enerji yapımında ilerlediği için bizi en küçük olası güç kayıplarını bile düşünmeye zorlar. Ancak mod2'de görüldüğü üzere çıkış akımı serbest geçiş diyotunun üzerinden geçer. Daha yüksek akımın akması diyotun üzerinden daha çok akımının akmasına işarettir, dolayısıyla güç kaybı artar ve verimlilikte tehdit oluşturur.[6] Bu yüzden seçilecek anahtarlama elemanının koşullara en iyi şekilde cevap vermesi beklenmektedir.

3. Aşağı Adım Anahtarlama Elemanı (LM2576-ADJ)

Güç kaynaklarının en önemli sorunlarından birisi gerilim regülasyonu ve çekilen akım karşısında devre elemanlarının ısınmasıdır. LM2576 serisi lineer regülatörler için yüksek verimlilik sahibi bir alternatiftir. Devrenin anahtarlamalı çalışmasından kaynaklanan ısınma derdinin olmaması da önemlidir. Soğutucu boyutu düşüktür ve birçok durumda gerekli de değildir. Daha az malzeme ile yapılması, çıkışının 1,25V-30V arasında olması ve çıkışında 3A akımı verebilmesi bazı avantajlarıdır. LM2576 ile kullanılabilecek birçok malzeme kolaylıkla temin edilebilir. Bu özellik bir anahtar modlu güç kaynağı tasarımını oldukça kolay hale getirir. LM2576'nın 3, 3.5, 12, 15 gibi sabit çıkış gerilimli olanları mevcuttur. Devrede çıkış gerilimini, akü gerilimine göre tüketici ayarlamak istediğinden dolayı LM2576'nın ADJ modeli kullanılmıştır. Giriş gerilimi 16 volt verildiğinde çıkışında 10.5-14.5 volt arasında 3A çıkış verebilir.

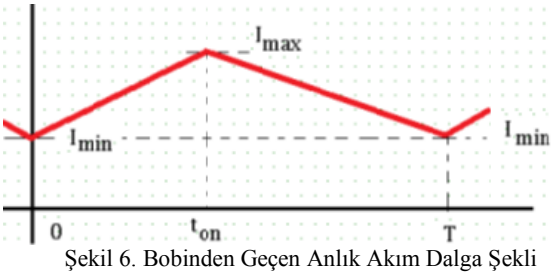


Şekil 5. LM2576-ADJ Blok Diyagramı

Şekil 5'e göre çıkıştan alınan gerilim bilgisi 1.23 Vref ile toplanır (summer). Denetleyiciden çıkan veri üst ve alt gerilim sınırını aşmaması için sınırlayıcı kullanılır. Sonraki aşamada aç/kapa mantığıyla bobine giden 52 kHz hızındaki kare dalganın doluluk oranı değiştirilerek çıkıştaki gerilim seviyesi istenen düzeye çekilmeye çalışılmaktadır. Bu esnada fazla ısınma ya da akım çekmeye karşı önlemler sürücünün içerisinde alınmıştır. R1 ve R2 dirençleri ise sabit gerilim versiyonlarında blok içerisinde sabitken, ADJ versiyonunda istenen gerilim seviyesinde çıkış almak için bu yapı dışarıya aktarılmıştır. [8]

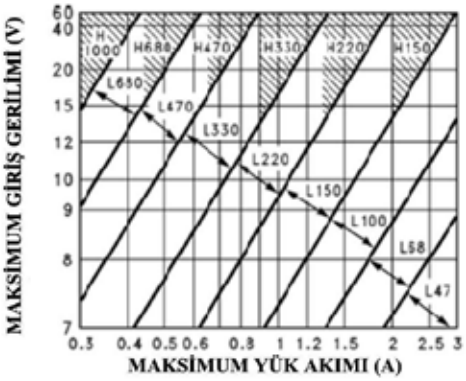
3.1. Kullanılan Elemanlar

Bu bölümde dönüştürücünün parametrelerini elde etmek için gerekli tasarım denklemlerinin analizi yapılacaktır.
Endüktans Seçimi: Sürekli iletim modundaki çalışmada bobin akımının sıfıra düşmesi istenmediği için anahtarlama elemanı kesimde iken bobinde depolanan enerji sıfıra düşmeyecek büyüklükte bir değer seçilmelidir.[9]



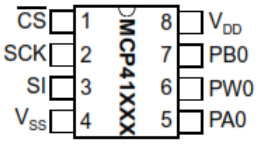
Şekil 6. Bobinden Geçen Anlık Akım Dalga Şekli

Şekil 7'deki seçim yönergesine göre 15V ve 3A, L100'de kesişmektedir. İhtiyaç duyulan bobin 100µH'dir.



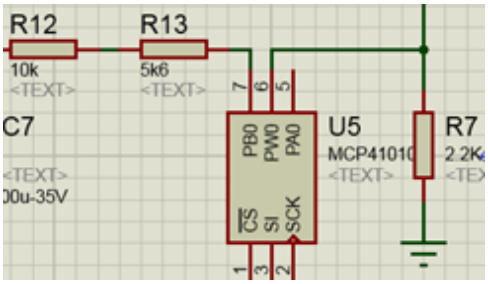
Şekil 7. Endüktans Seçim Tablosu

Çıkış Kapasitans Seçimi: $C_ç$= 680µF ila 2000µF standart alüminyum elektrolittir.
Diyot Seçimi D1: (1N5822) Genelde senkron dönüştürücünün güç verimliliği senkron olmayanlara göre oldukça fazladır. Bunun nedeni senkron olmayan durumda diyot üzerinde oluşan gerilim düşümünün daha fazla güç tüketimine neden olmasıdır. Bu problem schottky diyotu kullanılarak düzeltilebilir (düşürülebilir). Schottky diyotunda oluşan gerilim düşümü normal diyota göre çok azdır.[10]
Giriş Kapasitans Seçimi: 100 µF, 63 V
Direnç Seçimi (MCP41010 Digital Potansiyometre): MCP41010 standart mekanik potansiyometrelerin yerine kullanılabilen 256 pozisyonlu dijital potansiyometrelerdir. Ayarlanabilir bir dirençten ve silici pozisyonunu belirleyen 8 bit (256 pozisyon) veri kaydedicisinden meydana gelir.



Şekil 8. MCP41010 Pinleri

Mikrodenetleyicinin çıkış pini dijital potansiyometrenin giriş pinine bağlanır bu sayede data mikrodenetleyiciden çıkacak ve buna bağlanmış olacaktır.
Sabit Direnç Seçimi: LM2576'nin çıkış gerilimi dirençlere bağlıdır. MCP41010 terminal akımı 1 mA'nın altında olmalıdır [11]. Dirençler yüksek tutulup bu şart sağlanmalıdır. Bu sebeple belirli bir değerin altında MCP41010 kullanmak risklidir.
2.2k Seçimi: Akımı belirleyen, 1.23 volt referans gerilimin üzerine düştüğü direnç bu dirençtir. 1.23k/0.559 mA=2.2k bulunur.
15.6k Seçimi: Bu yaklaşık bir hesaptır. Akü için maksimum 14,4 volt gerilim gereklidir. Bu gerilimin 1.23 voltu 2,2k direncin üzerine düşecektir. Terminaller arası maksimum gerilim ise 5.6-1.23 volttur. Bu da (15-5,6 V)/0.559mA=16.8k eder.



Şekil 9. Sabit Direnç ve Pot Bağlantısı

Herhangi bir akünün deşarj sırasında gerilimi 10,8 volt (1,8V*Hücre) altına düşürülmemelidir. Aksi takdirde kapasitesinin büyük kısmını kaybeder. Güvenli bölgede üst kesme gerilimiyse 14,4 volttur (2,4V*Hücre). Dijital potansiyometrenin değerleri bu durumlar denklem 3 ve denklem 4'e göre hesaplanmıştır.

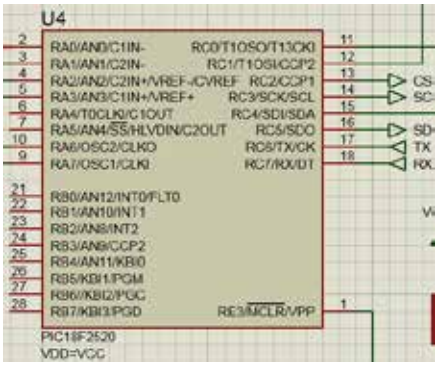
$$R = (D_{POT} \div 256) \times 10k \quad (3)$$

$$V_{out} = (((10k + 5.6k + R) \div 2.2k) + 1) \times 1.23 \quad (4)$$

İlk değer 40 seçilir ve o da R=1.56k ve Vout=10.824 volta karşılık gelmiştir.
İkinci değer ise 8 bitten geriye kalan yaklaşık 210 değeridir. R=8.3k , Vout=14.592 volt değerlerine karşılık gelmiştir.

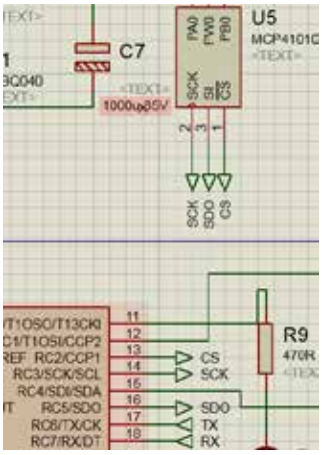
4. Denetleyici tasarımı

Anahtarlamalı mod güç dönüştürücüleri lineer olmayan sistemlerdir. Bu non-lineerlik yarıiletken elemanın anahtarlama yapmasındandır. Anahtarlama eylemi devre elemanlarının periyodik aralıklarla konumlarını değiştirmesinin sonucudur. Bu zor görev ise denetleyicinindir.[5]
Kontrol devresi için çok farklı yapılar kullanılabilir. Bu makalede dönüştürücü yapının kontrol devresinde Microchip firmasının 28 pinli Pic18F2520 tip mikrodenetleyicisi kullanılmıştır.



Şekil 10. Pic 18F2520 Proteus Görüntüsü

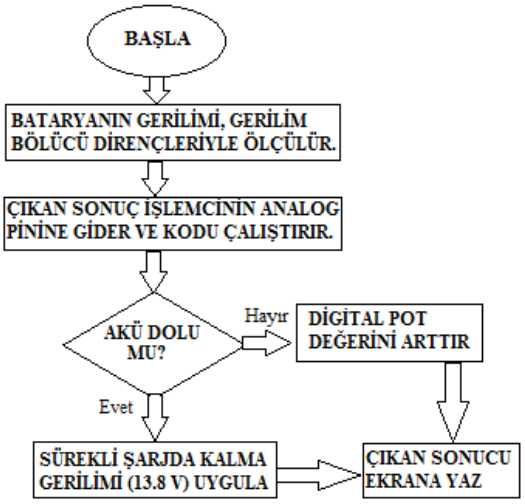
A Portu: A portu analog giriş pinlerini tanımlar. Uygulamalarda analog sinyal, gerilim bölücü dirençler ile elde edildiğinde gerilim bölücülerin analog uçlarında (A0,A1,A2) ve ACS712 akım sensörünün V_{out} pininde A portu kullanılmıştır.
C Portu: Devrede C portu seri haberleşme (C2,C3,C5,C6,C7) ve LED (C0,C1,C4) bağlamak için kullanılmıştır.



Şekil 11. C Portunun SPI Haberleşmede Kullanımı

4.1. Kontrol Algoritması

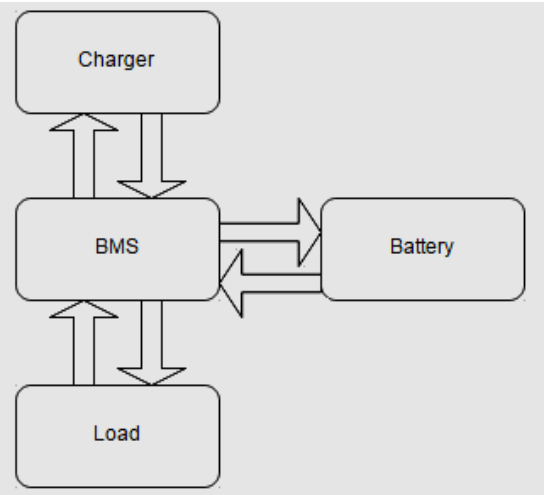
Denetleyicinin şarj gerilimini koruması için şekil-12'deki algoritma kullanılır. CC-CV ile akü şarj olayı devredeki LM2576, MCP41010 ve PIC18F2520'nin haberleşmesiyle gerçekleşir. Denetleyicinin gönderdiği bilgiye göre dijital potansiyometre direnç değerini değiştirip LM2576'nın çıkış gerilimi ayarlanacaktır.



Şekil 12. Akü Şarjı için Kontrol Algoritması

5. Batarya Yönetim Sistemi

Batarya yönetim sistemi (BMS) pili aşırı şarjdan, aşırı deşarjdan ve aşırı ısı durumundan koruyan yönetim etkinliğidir. Bu etkinlik hesaplama, iletişim ve koruma işlevini izler. BMS bataryayı korumak ve akımı denetlemek için akıllı elektronik anahtarlama kullanır. [12] Güç yönetimi devresi elektromekanik bir sistemin işlevini yerine getirirken kullandığı enerjiyi en ekonomik şekilde kullanabilmesi için, sistemin kullanılmayan kısımlarının enerjisini azaltan veya kapatan, bataryaların durumunu kullanıcıya bildiren, pillerin zayıflaması durumunda şarj edilmesini sağlayan devrelerdir.[13] Pilli ürünler için güç verimliliği doğrudan batarya ömrünü etkiler. Bu bataryanın tam şarj olduğu durumda bile yüksek verimli olmasını gerektirir. [10]



Şekil 13. Batarya Yönetim Sistemi

Batarya, sürekli sabit bir akımla tamamen doluncaya kadar şarj edilir. Sabit akımı sürdürmek için kullanılan R direncine karşı gerilim artacaktır. Gerilim sürekli olarak denetlenir ve giriş operasyonu A/D çeviricisine sahip bir mikrodenetleyicinin kontrolü altındadır. Bataryanın tam şarj olmaması kapasitesinin düşmesine, elektrolitten istenmeyen gazların çıkışına ve belki de bataryanın patlamasına sebep olabilir.[13]

Kurşunlu aküleri şarj ederken dikkat edilmesi gereken iki önemli husus vardır. Birincisi; şarj akımının akü kapasitesinin 1/10'undan fazla olmaması (ki bu devremizde akım sınırlamasıyla sağlanmaktadır), ikincisi de akü gerilimini 14,4 voltun üzerine çıkartmamaktır (bu da yine devrede gerilim sınırlaması ile gerçekleşmektedir). Bir diğer husus da, akü şarj edilirken tam kapasiteye erişebilmek için akü gerilimi 14,4 volta kadar yükseltilmelidir. Daha sonra da aküyü tam dolu seviyede uzun süre tutabilmek amacıyla, uygulanan gerilim 13,8 volt seviyesine indirilir. Bu gerilim çok uzun süreler uygulanabilir ki, bu şarj aşamasına sürekli (float) şarj denir. Bu durumda akünün kaynama ve aşırı şarj riski ortadan kalkar. Devre bu olanağı da sunacak şekilde tasarlanmıştır. Aslında şarj devresi ve BMS bağımsız olarak çalışır. Şarj işlemi sırasında herhangi bir tehlikede BMS elektronik anahtarlamayla kontrol ederek batarya hücrelerini koruyacaktır. Ne zaman bir hücre tam gerilim seviyesine eriştiğinde BMS durumu algılar ve anahtarı kapatarak cevap verir. [14]

Bu çalışmada, kontrol cihazından verileri almak ve testleri kontrol etmek için Windows PC üzerinde çalışan National Instrument (NI) LabView gerçek zamanlı yazılım ve donanımı kullanılarak maksimum şarj ve deşarj gerilimi kontrol edilmektedir.

LabVIEW grafiksel programlama dili teknolojisi ile programlamada yeni bir dönemi başlatmıştır. Sembolleştirilmiş komut setine sahiptir. Dolayısı ile komut ezberleme zorluğunu ortadan kaldırmıştır. Programcı paletlerden ihtiyacı olan fonksiyonları alarak bir akış şeması oluşturur gibi yazılım üretebilmektedir ve onlarca programı dakikalar içerisinde üretebilir. Böyle bir işlem, diğer programlama dilleri ile günlerce sürebilir.

5.1. NI compactDAQ-9178

NI cDAQ-9178 küçük, taşınabilir, karışık-ölçüm test cihazları için tasarlanmış sekiz yuvalı NI CompactDAQ şasesidir. NI CompactDAQ sistemleri sensörden gelen ölçümleri akım, gerilim ve dijital sinyallerle birleştirerek bilgisayarlarla basitçe bağlanabilen özel ölçüm sistemleri oluşturur ve bu ölçümleri USB vasıtası ile çıkışa aktarabilir.

Şekil 14. NI cDAQ-9178

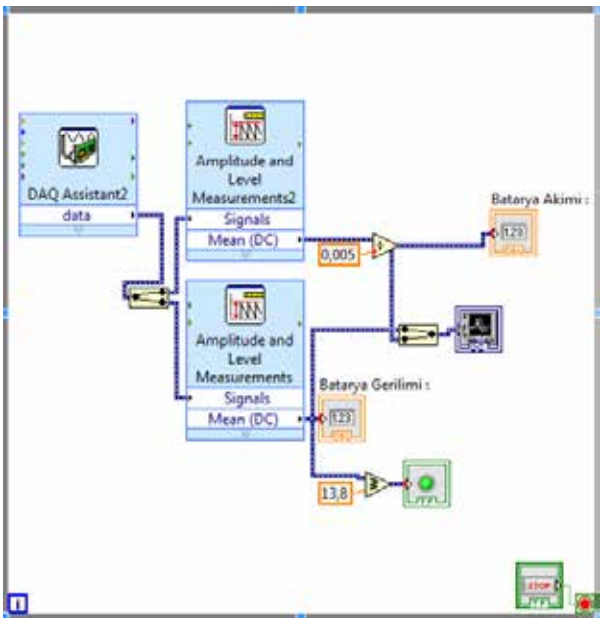
5.2. Analog Giriş Modülü (NI 9229)

NI9229 herhangi bir NI CompactDAQ ya da CompactRIO şasesinde kullanılmak üzere 4 kanallı 24 bit C serisi analog giriş modülüdür. Her kanalda ± 60 Volt aralığında gerilim okunabilir. Bu çalışmada modül bataryanın gerilimini okuma amaçlı kullanılmıştır. Diferansiyel özelliğiyle kullanıcıya büyük bir rahatlık sağlamıştır. Her kanaldaki toprakların (ground) ayrı olması aynı anda ayrı ayrı cihazları bağlayabilme olanağı sunar.

Şekil 15. NI 9229 Analog Giriş Modülü

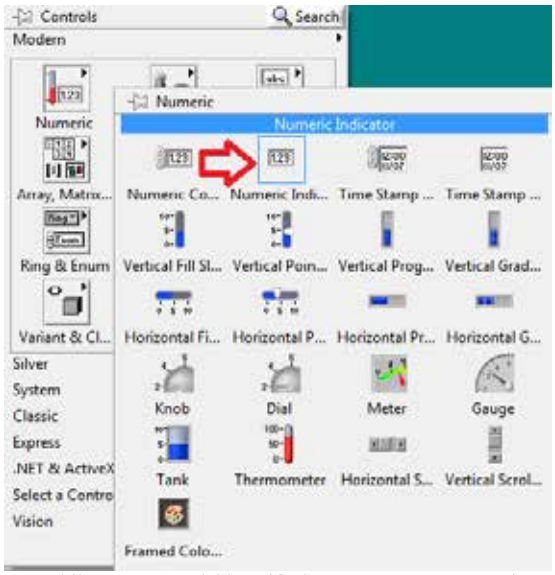
LabVIEW ekranı "Block Diagram" ve "Front Panel" olmak üzere iki ana kısımdan oluşur. Şekil-16'da gösterilen Front Panel kullanıcın bilgilendirildiği kısımdır. Okuma bu ekranda yapılır. Blok diyagram adı ile nitelendirilen kısım görsel programlama dillerinde kod yazma bölümüne karşılık gelmektedir. (Şekil-17) Kullanıcı bu ekranla muhatap değildir.

Şekil 16. Front Panel



Şekil 17. Block Diagram

Şarj gerilimini okumak için Front Panel'in Controls sekmesinden faydalanılır. Pasif okuma yapılacağı için numerik indikatör kullanılmıştır.



Şekil 18. Ara Yüzdeki Pasif Okuma Yapma Göstergesi

Analog verileri grafik şeklinde okumak icin Front Panel'in Controls sekmesinden faydalanılmıştır.

Şekil 19. Ara Yüzde Bulunan Grafik Ekranı

6. Sonuç

Bu çalışmada mikrodenetleyici kontrollü buck dönüştürücü sunulmaktadır. Batarya yönetim sistemiyle desteklenen ve step-down gerilim regülatörünün kullanımıyla akünün etiket değerlerine uygun verimli şarj işlemi gerçekleşmiştir. Gerçekleştirilen kontrol devresinde düşük maliyeti, yüksek hızlarda çalışabilmesi ve ısınma probleminin olmamasından dolayı LM2576-ADJ step-down gerilim regülatörünün kullanılması önerilmektedir. Ayrıca kontrol sistemiyle birlikte kullanılan bataryalardan hem daha fazla enerji çekilebilir hem de ömürleri daha uzun olur. Yani akünün dilinden anlayarak ihtiyaca göre uygun değerlerde şarj/deşarj edilirse yıllarca kullanılmış olur. Bu parametreleri göz önüne aldığımızda elektrokimyasal enerji depolamada verimin arttırılması için gerekli çalışmalar yapılmış ve verimli enerji depolanması için bir çözüm üretilmiştir. Gelecekte batarya enerji depolama sistemleri, modern güç kaynağı sistemlerinin vazgeçilmez bir parçası olacaktır.

7. Kaynaklar

[1] Salem, M. Jusoh, A. and Rumzi Idris, N., "Implementing Buck Converter for Battery Charger Using Soft Switching Techniques", *IEEE 7th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOC0)*, pp. 188-192, 3-4 June 2013.

[2] Siguang, L. Chengning, Z. and Shaobo, X., "Research on Fast Charge Method for Lead-acid Electric Vehicle Batteries", *İnternational Workshop Intelligent Systems and App*., pp. 1-5, 2009.

[3] Keskin, N. and Huaping Liu., "Fast Charging Method for Wireless and Mobile Devices using Double-Pulse Charge Technique", *Wireless Power Transfer Conference (WPTC)*, pp. 44-47, 2014.

[4] Van Der Broeck, C.H. De Doncker, R.W. Richter, S.A. and Bloh, J.V., "Unified Control of a Buck Converter for Wide Load Range Applications", *Applied Power Electronics Conf. And Exposition (APEC)*, pp. 2788-2795, 2014.

[5] Ali, H. Zheng, X. Wu, X. Khan, S. and Awan, D. "Frequency Domain Based Controller Design for DC-DC Buck Converter", *12th Intern. Bhurban Conf. Applied Sciences and Technology (IBCAST)*, pp. 146-151, 2015.

[6] Iqbal, Z. Nasir, U. Rasheed, M. and Munir, K., "A Comparative Analysis of Synchronous Buck, Isolated Buck and Buck Converter", *IEEE 15th Intern. Conf. Environment and Elect. Engineering (EEEIC)*, pp. 992-996, 2015.

[7] Park, W. Nguyen, V. Son, H. Lee, M. Song, H. and Kim, N., "Design of a Step-Down DC-DC Converter for Mobile LED Applications", *IEEE Intern. Conf. Signal Processing Communication and Computing (ICSPCC)*, pp. 1-4, 2013

[8] Texas Instruments LM2576 Datasheet

[9] Adak, S. Cangi, H. Alhilal, S. and Dinç, Y., "Yükselen (boost) DC-DC Konvertörin Simulink ve Analizi", *ETMD*, ISSN 1304-2556, 86, 2015.

[10] Chung, Y.W. Mahendra, S.R. Liou, W.R. and Cheng, C.Y., "A Novel Dual-Mode Synchronous High Efficiency Buck Converter with Adaptive Deadtime Control", *Intern. Conf. Communications Circuits and Systems (ICCCAS)*, pp. 541-545, 2010.

[11] Microchip MCP41010 Datasheet

[12] Dwi Indra, W. A Majid, I. Sya'bani, F. Fauzi Rahman, R. Imam Cahyadi, A.,"Battery Modeling for Lithium Polymer Battery Management System", Joint Intern. Conf. (rlCT&ICeV-T), pp. 1-4, 2013.

[13] Uzun, T.,"Şarj Edilebilen Bataryalar ve Şarj Devreleri".

[14] Fattal, J. Bou Dip Nabil Karami, P., "Review On Different Charging Techniques of a Lithium Polymer Battery", *Third Intern. Conf. (TAEECE)*, pp. 33-38, 2015.

EEMKON 2015 Elektrik Elektronik Mühendisliği Kongresi

19, 20, 21 Kasım

Harbiye Askeri Müze Kültür Sitesi

Simülasyondan Robotlu Uygulamaya

Kerem İzgöl

Senem Tanberk, Bilgisayar Mühendisliği

Özgür Acar

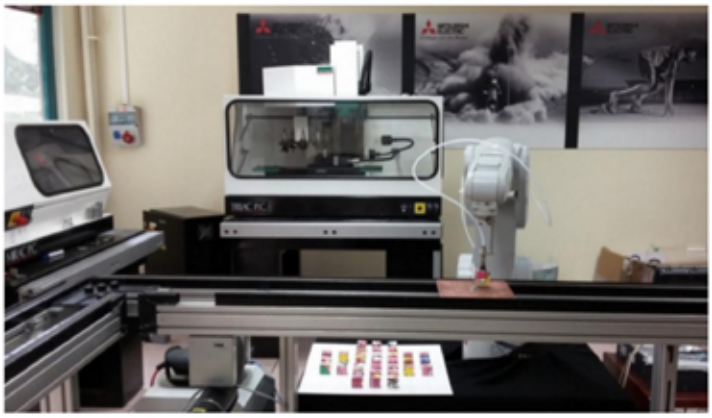
Georgi Dimirovski

Yrd. Doç. Dr. Dilek Tükel, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği

Sunum Akışı

1) Çalışmanın Amacı
2) Çalışmada Kullanılan Araçlar
3) Uygulama Akışı
4) Solo Test Zeka Oyunu
5) Oyunun Kuralları
6) Solo Test Oyunu Hamlelerinin Hesaplatılması (Level Order Tree ve Kuyruk Yapısı Kullanılarak)
7) Robot Üzerinde Koşan Solo Test Yazılımının Algoritması
8) Solo Test Robot Simülasyonu
9) Sonuçlar
10) Sisteme Ait Resimler ve Videolar

1) Çalışmanın Amacı



Bu çalışmada endüstriyel bir robot, ilk olarak simülasyon ortamında solo test oyununu oynayacak şekilde programlanmış, sonrasında gerçek robot kullanılarak oyunda işlevi biten taşlar palete dizilip, paletleme uygulaması da gerçekleştirilmiştir.

Dağıtık mimarili kontrol yapısı ile esnek üretim hattı kurulmuştur.

Yapılan çalışma, endüstriyel sistemlerde imalat aşamaları tamamlanmış ürünlerin paletleme işlemine örnektir.

Doğuş Üniversitesi, Simülasyondan Robotlu Uygulamaya

2) Çalışmada Kullanılan Araçlar

Yazılım

- **Simülasyon Tool ları**

Cosimir, RT Toolbox2.

- **Programlama Dilleri ve DB**

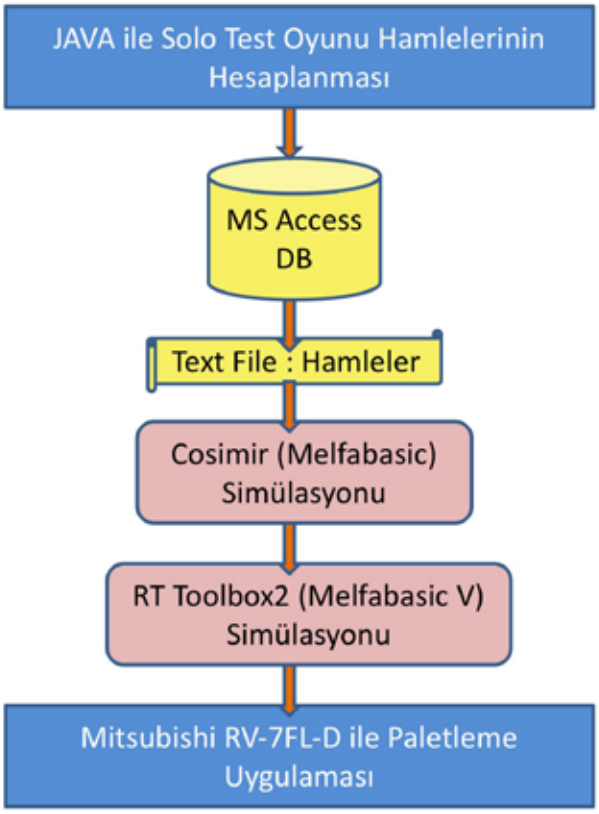
Java, Melfabasic V, MS Access DB.

Donanım

- **Mitsubishi RV-7FL-D serisi 6 eksenli robot**
- **Mitsubishi FX serisi FX3GU-24 PLC**
- **Mitsubishi FX3U-16CCL-M CC-Link master modülü**
- **2 x Mitsubishi AJ65SBTB1-32DTE1 CC-Link I/O modülü**
- **SMC VV5Q21 valf adası**

Doğuş Üniversitesi, Simülasyondan Robotlu Uygulamaya

3) Uygulama Akışı



Doğuş Üniversitesi, Simülasyondan Robotlu Uygulamaya

4) Solo Test Zeka Oyunu

Solo Test zevkli ve zeka geliştirici oyunlardan biridir. Kendi kendine oynanır. Özellikle çocuklar için çok eğiticidir, zeka ve beceri geliştirir.

Doğuş Üniversitesi, Simülasyondan Robotlu Uygulamaya

5) Oyunun Kuralları

- Oyun tahtasında 33 adet boş hücre vardır, tahtanın tam ortasındaki hücre boş bırakılmak sureti ile 32 adet piyon boş hücrelere yerleştirilir. Oyun tahtasının ortasındaki boşluk oyunun başlama noktasıdır.
- Oyunda piyonlar sağa/sola/yukarı/aşağı yönde hareket ettirilebilir. Piyonlar çapraz hareket ettirilemez.
- Oyun piyonu sağ/sol/yukarı/aşağı yönde yer alan başka bir piyonun üzerinden atlatılarak, hemen ardındaki boş hücreye yerleştirilir ve üzerinden atlanan piyon yenir.
- Oyunun amacı, artık hiçbir piyon oyun kuralına göre sağ/sol/yukarı/aşağı yönde hareket ettirilemeyecek duruma geldiğinde, en az sayıda piyonu bırakmış olmaktır. Kalan piyon adedine göre, oyun sonucu değerlendirilir.

Doğuş Üniversitesi, Simülasyondan Robotlu Uygulamaya

5) Oyunun Kuralları

Oyun tahtası üzerinde kalan piyon sayısına göre çeşitli skorlar mevcuttur. En iyi skor, oyun tahtası üzerinde sadece bir piyonun kalmasıdır.

Kalan Piyon	Skor
1 piyon	200 Puan
2 piyon	175 Puan
3 piyon	150 Puan
4 piyon	125 Puan
5 piyon	100 Puan
6 piyon	75 Puan
7 piyon	50 Puan

Solo Test değerlendirme cetveli ve puanları

Doğuş Üniversitesi, Simülasyondan Robotlu Uygulamaya

6) Solo Test Oyunu Hamlelerinin Hesaplatılması (Level Order Tree ve Kuyruk Yapısı Kullanarak)

İlk olarak Solo Test oyununun arama uzayı oluşturulmuştur. Oyunun çözüm ağacında yer alan bu hamleler, Level Order Tree ve Kuyruk Yapısı kullanılarak bir prosedür ile hesaplatılmış ve oyun ağacı DB ye kaydedilmiştir. Hesaplanan hamlelerin DB ye yazılması sirasinda vakit kaybedilmesi nedeniyle, arama algoritmasını hızlandırmak için eleme stratejisi geliştirilerek sonuç skorları makul sürede hesaplanmıştır.

Çözüm ağacını oluşturan prosedür ile, database de 8585713 node oluşturulmuş, 1 den 26 ya kadar farklı skorlar içeren 37397 çözüm hesaplatılmıştır. DB de oluşturulan, 1 den 26 ya kadar bu skorlarlardan örnekler seçilerek, oyun hamleleri bir text dosyaya alınmıştır. Daha sonra bu text dosyada yer alan oyun hamleleri, Melfabasic robot programında statik olarak üç ayrı diziye (V_HAMLE1, V_HAMLE2, V_HAMLE3) atanmıştır. Bu diziler hangi pozisyondaki piyonların hangi sırada alınacağı bilgisine dair indisleri tutar. Bu değerler kullanılarak Mitsubishi RV-7FL robot pozisyon kontrolü yapılmıştır.

JAVA ve MS Access DB kullanılmıştır.

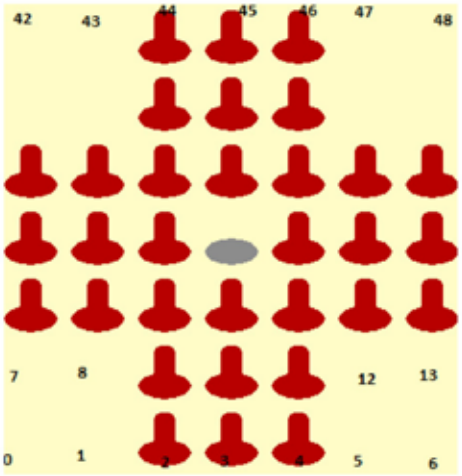
Table_SoloTestMoves
Table_SoloTestMoves_Temp
Table_SoloTestSonuc

Table_SoloTestSonuc | Table_SoloTestMoves

level	number	birinci_piyon_1	birinci_piyon_2
32	2	10	15
32	1	10	15
31	93	10	15

6) Solo Test Oyunu Hamlelerinin Hesaplatılması (Level Order Tree ve Kuyruk Yapısı Kullanarak)

SoloTest oyun tahtası bir matris olarak düşünülmüş, her hücreye bir indis değeri atanmıştır.



Table_SoloTestSonuc | Table_SoloTestMoves

ID	c_level	c_number	data	evaluate	parent_level	parent_number
8585752	32	1	9900099990009900000000000000000000000099000999901099	2	31	22
8585727	31	5	9900099990009900000000000000000000000099000999910199	2	30	28
8584366	29	1457	9900099990009900000000000000000000000099111999901099	2	28	4063

Doğuş Üniversitesi, Simülasyondan Robotlu Uygulamaya

6) Solo Test Oyunu Hamlelerinin Hesaplatılması (Level Order Tree ve Kuyruk Yapısı Kullanarak)

Kuyruk Yapısı :

Çözüm ağacındaki her seviye DB de bir kuyruk (queue) yapısında tutulur. Başlangıç durumu olan root node, Level 1'daki kuyruğa yazılır. Level Order Tree kullanılarak, başlangıç node unun oyunun kuralına göre hesaplanan child node ları Level 2'deki kuyruğa eklenir. İşlem her level için tekrarlanır.

Db de tutulan aynı level daki node'lar için, oyun tahtasındaki piyon sayısı aynıdır. Level numarası arttıkça piyon sayısı 1 azalır. Örneğin Level 1'de tahta üzerinde 32 piyon vardır, 1 piyon kalan skor ise Level 32 de bulunur.

DB deki oyun ağacının tablo deseni :

Table_SoloTestMoves : Table

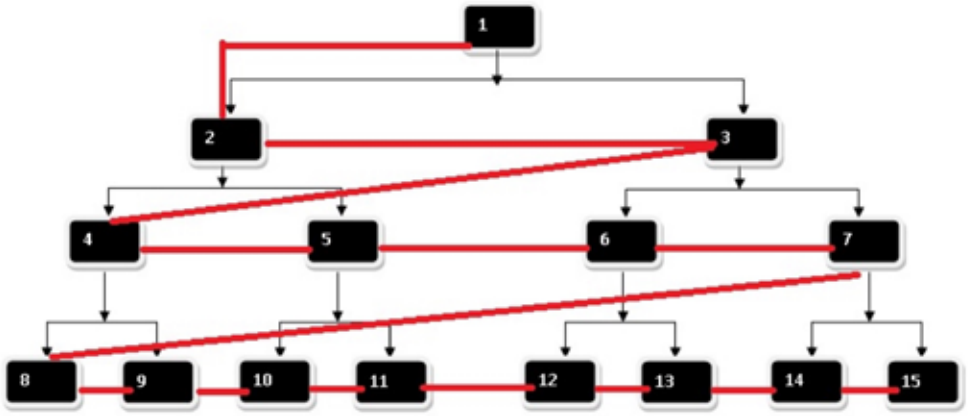
Field Name	Data Type
level	Number
number	Number
data	Text
evaluate	Number
parent_level	Number
parent_number	Number
move_pawn_skip_no	Number
move_pawn_locate_no	Number
move_pawn_remove_no	Number
for_one_pawn	Number
is_it_score	Number

6) Solo Test Oyunu Hamlelerinin Hesaplatılması (Level Order Tree ve Kuyruk Yapısı Kullanarak)

Node yapısı

Doğuş Üniversitesi, Simülasyondan Robotlu Uygulamaya

6) Solo Test Oyunu Hamlelerinin Hesaplatılması (Level Order Tree ve Kuyruk Yapısı Kullanarak)



Level Order Tree Traversal :

Çözüm ağacı Level Order Tree Traversal kullanılarak oluşturulmuştur.

Örneğin yukarıdaki ağaç Level Order yaklaşımıyla aşağıdaki sırada oluşur :
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15

Çözüm ağacı iteratif yöntemle oluşturulmuştur :
Root dan başlanır ve kurallar uygulanarak child node lar oluşturulur. Her yinelemede, ağaçta bir seviye daha oluşur ve dolayısıyla yineleme sayısı ağacın yüksekliğine eşit olur.

Doğuş Üniversitesi, Simülasyondan Robotlu Uygulamaya

6) Solo Test Oyunu Hamlelerinin Hesaplatılması (Level Order Tree ve Kuyruk Yapısı Kullanarak)

Hesaplanan ve DB ye Alınan Oyun Hamleleri

Skor	Level	Toplam Çözüm Sayısı
1	32	2
2	31	26
3	30	186
4	29	829
5	28	2336
6	27	5448
7	26	7786
8	25	8430
9	24	5806
10	23	3551
11	22	1311
12	21	432
13	20	209
14	19	35
15	18	1
17	16	3
18	15	2
21	12	2
22	11	1
26	7	1
TOPLAM		37397

Doğuş Üniversitesi, Simülasyondan Robotlu Uygulamaya

7) Robot Üzerinde Koşan Solo Test Yazılımının Algoritması

1-) Oyun hamleleri için gerekli olan aşağıdaki dizilere ilk değerleri statik olarak atanır. Bu diziler hangi pozisyondaki piyonların hangi sırada alınacağı bilgisine dair indisleri tutar.

V_HAMLE1 = 10 : Game array ilk piyon için : Hareket edecek piyon indisi
V_HAMLE2 = 24 : Game array ikinci piyon için : Piyonun konacagi bos hücre indisi
V_HAMLE3 = 17 : Game array ucuncu piyon için : Yenen piyonun indisi

2-) Sepet başlangıç pozisyonu, oyun tahtası başlangıç pozisyonu, oyun tahtasındaki bir piyon için hücre büyüklüğü gibi değişkenlere ilk değerleri statik olarak verilir.

P_TRASH : Sepet baslangic pozisyonu : Yenen piyonların konacağı sepet
P_BOARD : Oyun tahtası baslangic pozisyonu : 0. indisteki piyon için uygun gripper koordinatları
C_LENGTH : Cell Length : Piyon tahtasindaki bir piyon için hücre büyüklüğü

7) Robot Üzerinde Koşan Solo Test Yazılımının Algoritması

3-) Robotun pick işlemi : V_HAMLE1 dizisindeki piyon, yani ilk piyon oyun tahtası üzerinden alınır.

4-) Robotun place işlemi : Alınan piyon, V_HAMLE2 dizisinde belirtilen oyun tahtası üzerindeki boş hücreye bırakılır

5-) Yenen piyon için pick işlemi : V_HAMLE3 dizisindeki yenen piyon, yani üçüncü piyon oyun tahtası üzerinden alınır.

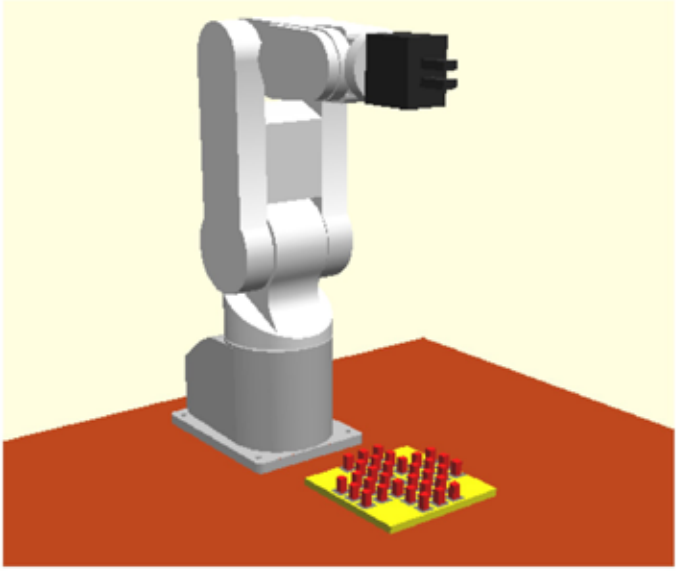
6-) Yenen piyon, P_TRASH pozisyonundaki sepete bırakılır.

7-) 3. maddeden itibaren 7. maddeye kadar işlem 32-Skor(en son kalan piyon sayısı) kadar tekrar edilir.

8-) Robot kol başlangıç pozisyonuna taşınır ve oyun biter.

Doğuş Üniversitesi, Simülasyondan Robotlu Uygulamaya

8) Solo Test Robot Simülasyonu

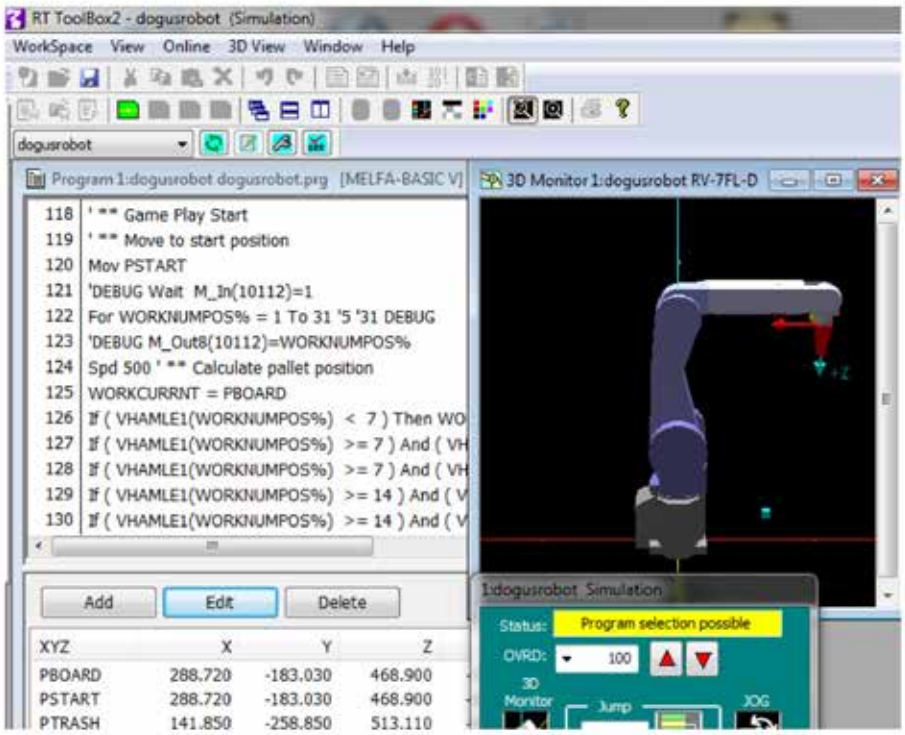


- Melfabasic ve Cosimir ile önce RV-2AJ ve Mitsubishi RV-3AL robot kolun programlanması ve simülasyonu yapıldı.

Doğuş Üniversitesi, Simülasyondan Robotlu Uygulamaya

8) Solo Test Robot Simülasyonu

- Cosimir de yazılan program, entegre sistemdeki senaryoya göre RT Toolbox 2 ile revize edildi.
- Revize edilen program Mitsubishi RV-7FL robot üzerinde koşuldu.



Doğuş Üniversitesi, Simülasyondan Robotlu Uygulamaya

8) Solo Test Robot Simülasyonu

```
DIM  V_HAMLE1(31) ' Game array ilk piyon icin
DIM  V_HAMLE2(31)  ' Game array ikinci piyon icin
DIM  V_HAMLE3(31)  ' Game array ucuncu piyon icin

V_HAMLE1(1) = 26      V_HAMLE2(1) = 24      V_HAMLE3(1) = 25
V_HAMLE1(2) = 11      V_HAMLE2(2) = 25      V_HAMLE3(2) = 18
V_HAMLE1(3) = 20      V_HAMLE2(3) = 18      V_HAMLE3(3) = 19
V_HAMLE1(4) = 34      V_HAMLE2(4) = 20      V_HAMLE3(4) = 27
V_HAMLE1(5) = 17      V_HAMLE2(5) = 19      V_HAMLE3(5) = 18
V_HAMLE1(6) = 20      V_HAMLE2(6) = 18      V_HAMLE3(6) = 19
V_HAMLE1(7) = 25      V_HAMLE2(7) = 11      V_HAMLE3(7) = 18
V_HAMLE1(8) = 15      V_HAMLE2(8) = 17      V_HAMLE3(8) = 16
V_HAMLE1(9) = 2       V_HAMLE2(9) = 16      V_HAMLE3(9) = 9
V_HAMLE1(10) = 11     V_HAMLE2(10) = 9      V_HAMLE3(10) = 10
V_HAMLE1(11) = 4      V_HAMLE2(11) = 2      V_HAMLE3(11) = 3
V_HAMLE1(12) = 17     V_HAMLE2(12) = 15     V_HAMLE3(12) = 16
V_HAMLE1(13) = 14     V_HAMLE2(13) = 16     V_HAMLE3(13) = 15
V_HAMLE1(14) = 29     V_HAMLE2(14) = 15     V_HAMLE3(14) = 22
V_HAMLE1(15) = 28     V_HAMLE2(15) = 14     V_HAMLE3(15) = 21
V_HAMLE1(16) = 15     V_HAMLE2(16) = 17     V_HAMLE3(16) = 16
V_HAMLE1(17) = 2      V_HAMLE2(17) = 16     V_HAMLE3(17) = 9
V_HAMLE1(18) = 17     V_HAMLE2(18) = 15     V_HAMLE3(18) = 16
V_HAMLE1(19) = 14     V_HAMLE2(19) = 16     V_HAMLE3(19) = 15
V_HAMLE1(20) = 23     V_HAMLE2(20) = 9      V_HAMLE3(20) = 16
V_HAMLE1(21) = 37     V_HAMLE2(21) = 23     V_HAMLE3(21) = 30
V_HAMLE1(22) = 32     V_HAMLE2(22) = 30     V_HAMLE3(22) = 31
V_HAMLE1(23) = 30     V_HAMLE2(23) = 16     V_HAMLE3(23) = 23
V_HAMLE1(24) = 9      V_HAMLE2(24) = 23     V_HAMLE3(24) = 16
V_HAMLE1(25) = 23     V_HAMLE2(25) = 25     V_HAMLE3(25) = 24
V_HAMLE1(26) = 46     V_HAMLE2(26) = 32     V_HAMLE3(26) = 39
V_HAMLE1(27) = 25     V_HAMLE2(27) = 39     V_HAMLE3(27) = 32
V_HAMLE1(28) = 44     V_HAMLE2(28) = 46     V_HAMLE3(28) = 45
V_HAMLE1(29) = 46     V_HAMLE2(29) = 32     V_HAMLE3(29) = 39
V_HAMLE1(30) = 33     V_HAMLE2(30) = 31     V_HAMLE3(30) = 32
V_HAMLE1(31) = 31     V_HAMLE2(31) = 45     V_HAMLE3(31) = 38
```

- Simülasyonda kullanılan örnek bir statik oyun dizisi şekilde verilmiştir.
- Oynanabilecek olan oyunlar Melfabasic programının başında statik olarak program içinde uc ayri diziye(V_HAMLE1, V_HAMLE2, V_HAMLE3) alınmıştır.
- Bu dizilere göre robot pozisyon kontrolü yapılmıştır.

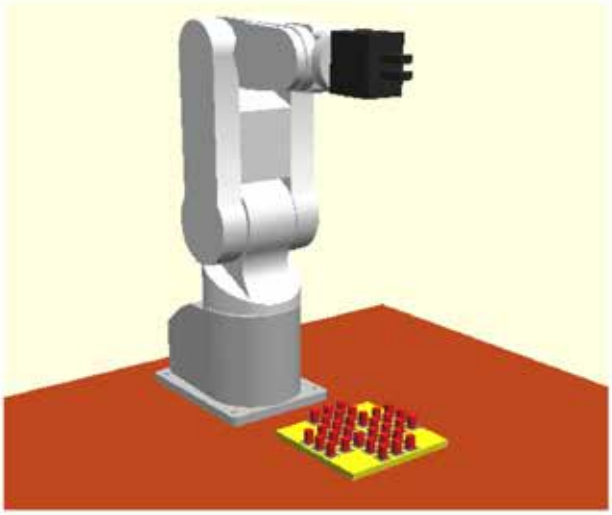
Doğuş Üniversitesi, Simülasyondan Robotlu Uygulamaya

9) Sonuçlar

- İlk olarak Solo Test oyununun kuralları uygulanarak çözüm ağacı hesaplatılmış ve DB ye alınmıştır. Oyunu başarıyla tamamlayabilmek için yapılması gereken hamleler arasından istenilen skora göre DB den seçim yapılmış ve robot programına aktarılmıştır.
- 6 eksenli bir endüstriyel robot olan Mitsubishi RV-7FL-D , ilk olarak Cosimir ve RT Toolbox 2 ile simülasyon ortamında solo test oyununu oynayacak şekilde programlanmıştır ve çalışması gözlenmiştir. Sonrasında simülasyon ortamında beklenildiği gibi çalıştığı gözlenen program robot üzerine yüklenmiş, kurulan sistem ile entegre çalıştırılarak robotun oyunda işlevi biten taşları palete dizmesi sağlanmıştır.
- Yapılan çalışma, endüstriyel sistemlerde imalat aşamaları tamamlanmış ürünlerin paletleme işlemine örnektir.
- Gerçekleştirilen uygulamalar, Java ile Veri Yapıları ve Uygulamalarına, MELFABASIC ile robot programlamaya, Cosimir/ RT Toolbox 2 robot simülasyonu uygulamasına birer örnektir, robotların pick&place uygulamaları için uygun bir modeldir, robot programlama konusunda eğitim amaçlı kullanılabilir.

Doğuş Üniversitesi, Simülasyondan Robotlu Uygulamaya

10) Sisteme Ait Resimler ve Videolar



Simülasyon Videosu

Gerçek Robot Videosu

Teşekkürler...

Doğuş Üniversitesi, Simülasyondan Robotlu Uygulamaya

ELEKTRİK KONTROL MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU-V

Oturum Yöneticisi: Prof. Dr. Serdar Özoğuz (İTÜ)

Enerji Yatırım ve Verimlilik Projelerinin Sıfır Noktasında Karar Vermeye Dönük Mühendislik Değerlendirme Kriterlerinin İncelenmesi
Dr. Levent Kılıç, Gürhan Dural, Bülent Eren, M. Akif Gül, Hakan Aytuğ (ŞİŞECAM)..... 226

Yenilenebilir Enerji Üretiminde Gazlaştırma Teknolojisi ile Biyokütle Kullanımı
Mustafa Tolay (TOLAY Enerji), Adre Waterschoot (VARCO Yenilenebilir Enerji) Luis Sanchez Angrill (EQTEC Iberia)..... 238

CNC Torna ve İşleme Merkezi Kontrol Sistem Tasarımı
Yrd. Doç Dr. Dilek Tükel, Özgür Acar (Doğuş Üniversitesi)..... 248

Yük Altında Kademe Değiştirici Transformatörler için Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı Tabanlı Kontrolör Tasarımı
Yrd. Doç. Dr. Kadir Abacı, Öğr. Gör. Zafer Özer (Mersin Üniversitesi)..... 253

Enerji Yatırım Ve Verimlilik Projelerinin Sıfır Noktasında Karar Vermeye Dönük Mühendislik Değerlendirme Kriterlerinin İncelenmesi

[1]*Levent Kılıç* [1]*Gürhan Dural* [2]*M. Akif Gül* [3]*Serdar Gençer*
[1]*Bülent Eren* [2]*Hakan Aytuğ*
[2]*Güngör Tezcan*
[2]*Emre Kuşkonmaz*
Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş.
İş Kuleleri Kule 3
4.Levent, 34330 Beşiktaş, İstanbul
[1]Enerji Verimlilik Müdürlüğü
[2]Merkez Satınalma Müdürlüğü
[3]Kurumsal Gelişim ve Sürdürülebilirlik Başkanlığı
lkilic@sisecam.com; gdural@sisecam.com;
beren@sisecam.com; makifgul@sisecam.com; haytug@sisecam.com;
gtezcan@sisecam.com; ekuskonmaz@sisecam.com; sgencer@sisecam.com

Özet

Enerji politikalarında temel kriter, enerjinin en ucuz, kesintisiz ve sürdürülebilir olmasını sağlamaktır. Azalan dünya kaynakları, verimli kullanılmaları zorunluluğunu da beraberinde getirmektedir.

Üretim tesisleri, birim ürününü, minimum enerji tüketimi ve atıkla gerçekleştirmeyi hedeflenmektedir. Ancak, projelerde öncelikle yatırım maliyetleri dikkate alınmakta ve en ucuz ekipmanın tedariği ile maksimum fayda sağlandığı sanılmaktadır.

Enerji kullanılacak ekipmanların ve sistemlerin mühendislik ekonomisi, teknolojik üstünlükler, optimizasyon, vb. bilimsel analiz yöntemlerinin değerlendirmeye alınarak sanayide kullanılması ve bu doğrultuda karar verilmesi en iyi sonuca ulaşmayı sağlayacaktır.

Bu bildiride, 17 fabrikayı kapsayan projelerden durum değerlendirmesi verilecektir. Sağlanan ilk yatırım maliyetleri, teknolojik farklılıkları karşılaştırılması, aynı baza getirilmesi, ekipman ömrü boyunca sağlanan faydalar konuların birbirleriyle bağlantı kurulmasıyla karşılaştırmalı verilmektedir. Bu konuda sanayiden literatüre katkı yok denecek düzeydedir.

1. Tedarikçinin Değerlendirilmesi

Bir malzemenin ya da ekipmanın kalitesi, bunu yapan şirketin olanaklarına, yapım ekibinin kalitesine, eğitimine, kalite anlayışına bağlılık göstermektedir. Yetersiz bilgi ve analiz aynı malzemenin ya da işin maliyetlerinde kaçınılmaz bir olumsuzluk yaratacaktır.

Kaynakların her gün gittikçe daha da sınırlanması, artık değerlendirme yöntemlerinin verimli, bilimsel ve disiplinlerarası yapılması gerekliliğini doğurmuştur. Kurumsal yapılarda, ihtiyaç sahibinin acil ihtiyaçları dışındaki malzeme, iş ya da sistemlerde ortaklaşa hareket edilmesinin ayrı bir politika olarak oluşturulması,

- Birim maliyetlerin minimize edilmesine,
- En uygun çözümün sağlanmasına,
- Aynı işin farklı kişilerce defalarca tekrarlanmasına, zaman yönetiminin etkin kullanılmasına,
- Mesleki görgü ve bilginin paylaşılmasına,
- Optimizasyon uygulamasına,
- Minimum ve maksimum noktaların belirlenmesine,
- Tüm işletmelerde standart ürünlerin kullanılmasına, böylelikle daha sonraki yedekleme ve bakım yönetim planlarının oluşturulmasına,
- Farklı disiplinlerin deneyim ve tecrübelerinin paylaşılması

gibi ilk etapta maliyetlere yansıdığı görülmeyen sayısız fayda sağlayacaktır [1,2].

Bu konuda literatüre uygulamadan sağlanmış fazla katkının olmadığı görülmektedir. Bu çalışma ile bunun uygulama örnekleri ile verilmesi amaçlanmaktadır.

2. Karar Verme Parametreleri

Karar verme süreci, sağlıklı olması için, bilimsel yöntemleri kullanmalıdır. Bu yöntemin parametreleri ise şunlardır:

- Problemin tanınması,
- Hedef ve amacın belirlenmesi,
- İlgili verilerin toplanması,
- Uygun seçeneklerin bulunması,
- Seçenekler hakkında bilgi edinerek karar vermek için ölçütlerin seçimi,
- Modellerin kurulması,
- Seçenek sonuçlar üzerine yorumlar yapılması,
- Amacı gerçekleştirmek için en iyi seçeneğin seçimi,
- Sonuçların kontrol edilmesi,
- Bir sonraki çalışmada referans olarak kullanılması.

Mühendisliğe ilişkin karar vermede verilerin en başta gelen kaynağı şirketin kendi kendini özeleştiri sistemidir. Problemi bilenlerle, problem ilişkin karar verenlerin aynı kişiler olması gerekmemesine ragmen, düşünce kutuları ve benzer programlar hakkında iç haberleşme ve ortak komisyonlar yarar sağlamaktadır [3].

3. Seçim Kriterleri ve Değerlendirilmiş Örnekler

Yatırım maliyetleri ve getirileri farklı olan seçenekler nasıl değerlendirilecektir? Mühendislik ekonomisindeki şimdiki değer analizi hesaplamalarının özellikle enerji tüketimleri ile karşılaştırmalı yapılması fayda sağlamaktadır. Alt bölümlerdeki her durum proje olarak değerlendirilmektedir [4].

3.1. Durum Çalışması -1

Proje ile, “Enerji Yönetim Sistemi” yazılımının Merkez’e kurularak 17 fabrikamızın enerji verilerinin izlenmesi, karşılaştırılması ve karar vericilere raporlanması sağlayacaktır [5-10].

Merkeze kurulacak yazılımın altyapısı mevcuttur. Ancak, fabrikaların yazılıma veri sağlayacak hazırlıkları ve yapıları, gerek ekipman ve gerekse de mimari yapı bakımından heterojen bir yapıda bulunmaktadır.

Teknik şartnamede fabrikalara göre değişkenlik arzeden bu yapının, aynı baza getirilmesi için verilerini bir OPC serverda toplamaları talep edilmiştir.

Ancak, fabrika proje sorumluları ile yapılan seri toplantı ve ziyaretlerde sadece OPC değil, lisanslar, ağ yapısı, ekipmanlar, SCADA/PLC/DCS, vb. endüstriyel otomasyon eksikliklerinin de olduğu tespit edilmiştir.

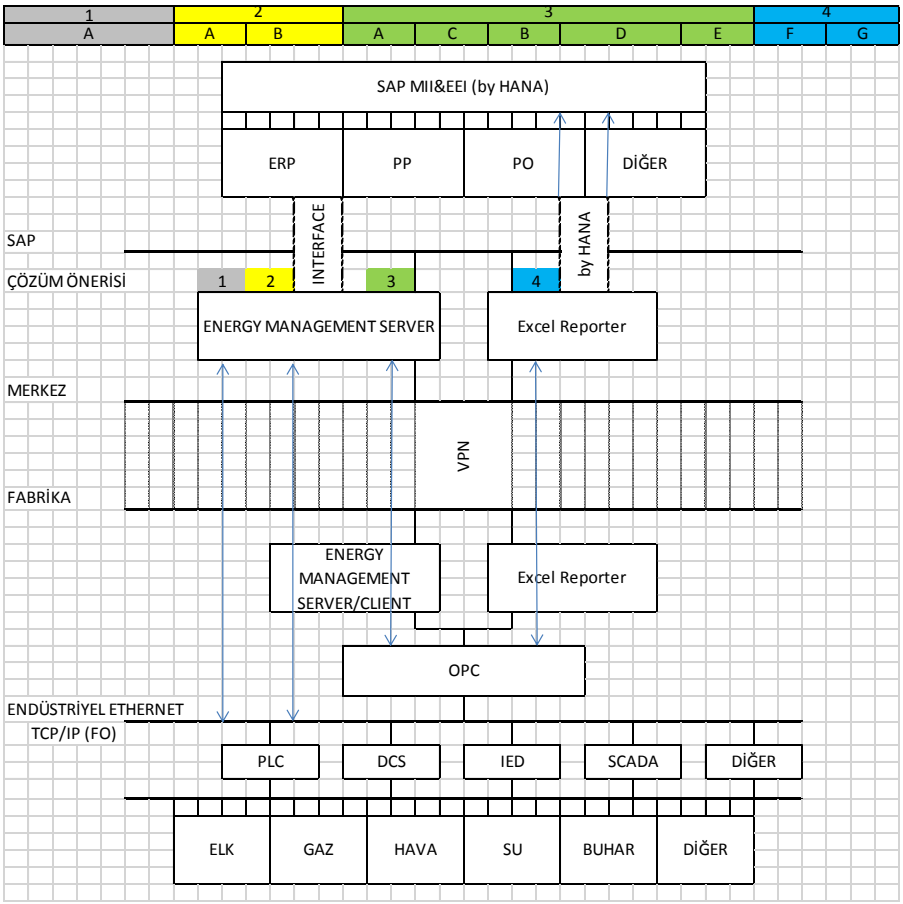
Fabrikaların eksik altyapı çalışmalarının Şişecam mevcut sistemlerinden yararlanılarak minimum maliyetle çözülmesi koşulu, yazılımın da,

— Ölçüm ekipmanlarının ortak temini,
— Fiber optik Erhernet TCP/IP network yapının kullanılması,
— OPC oluşturulması (Scada, Lisansların alınması, yenilenmesi, yükseltilmesi)

talepleriyle birlikte değerlendirilmesi gereksinimini doğurmuştur.

Şişecam ve fabrikalarda mevcut IT yapısının, yazılım ve altyapı fiber optik hazırlıklarda çok önemli bir maliyet ve zaman sağlayacağı belirlenmiştir. Teklif değerlendirmelerinde bu husus gözönüne alınması gereken ana parametrelerden biri olarak öne çıkmaktadır.

Yedi firmanın kategorize edilmiş teklifleri, proje doğrultusunda alttaki şekilde şematikleştirilmiştir.



Şekil 1. Tekliflerin aynı baza getirilmesi

17 fabrikanın altyapıları gözönüne alındığında, gerek teknik üstünlük ve gerekse de ilk yatırım maliyeti bakımından A firmasının en kapsayıcı ve uygun seçenek olduğu görülmektedir.

3.2. Durum Çalışması -2

Kule 3 ofis aydınlatması toplamda yaklaşık 7000 adet yaklaşık 3*18 W'lık kompakt floresan ve downlight lambalı armatürlerden oluşmaktadır. Daha sonra bazı armatürlerden bir ve ikişer lamba sökülerek 2*18 W ya da 1*18 W'a düşürülen armatürlerin de mevcut olduğu görülmektedir.

Bu tür tesisatlarda, kompakt floresan lambalar yerine herhangi bir armatür değişikliği yapmadan doğrudan LED lamba ya da birebir LED panel armatür değişimleri ile önemli oranda enerji tasarrufu yapılabileceği görülmektedir. Bu konuda, Hizmet Yönetim ve İnşaat Müdürlükleri ile ortak çalışma yürütülmüş ve teknik olarak en uygun çözüm araştırılmıştır.

LED lamba seçeneği için iki şirket öne çıkmıştır. Bunların ürünleri uygulanabilirlik bakımından çok iyi olmasına rağmen, kendilerinden istenen üniversite raporunda önemli teknik kriterleri sağlayamadıkları görülmüştür. Bu nedenle, proje dışı bırakılmışlardır.

Kule-3 mevcut tavan yapısında hava akışı armatürler üzerinden sağlanmaktadır. Bu nedenle, esnek olmayan panel uygulamasına uygun değildir. Tavan yapısının değiştirilmesi ise maliyetleri arttırmaktadır. Projenin, sistemdeki hava akışını engellemeden çözüm üretilmesi ve gerçekleştirilmesi ana koşullardan biri olarak öne çıkmıştır.

Panel değişimi için standartizasyon bakımından kendini ispatlamış şirketler ile görüşülmüştür. Bu şirketler, lamba olarak çözüm sağlayamadıklarını belirtmişler, panel olarak da üretim şeklinin dışına çıkmalarını gerektirdiği için, binamıza uygun ürün önerememişlerdir.

Bu doğrultudaki çözüm odaklı araştırmalarda, Şişecam'a daha önce de çeşitli lokasyonlarında aydınlatma işi yapmış şirketler ile temasa geçilmiştir. Şirketlere, ihtiyacımız aktarılarak, standartlar kapsamında ürün ve çözümler geliştirmeleri beklenmiştir. Ürünlerin, Kule 3 2.katında denemesi yapılmış, Müdürlüğümüz ve Hizmet Yönetim Biriminin kontrol ve kayıtları ile de sayısal takip altına alınmıştır.

Deneme süresince gece aydınlık seviyesi, renksel geriverim ve renk sıcaklığı ölçümleri yapılmıştır. Bu ve diğer enerji tüketimi ölçümleri bağımsız bir şirkete de yaptırılarak, verilerin doğrulanması sağlanmıştır.

Veriler ve ölçümler doğrultusunda, armatür lümen, güç, renksel geriverim, renk sıcaklığı, aydınlatma seviyesi, parıltı, düzgünlük faktörü, projelendirme, harmonik bozulma, güç faktörü, ventilasyon ve ömür beklentisi kriterleri değerlendirilmiştir.

Teknik uygunluk bakımından ürünlerin şartname ve beklentileri karşılaması beklenmiştir. Bunlardan biri de akım harmonik bozulması ölçümleridir. Bu nedenle proje dışı bırakılan şirketler olmuştur [11-17].

Projenin uygulanması durumunda, mevcut (3 lambadan oluşan armatürlü) aydınlatma sistemi gözönüne alındığında, yaklaşık %69 ±%2 enerji tasarrufu, yıllık yaklaşık 346.82 tonCO_2 (1040 ağaç) salınımı engellenmiş olacağı görülmektedir (www.eie.gov.tr).

Yatırımın geri dönüşü, 3 lambalı armatür için **2.29 yıl**, 2 lambalı armatür için ise **3.47** yıl olarak hesaplanabilmektedir. Burada, 3 lambalı armatür düşünüldüğünde, aydınlık seviyesinin yaklaşık aynı kalacağı, 2 lambalı (mevcuttaki durum) düşünüldüğünde ise yaklaşık %70'e varan oranda iyileşme sağlanabileceği görülmektedir.

LED panellerin mevcut kompakt floresanla kıyaslandığında, beş kat daha uzun ömür beklentisi enerji tasarrufunun sürdürülebilir olmasına imkan tanıyacaktır.

Armatürlerin, içerisine konacak bir anahtar ile iki kademeli olarak da çalıştırılabilmesi, fiyat artışı olmadan mümkün olabilecektir. Yani bu durumda, (manuel olarak) % 0 – 50 -100 şekilde aydınlatma seviyesi sağlanabilecektir.

Tablo I. Mevcut Durum Tespiti ve Referans Ön Proje Değerleri

Kriter	**Mevcut Sistem (Philips Master PLL, 3 adet)**	**Firma -1**	**Firma -2**	**Firma -3**
Armatürden Çıkan Net Lümen Değeri (Panel – Downlight)	1879 – 1200 lm	1200 - 1800	1589 - 1641	1870 - 1345
Armatürün Toplam Güç Değeri (Panel – Downlight)	75,47 – 18 W	15,5 – 22,5	19 - 18,2	19 - 15
Efikas Değer (Panel – Downlight)	-	83,9 – 81,8	87,9 – 83,1	93,5 – 89,6
Renksel Geriverim	86	80<	80	80
Armatür Geri Verimi	%52	%100	%100	%85
Lamba / Panel Ömrü	10.000	35.000	>30.000	50.000
Sertifikasyon	-	CE	CE	CE
Projelendirme (Dialux)	-	İyi	Çok İyi	Çok İyi
Kendi Akredite Laboratuvarı	-	Var	Var	Dış Kaynak
Uygulanabilirlik, Montaj Kolaylığı	-	30*30 lık kısmın değişimi	30*30 lık kısmın değişimi	30*30 lık kısmın değişimi
Enerji Verimlilik Kredisine Uygunluk	-	Evet		
Harmonik Bozulma	-	Bağımsız bir şirkete ölçtürülmüştür. Değerler aşağıda bulunmaktadır.		
Ultraviyole Işın Yayılımı	Var	Yok		
Civa İçermesi	Var	Yok		
Bina Aydınlatma Yükü	≈ %25-30	≈%10-13		
Klimaya Etkisi (Isı yayılımı, Birim Sıcaklık Artışı)	0,052 ^{0}C/m^3	35°C (1m^3 @1saat)	0,019 ^{0}C/m^3	-
Stroboskopik Etki	Var	Yok		
Psikolojik Etki, Çalışanların Tepkisi	-	Uygulama öncesi ve sonrası ölçülmelidir		
Aydınlatma Seviyesi, örnek alan (projedeki güney kapıdan çıkılan dikdörtgen alan) üzerindeki *dialux* program değerleri ($\rho_{tavan-duvar-zemin}$=70-50-20) $h_{tavan-çalışma\ yüksekliği}$=2.5 m, 0.85m, bakım faktörü=0.90) çalışma düzleminde $E_{ort-min-maks}$ (Şartname, 500 lux)	634-495-774 (3 lamba için)	513-419-650	510-398-581	776-573-1072
Ventilasyon Değeri	4,7 m^3/s	0.032 m^3/s (2.5m/s hat)	4,8 m^3/s	Tübitak Raporu
Düzgünlük Faktörü (Şartname U_0 >0.66) $\delta_1\ (U_o, uniformity) = \frac{E_{min}}{E_o}$	0,786	0,817	0,779	0,739
Parıltı Değeri (<30)	-	<19	26	CAT 2
Difüzör Malzemesi	Yok	PMMA	Yüksek Geçirgen Opal Akrilik	Akrilik
Driver Özelliği	Kule-3 manyetik, Kule-2 elektronik balast	Kendi drive'ı	Tridonic	Osram

Tablo II. 3 Lambalı Armatür İçin Birebir Değişim Fizibilitesi

Kule_3A1:I32									
	yaklaşık; 7000 armatür, 21000 lamba, 1300 downlight mevcuttur.								
			ışık akısı	armatür yansıt	Toplam ışık akısı				
1 EUR=2.8976 TL	21.000	lamba	1.200	0,52	13.104.000	lm			
MERKEZ BANKASI Efektif Satış	1.300	downlight (dl)	1.200	0,52	811.200	lm			
(20.08.2014)					13.915.200	lm			
Kule 3	Mevcut Durum				Panel				
	Lamba				Firma -2		Firma -3		
		3 lamba + 1 dl			Panel	Downlight	Panel	Downlight	
Işık Akısı, lm		13.915.200			1.641	1.330	1.870	1.345	
Lamba Gücü, W		23			18,7	16,0	20,0	15	
Toplam ışık akısına göre gereken sayı		22.300			7.000	1.300	7.000	1.300	
Mevcut Lümenden Farklılık					-699.200		923.300		
Toplam Güç, W		504.203			130.620	20.800	140.000	19.500	
Toplam Güç, kW		504			151		160		
Yıllık Çalışma Saati		2.340			2.340		2.340		
Yıllık Tasarruf Oranı, kW					353		345		
Yıllık Tasarruf Edilebilecek Enerji Miktan, kWh		1.179.835			825.512		806.605		
Elektrik fiyatı, TL		0,27			0,27		0,27		
Yıllık Tasarruf Edilebilecek Enerji Bedeli, TL		318.555			222.888		217.783		
Ürün birim maliyeti, TL					134,74	72,44	96,06	76,35	
Ürün maliyeti, TL					943.180	94.172	672.420	99.255	
Ürün maliyeti, TL					1.037.352		771.675		
Geri Dönüş, İşçilik Hariç, Yıl					4,65		3,54		
Mevcut lamba gideri		78.273							
Mevcut balast gideri		11.741							
İşçilik		36.527							
Toplam yıllık bakım+malzeme gideri		126.541							
Kurulum İşçiliği					0		0		
Geri dönüş, İşçilik Dahil, Yıl					2,97		2,24		

Anket sonuçlarından genel memnuniyet görülmektedir. Dönüşümde mevcut (eski) floresan lambaların aynı renk sıcaklık değeri (4000 ^{0}K) ve renksel geriverimi (R_a=80) değerleri sağlanmıştır. Aydınlatma seviyesi de standartlarda belirtilen değerlerdedir (500 lx). Birebir değişim (retrofit) mevcut armatür yerleri değiştirilmeden ve binanın tesisatına dokunulmadan gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle her ne kadar aydınlatma homojenliği sağlansa da, ofis oturma düzenleri nedeniyle bazı noktalarda birkaç armatür yanyana geldiğinden dolayı o noktadaki şiddeti artırabilmektedir. Böyle birkaç nokta tespit edilmiştir.

Aydınlatma seviyesinin, armatür içerisine konan anahtarlama ile %70 ve %50 seviyelerine düşürme seçeneğimiz mevcuttur. Ancak, aydınlık seviyesi bu durumda, standartlarda belirtilen 500 lx yerine 400 lx'ler mertebelerinde olacaktır.

Buna karşılık enerji tasarrufu aynı oranda artacaktır.

Hedeflenen yaklaşık %50 oranındaki enerji tasarrufu C firması ile sağlanmıştır.

3.3. Durum Çalışması -3

11 fabrikamız için toplam 20.605 kW gücübde 236 adet elektrik motoru mevcuttur. Bunların güç, devir, sayı ve verimleri alttaki tabloda görülmektedir.

Tablo III. %75 verim karşılaştırmaları

YILLIK VERİMLERE GÖRE TASARRUF TUTARLARI TABLOSU							
Güç	Devir	Miktar	A Verim	B Verim	C Verim	B-A	C - B
11	3000	2	91,2	92,8	92,8	150	0
15	3000	5	91,9	93,4	93,4	472	0
22	3000	4	93	93,9	93,9	326	0
30	3000	5	93,7	94,9	94,9	729	0
37	3000	5	94,1	95,2	95,2	818	0
55	3000	14	94,5	95,4	95,4	2767	0
90	3000	1	95,1	96,4	96,4	459	0
110	3000	6	95,4	95,7	96,3	781	2063
250	3000	0	95,7	96,3	97,1	0	0
300	3000	1	95,7	96,4	97,1	819	1077
355	3000	0	95,7	96,5	97	0	0
11	1500	5	91,4	93	93	373	0
15	1500	9	92,1	93,4	93,4	734	0
18,5	1500	8	93,2	94	94	487	0
22	1500	9	93,7	94,1	94,1	323	0
30	1500	17	94,3	94,9	94,9	1231	0
37	1500	6	94,5	95,5	95,5	886	0
41	1500	2	94,5	95,5	95,5	327	0
45	1500	14	94,9	95,6	95,6	1750	0
55	1500	8	95,1	95,9	95,9	1389	0
75	1500	6	95,3	95,8	96,3	887	1171
90	1500	14	95,5	96	96,5	2474	3264
110	1500	6	95,8	96,3	96,8	1288	1699
130	1500	2	95,9	96,4	96,9	506	668
132	1500	3	95,9	96,4	96,9	771	1017
160	1500	11	96,1	96,4	97	2052	5421
187	1500	4	96,1	96,5	97,1	1161	2299
300	1500	4	95,8	96,7	97,2	4197	3064
315	1500	4	95,8	96,7	97,2	4407	3217
330	1500	4	95,9	96,7	97	4099	2026
18,5	1000	8	92,5	93,2	93,2	433	0
37	1000	7	94	94,9	94,9	941	0
75	1000	16	94,9	95,3	96,3	1911	6276
90	1000	2	95,3	95,5	96,1	142	565
110	1000	1	95,5	95,5	96,5	0	573
132	1000	12	95,9	95,7	96,5	-1243	6586
160	1000	2	95,8	95,9	96,8	125	1489
280	1000	3	95,6	96	96,7	1318	3040
315	1000	6	95,7	96	96,7	2222	6841
		236			**TOPLAM**	**42513**	**52357**

$$P = A.\left(\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n .i} \right) \qquad 1.$$

— 2 farklı yük durumu (%100 ve %75),
— 4 farklı yıllık çalışma saatı (4500, 6000, 7200, 8760), [1 yıl=8760 saat]
— 2 farklı Euro/Yıl faiz oranı (%4 5 yıl, %3 3 yıl) için,

şimdiki değer analizinde, girdilerin minimizasyonu ile değerlendirilmesi yapılmıştır. Bununla ilgili, yıllık çalışma saati, faiz ve yıl parametrelerinin değişken olarak girilebileceği excel tablosu da ekte sunulmuştur.

6000 çalışma saati ortalama olarak alınmış bir değerdir. Motor çalışma saatlerinin bunun üzerinde olması beklenmektedir. Bu durumda yıllık kazancın daha da artacağı hesaplanabilir.

Literatürde elektrik motorlarının ortalama ömrü 15 yıl olarak kabul edilmektedir [18,19].

Bu nedenle C motorlarının seçilmesi uygun görülmüştür.

3.4. Durum Çalışması -4

9 fabrikamız, 5 adet santrifüj (turbo) ve 9 adet vidalı (4 adet yağlı, 5 adet yağsız) olmak üzere, toplam 14 adet kompresör ihtiyacı belirtmiştir.

Kompresörler, kapasite, yerleşim yeri, orta gerilim/alçak gerilim bağlantı, sürücü, soft starter, pano, kurutucu, vb. gibi fabrika koşullarına göre değişkenlik göstermektedir. Fabrikalar tarafından belirtilen teknik kriterler alttaki tabloda görülmektedir.

Tablo IV. İhtiyaç tablosu

TURBO									
	Adet	Kompresör Tipi	Debi [Nm3/Dak]	Çalışma Basıncı [barg]	Soğutma Tipi	Besleme Gerilimi	Lokal İklim Koşulları	İnverter Tercihi	Açıklama
ACS Mersin	2	turbo	150	4,0	su soğutmalı	6300	Mersin		
ACS Yenişehir	1	turbo	170	4,0	su soğutmalı	6300	Bursa-Yenişehir		
Trakya Cam_Trakya	1	turbo	67	9,0	su soğutmalı	400	Lüleburgaz	opsiyonel yol verme panosu dahil edilecektir	TF SNM YAR 017 - Basınçlı Hava Turbo Kompresörü Teknik Şartnamesi
ACS Eskişehir	1	turbo	150	7,0	su soğutmalı	400	Eskişehir		C fırını yatırımı kapsamında
VİDALI									
Soda&Kromsan	1	yağsız vidalı Class-0	67	6,0	su soğutmalı	400 V	Mersin	evet, VSD	
ACS Yenişehir	1	yağsız vidalı Class-0	80	4,0	su soğutmalı	400 V	Bursa-Yenişehir	evet, VSD	
Trakya Cam_Trakya	1	yağlı vidalı Class-1	25	4,0	su soğutmalı	400 V	Lüleburgaz	evet, VSD	TF - SNM YAR 017 - Basınçlı Hava Sistemi Revizyonu Teknik Şartnamesi
Trakya Cam_Mersin	1	yağsız vidalı Class-0	11	10,2	su soğutmalı	400 V	Mersin	evet, VSD	Dew point ölçüm dahil, akuple kurutucu dahil,
Trakya Cam_Polatlı	2	yağ enjeksiyonlu, döner vidalı	23,1	20	hava		Polatlı	evet, VSD	
Trakya Cam_Yenişehir	1	yağsız vidalı	26,6	2,8	su soğutmalı	400 V	Bursa-Yenişehir	evet, VSD	Mevcut sistemdki kompresörler çok sık yük boş yapmaktadır. Bu çalışma şekli, enerji verimliliği açısından, basıncın dalgalanması açısından problemlidir. Ayrıca sık sık yük boş şeklinde çalışan makinelerin ömrü kısalmaktadır. Sürücülü kompresör ile tüketim değişimleri karşılanarak enerji tasarrufu sağlanacaktır.
ACS Eskişehir	1	yağsız vidalı - Class 0	80	4,0	su soğutmalı	400 V	Eskişehir	evet, VSD	C fırını yatırımı kapsamında
Trakya Glass EAD Bulgaristan Fabrikası	1	yağlı vidalı Class-1	13	8,5	hava	400 V	Targovishte/Bulgaristan	evet, VSD	Dew point ölçüm dahil, akuple kurutucu dahil,

Değerlendirme teknolojik farklılıkları nedeniyle turbo ve vidalı kompresörler için ayrı ayrı yapılmıştır. Her iki tür için de ilk yatırım maliyeti, elektrik motorlu ya da motorsuz durumu ve birim enerji tüketim maliyetleri karşılaştırılmıştır.

Elektrik motorlarının C'den sağlanması ile kompresör + elektrik motoru şeklinde optimizasyon yapılmıştır Buna göre ilave 123.520 $ fayda sağlanacaktır. Öte yandan, verimlilik $\eta = \%95.6 \Rightarrow \%97.1$ 'e çıkacak ve elektrik motor sözleşmesindeki diğer opsiyonlar da dahil olacaktır.

Diğer bir değerlendirme kriteri, belirtilen hava miktarı için kompresörün harcayacağı mil gücüne karşılık gelen elektrik enerjisi tüketimidir (spesifik enerji tüketimi).

Spesifik enerji tüketimi bir fabrikamız özelinde yapılmıştır. Burada, altta sırasıyla, A ve B şirketlerinin verdikleri eğriler kullanılmıştır.

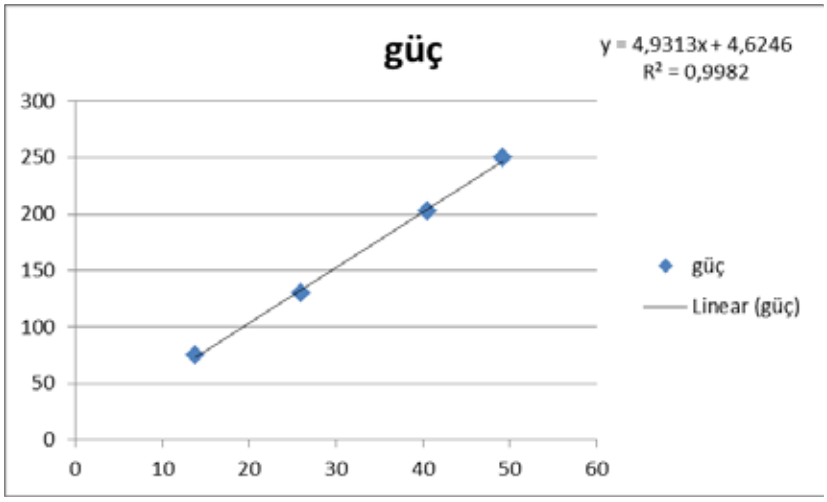
A şirketinin birim enerji tüketimi (mil gücüne göre) 4.6824 kW/(Nm^3/dak), B' nin ise 4.6012 kW/(Nm^3/dak)'dir.

Yıllık 8000 saat çalışma durumuna göre, bunun enerji karşılığının;

$$E_{\Delta} = (\frac{4.6824}{60} - \frac{4.6012}{60}) \frac{kW}{Nm^3/h} .8400 \frac{Nm^3}{h} .8000 \frac{\text{h}}{\text{yıl}} . 0{,}0986 \frac{\$}{kWh} = 8{,}967\,\$ \qquad 2.$$

olduğu görülmektedir [20].

Vidalı kompresörlerde, spesifik enerji tüketimi farklı hızlara karşılık gelen güç ile debi arasındaki ilişkiye göre yapılmakta olup, burada, ihtiyaç sahiplerinden bir fabrikamız özelinden hesaplama yapılmıştır. Buna göre,



Şekil 2. Verimlilik karşılaştırma eğrisinin oluşturulması

Turbo (santrifüj) kompresörlerde, A firmasının B'ye göre daha uygun olduğu görülmektedir. Elektrik motorlarının tarafımızdan temin etmesini de kabul ettiği için fayda maksimize edilmektedir.

Vidalı kompresörlerde, B firmasının uygun olduğu görülmektedir.

Fabrikalarımızın ihtiyaçları, kompresör ve elektrik motorları için belirlenmiştir. Bununla birlikte, bu kapsamda diğer ekipmanlar da mevcuttur ve fabrikalar için değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle işi alacak firmanın opsiyonları fabrika yetkili ve sorumluları ile birlikte sahada netleştirilmesi önem taşımaktadır.
Projenin tüm fabrikalarla ortaklaşa yürütülmesi ile, yaklaşık 350,000 – 400,000 $ arası ilave maliyet avantajı sağlandığı görülmektedir.

3.5. Durum Çalışması -5

Pompa şirketlerine elektrik motorlarını bizim teslim etmemiz durumunda fiyat avantajı sağlanabileceği tespit edilmiştir.

Elektrik motorlarını Şişecam'ın vermesi durumunda, %29.44 maliyet avantajı sağlanmaktadır. Aynı zamanda, genel olarak
firmaların önerdikleri elektrik motorları IE3 verimlilik sınıfının alt değerlerinde bulunmaktadır. Motorları Şişecam vereceğinden, motorlar IE3 (75 kW altı için) ve IE4 (75 kW üstü için) olacaktır.

Pompaların verim eğrilerine karşılık gelen elektrik enerjisi tüketimi değişik yıllara göre yıllık 5000 çalışma saati ve 0.08 Eur/kWh elektrik fiyatı için aşağıdaki tabloda görülmektedir. Excel tablosu ekte verilmiştir.

Tablo V. Enerji tüketimi tablosu

	Enerji Tüketimi				
	A	B	C	D	E
verim-1	384.000 €	386.232 €	387.120 €	396.000 €	389.040 €
verim-2	1.117.200 €	1.076.712 €	1.075.200 €	1.150.800 €	1.097.208 €
verim-3	248.760 €	241.380 €	253.440 €	245.880 €	259.848 €
verim-4	51.048 €	48.240 €	54.000 €	56.736 €	54.000 €
TOPLAM	1.801.008 €	1.752.564 €	1.769.760 €	1.849.416 €	1.800.096 €
POMPA DAHİL	1.989.769 €	1.927.712 €	1.928.033 €	2.127.847 €	1.971.289 €

4. Sonuç

Projelerin sayısı burada belirtilenlerden çok daha fazladır. Ancak geliştirilen metodoloji tüm durumlara uygulanabilir kılınmıştır. Metodolojide salt ilk yatırım maliyeti değil, dönemsel enerji tüketimleri de etkin rol oynadığı görülmektedir.

Tüm projelerin anahtar teslimi mi yoksa parçalayıp birleştirerek mi en fazla karlılığın sağlanacağı şekilde optimizasyonun karlılığı maksimize, enerji tüketimlerini ise minimize ettiği görülmektedir.

Teknik değerlendirmeler mesleki birikimlerin de maksimum kullanılması ile etkin projeler olarak hayata geçirilmektedir.

Kaynaklar

1. Prof.Dr. Ethem Tolga, Araş.Gör. Cengiz Kahraman, Mühendislik Ekonomisi, İTÜ, 1994.
2. Görkem Tekir, Proje Yönetimi Kavramları – Metodolojisi ve Uygulamaları, Çağlayan Kitabevi, 2006
3. Prof.Dr. Ünal Öziş, Doç.Dr. Nilgün Harmancıoğlu, Doç.Dr. Ferhat Türkman, Mühendislik Sistemlerinin Ekonomik Analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 1990.
4. Prof.Dr. Mehmet Bakioğlu, Yrd.Doç.Dr. Mecit Çelik, Mühendisler İçin Excel Uygulamaları, Nobel Akademik, 2013.
5. TS EN ISO 50001 Standartı.
6. IEEE Std 739-1995, Recommended Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities.
7. BS EN 16001, Energy Management.
8. Albert Thumann, Terry Niehus, William J. Younger, Handbook of Energy Audits, 9th Edition, CRC Press, 2013.
9. Barney L. Capehart, Wayne C. Turner, William J. Kennedy, Guide to Energy Management, 7th Edition, CRC Press, 2012.
10. Wayne C. Turner, Energy Management Handbook, 5th Edition, Marcel Dekker, 2005.
11. W.R.A. Ryckaerta, I.A.A. Roelandsta, M.V. Gilsa, G. Durinck, S. Forment, J. Audenaert, P. Hansealer, "Performance of LED Linear Replacement Lamps", Light&Engineering, 20,1 (2012) 37-45.
12. W.R.A. Ryckaerta, K.A.G. Smeta, I.A.A. Roelandsta, M.V. Gilsa, P. Hansealer, "Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An Evaluation", Energy and Buildings, 49(20129 429-436.
13. E. Erkin, M.B. Yurtseven, Ö. Güler, S. Onaygil, "LED Panel Armatürlerin Ofis Aydınlatmasında Retrofit Amaçlı Kullanımının İncelenmesi", III. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi, 21-22 Kasım 2013, İzmir, s. 15-21.
14. Ö. Güler, E. Erkin, M.B. Yurtseven, "Tüp Şeklindeki LED ve Flüoresan Lambalı Armatür Kullanımı Analizi", 9. Ulusal Aydınlatma Kongresi, 19-20 Nisan 2013, İstanbul.
15. 07.12.2010 Tarihli ve 27778 Sayılı Resmi Gazete, Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ (No: YİG/2010-02).
16. Prof.Dr. Muzaffer Özkaya, Aydınlatma Tekniği, İTÜ, 1979.
17. TS EN 12464-1 Standartı.
18. Prof.Dr. İlhami Çetin, Elektrik Motörleri, Fatih Yayınevi, 1987.
19. Prof.Dr. H. Hüseyin Öztürk, Prof.Dr. Durmuş Kaya, İkincil Enerji Üretimi ve Elektrik Motorları, Umuttepe Yayınları, 2012.
20. Prof.Dr. Durmuş Kaya, Prof.Dr. H. Hüseyin Öztürk, Sanayide Enerji Yönetimi ve Enerji Verimliliği, Umuttepe Yayınları, 2014.

Yenilenebilir Enerji Üretiminde Gazlaştırma Teknolojisi ile Biyokütle Kullanımı

Mustafa Tolay
Tolay Energy, Cevizlik Mah. Hüsreviye Sok. No:15, 34720 Bakırköy / Istanbul / Turkey
(e-mail: drmtolay@gmail.com)

Andre Waterschoot
VERCO Renewable Energy Consulting SL.,
c/Solsona 17, b2, 08173 - Sant Cugat del Vallès, Barcelona, Spain
(e-mail: andre.waterschoot@gmail.com)

Luis Sanchez Angrill
EQTEC Iberia,
Garbí, 13 - local 10, Pol. Ind. Can Volart, 08150 Parets del Vallès, Barcelona, Spain
(e-mail: lsanchez@eqtec.es)

Özet

Tarım atıkları, orman atıkları ve enerji bitkileri olarak adlandırılan biyokütle kaynaklarının oldukça geniş kullanımı vardır. Bunlardan organik atıklar gübre, ormancılık ve orman endüstrisinden ağaç atıkları, gıda ve kağıt endüstrisi kalıntıları, belediyelerin yeşil kalıntıları, kanalizasyon çamuru, yıllık kısa rotasyonlu ağaçlıklar (okaliptüs, kavak, söğüt), çayır, şeker bitkileri (şeker kamışı, pancar, süpürge darısı), nişasta mahsülleri (mısır, buğday) ve yağlı mahsüller (zeytin, soya, ayçiçeği, yağ şalgamı, palmiye yağı) atıkları olarak sınıflanabilir. Biyokütle tabanlı bu malzemeler, hem doğrudan biyokütle, hem de biyoyakıt olarak enerji üretimi amaçlı kullanılmaktadır. Ağaç ve diğer tarımsal kalıntılar, endüstride buhar ve elektrik üretmek üzere kojenerasyon santralı yakıtı olarak yakılmakta ve ayrıca mesken ve ticari bina ısıtması amacıyla da kullanılmaktadır. Modern biyokütle enerjisi kullanımına geçilmesi ülke ekonomisi ve çevre kirliliğini önleme açısından önem taşımaktadır.

Birçok ülke bugün kendi ekolojik koşullarına göre en uygun ve en ekonomik tarımsal ürünlerden enerji bitkisi olarak alternatif enerji kaynağı sağlamaktadırlar. Türkiye de tarımsal potansiyeli ile, ekolojik tarımsal yapıya sahip ülkeler arasındadır. Türkiye'de enerji ormancılığı yönünden ekonomik değeri yüksek ve hızlı büyüyen yerli ağaç türleri arasında, akkavak, titrek kavak, kızılağaç, kızılçam, meşe, dişbudak, fıstık çamı, karaçam, sedir ve servi ağalarını saymak mümkündür. Burada kavak, söğüt gibi oldukça fazla su isteyen ağaçların yanı sıra, oldukça kurak alanlarda yetişebilecek ağaçlara da önem verilmesi gerekmektedir. Enerji tarımı üretimine yönelik olarak, gerek Avrupa'da gerek ülkemizde modern biyokütle çevrim teknolojilerinin de kullanıldığı, çalışmalar küçük ölçekli olarak uzun yıllar önce başlamıştır. Bunlara örnek olarak mischantus ve tatlı sorgum, arundo donax bitkileri üzerinde yapılan çalışmalar gösterilebilir. Enerji tarımında ülkemizde henüz çok tanınmayan dünya da ise yavaş yavaş yaygınlaşmaya başlayan C4 enerji bitkileri arasında en çok yetiştiriciliği yapılan Fil Çimeni (Miscanthus), Tatlı Sorgum (Sweet sorghum), Dallı Darı (Switchgrass) 'dır. Biyokütle kaynakları olarak biyokütle, enerji bitkileri, enerji ormanları ve bunlardan türetilen yakıtların kullanılması ile ayrıca, hava kirliliğinden büyük ölçüde etkilenen bir çok şehirde, kükürt dioksit ve benzeri zararlı gazların büyük ölçüde azalacağı da açıktır.

Bu çalışmada, genel biyokütle ve gazlaştırma bilgisi verilmeye çalışıldıktan sonra farklı enerji tarımı bitkilerinin gazlaştırma metodu ile değerlendirilerek syngaz üretimi ve syngazdan da elektrik ve ısı enerjisi üretim metodları farklı örnekleri içeren gazlaştırma teknolojileri tanıtılmaya çalışılacaktır. Gazlaştırma metodu ile biyokütleden ve enerji bitkilerinden enerji üretimi İspanya, İtalya, İsviçre, Japonya, Almanya, A.B.D. gibi ülkelerde kullanılan sistemlerdir. Avrupa'da uzun yıllardan beri çalıştırılan farklı güçlerdeki biyokütle yataklı gazlaştırıcı tesisleri örnek olarak gösterilebilir. İspanya, İtalya, Fransa ve Bulgaristan'da çalıştırılan akışkan yataklı gazlaştırıcılarla biyokütle 5MWe güçlü gazlaştırıcılar enerji bitkileri için teknolojik ve ekonomik biçimde tasarlanarak bu çalışmada tanıtılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Biyokütle, enerji tarımı, yenilenebilir enerji, gazlaştırma, enerji üretimi, fizibilite.

GİRİŞ

Bitkilerin ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan biyokütle, genelde güneş enerjisini fotosentez yardımıyla depolayan bitkisel organizmalar olarak adlandırılır. Biyokütleyi aynı zamanda bir organik karbon olarak da kabul etmek olanaklıdır. Biyokütle, tarım veya ormancılık ürünü olan ve tamamı veya bir kısmı içindeki enerjiyi geri kazanmak amacı ile yakıt olarak kullanılabilen bitkisel maddelerin tamamı veya bir kısmından oluşan ürünleri kapsar. Biyokütle enerjisi; yetiştiriciliğe dayalı olduğu için yenilenebilir, çevre dostu, yerli ve yerel bir kaynak olarak önem kazanmaktadır. Fotosentez yoluyla enerji kaynağı olan organik maddeler sentezleşirken, tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijeni de atmosfere verir. Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu ortaya çıkan CO_2 ise, daha önce bu maddelerin oluşması sırasında atmosferden alınmış olduğundan, biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, CO_2 salınımı açısından korunmuş olacaktır. Organik madde içeren artıkların değerlendirilmesi, çevre kirliliği ve temiz enerji üretimi bakımından önem taşımaktadır. Bu amaçla özellikte gelişmekte olan ülkelerde kullanımı en yaygın olan kaynak biyokütledir. Dünya enerji tüketiminin yaklaşık % 15'i, gelişmekte olan ülkelerde ise enerji tüketiminin yaklaşık % 43'ü biyokütleden sağlanmaktadır (Başçetinçelik ve ark. 2003, 2005). Biyokütle; her yerde yetiştirebilmesi, çevre korunmasına katkısı, elektrik üretimi, kimyasal madde ve özellikle taşıtlar için yakıt olabilmesi nedeni ile stratejik bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Biyolojik kökenli yakıtlardan enerji üretimi için en etkin yöntemlerden birisi, kombine ısı ve güç üretimidir. Kombine ısı ve güç üretiminden, endüstriyel uygulamalar için işlem ısısı ve buhar üretimi amacıyla da yararlanılabilir. Endüstri sektöründe kurutma gibi birçok işlem için ısı üretimine gereksinim vardır. Bu gereksinim, bölgesel ısıtma sistemi olmaksızın kombine ısı ve güç üretimi ile karşılanabilir. Ayrıca küçük ölçekli kombine ısı ve güç tesislerinden elde edilen ısı enerjisi, kamusal ve endüstriyel binaların ısıtılmasında kullanılabilir (Başçetinçelik ve ark. 2003; Tolay, 2007, 2010).

Türkiye'nin enerji tüketim hızı, enerji üretim hızından daha fazladır. Bu da, Türkiye'yi bir enerji ithalatçısı yapmaktadır. Enerji, ekonomik ve sosyal gelişim için gerekli olup, Türkiye'deki yaşam kalitesinin arttırılması için şarttır. Türkiye'deki başlıca enerji kaynakları linyit, hidro-enerji ve biyokütle enerjisidir. 1970'lerdeki petrol krizinden sonra güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidroenerji, jeotermal enerji ve biyokütle gibi yeni ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişimi üzerine odaklanılmıştır. Biyokütle doğrudan yakılarak veya çeşitli süreçlerle yakıt kalitesi arttırılıp, mevcut yakıtlara eşdeğer özelliklerde alternatif biyoyakıtlar (kolay taşınabilir, depolanabilir ve kullanılabilir yakıtlar) elde edilerek enerji teknolojisinde değerlendirilebilir. Atık biyokütle (tahıl kalıntıları, orman ve orman endüstrisi atıkları, hayvan dışkıları, vs.) geleneksel olarak dünyanın birçok yerinde yemek pişirmede ya da ısınmada doğrudan kullanılmaktadır. Hayvan atıkları, zirai kalıntılar ve meyve çekirdekleri gibi biyokütle kaynakları yakıt olarak doğrudan kullanılabilecekleri gibi biyogaz, biyokarbon ve biyodizel üretimi için de oldukça elverişli ve yüksek potansiyele sahip ürünlerdir (Başçetinçelik ve ark. 2003, Güler ve ark. 2001).

Diğer taraftan orman ve tarım atıkları gün geçtikçe çevresel olarak problem yaratmaktadır. Sürdürülebilir kalkınmanın ve sürdürülebilir çevresel yaşamın önemli bir parçası olan orman ve tarım faaliyetlerinden arta kalan atıklar maalesef önemli çevresel sorunlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çevresel sorunları çözerken sahip oldukları enerji potansiyelindende faydalanmak gerekir. Böylece hem bu atıkların yaratmış olduğu problemler çözülmüş, hem de bu problemler faydalı enerji haline dönüştürülmüş olur. Biyokütle kaynakları, pellet yapımı, yakma, gazlaştırma gibi teknolojilerle enerji üretiminde elektrik ve ısı üretim amaçlı kullanılabilir. Orman ve tarım atıkları çevreye zarar vermeden ve yakmadan bertaraf etmenin en optimum ve ekonomik yolu gazlaştırma işlemidir. Gazlaştırma özellikle kömür, biyokütle ve katı atıkların kontrollü hava ile katı halden gaz haline dönüştürme işlemidir. Yakmaya göre enerji verimliliğinin yüksek olmasının nedeni, daha az karbondioksit (CO_2) emisyonlarıyla sonuçlanan katı yakıt gazlaştırmada aynı miktarda enerji üretmek için daha az katı yakıt kullanılmasıdır. Gazlaştırma, yakma teknolojilerine göre daha çevreci teknolojilerdir ve CO_2, SO_2, NO_x emisyonları bakımından çok daha avantajlıdır. Kükürt çoğunlukla, SO_2'ye nazaran daha kolay şekilde giderilebilen H_2S formunda bulunur. Gazlaştırma sırasında NO_x, SO_2, dioksin ve furan gibi çevre kirliliği problemleri oluşmamaktadır.

Küçük ölçekli gazlaştırma tesisleri dağınık küçük yerleşim yerleri ve küçük güç santralleri için ideal bir seçenektir. Elektrik üretimi ve ısı geri kazanma kombine tesisleri, dünyada sayısız

uygulamalarla sıradışı bir öneme sahiptir. Gazlaştırma, katı yakıtın enerji bileşenini gaz motoru veya gaz turbini ile direk olarak enerjiye çevrilmesini kapsayan bir yöntem sunmaktadır. Gazlaştırma teknolojisi kombine ısı güç sistemleri (CHP) üretim tesislerinde de ve entegre gazlaştırıcılı kombine çevrim (IGCC) santrallerinde kullanılabilir. Esnek çalışma özelliğine sahip olan gazlaştırma tesisleri, kısmi oksijen ortamında yapılan gazlaştırma ile çevreye uygun ve emisyon değerleri ile uyumlu özelliklere sahiptir. Türkiye'de, çam ve meşe atıklarının, buğday, arpa, mısır ve pamuk ürünlerinin atıklarının ve diğer biyokütle kaynaklarının yıllık toplam enerji değerinin yaklaşık 10.000 MWe civarında olduğu belirlenmiştir. Bu denli büyük bir potansiyelin ve özellikle yerli kaynağın bölge ve ülkemiz ekonomisine vakit kaybetmeden katılması tarımsal atıktan enerji üretim tesislerinin bölgede yaygın olarak uygulanmasının mümkün ve kaçınılmaz olduğu ortaya çıkmaktadır. Orman ve tarımsal atık enerji üretim tesislerinin bölgede yaygın olarak geliştirilmelerinin bölgeye sağlayacağı faydalar çok yönlüdür. Biyokütle kaynaklarına ait enerji politikalarını hazırlayanların görüş açısından bakıldığında, bu kaynaklardan enerji sağlanması, ulusal ve uluslararası düzeyde birçok yarar sağlamaktadır.

Bu çalışmanın hedefi Türkiye'de yoğun miktarda bulunan (başta orman atıkları olarak çam ve meşe atıkları ve tarım atıkları olarak mısır, pamuk ve buğday olmak üzere) orman ve tarım atıkların, hayvansal atıkların ve özellikle enerji bitkilerinin Enerji Ürünü olarak değerlendirilmesine olanak sağlayacak tesis/tesislerin uygulanabilirliliğini göstermek ve tesis kurulum önerisinde bulunmaktır. Türkiye orman işletmelerinden ve tarımsal üretim tesislerinde ortaya çıkan orman atıkları ve pamuk, tahıl, mısır ve diğer tarım atıklarının potansiyelinin belirlenmesi ve bu atıkları kullanarak elektrik ve ısı enerjisi üretilmesi için gerekli tesisin ekipmanlarının ve fizibilitesinin hazırlanması için oluşturulmuştur. Ana raporun sonuçlarına göre, Türkiye'de yaygınlaştırılabilecek biyokütleden enerji üretimtesislerinin bölgenin kalkınması, rekabet edebilirliğinin sürdürülmesi, çevre sorunlarının azaltılması yönlerinden ülkeye avantaj sağlayacağı, orman ve tarımsal atıktan elektrik ve ısı eldesi için kurulacak tesislerin geri ödeme süresinin kısa olacağı görülmektedir.

Biyokütle Kullanımı

Brezilya biyokütlenin geniş çapta kullanılması yönünden dünya da ki en iyi örneklerden biridir. Bu ülkede yaklaşık 5 milyon taşıt, 1989 dan beri yakıt olarak benzin yerine şeker kamışı veya benzeri ürünlerden elde edilen saf biyoetanolu, yine bir çok araç da benzin/etanol karışımını kullanmaktadır. Ülke ekonomisine büyük katkı yapan bu program için yatırım ise sadece 6.97 milyar dolar olup, üretim maliyeti 1979 dan beri hala her yıl yaklaşık %4 dolayında düşmektedir. Yetiştirilen biyokütleden şeker elde ettikten sonra geri kalan posa kısmından yakıt olarak daha ekonomik kullanımı ile bu maliyetin daha da düşeceği sanılmaktadır. Hindistan'da halen çeşitli büyüklükte bir milyondan fazla biyogaz üretim tesisi bulunmaktadır. Çin"de 1 milyarın üzerindeki nüfusun büyük çoğunluğu yakıt olarak biyokütle kullanmakta olup daha çok yemek pişirmek ve aydınlanmak için kullanılan biyogaz üretimi için 5 milyondan fazla küçük tesis yaklaşık 25 milyon insan tarafından işletilmektedir. Sayıları 10,000 dolayında olan orta ve büyük ölçekli tesislerden üretilen biyogaz ise elektrik üretimi ve büyük fabrikaların enerji gereksinimi için kullanılmaktadır. Çin de büyüklüğü 10 kW ve üzeri olan 800 biyogaz üretim tesisinin toplam kapasitesi 8500 kW dolayındadır. İsveç, enerjisinin %16 sı gibi büyük bir kısmını biyokütleden elde etmektedir. Avusturya da 11,000 den fazla biyokütle ile çalışan enerji üretim sisteminin toplam gücü 1200 MW ulaşmıştır. Bu ülke de enerjisinin %13 ünü biyokütleden sağlamaktadır. Amerika da biyoenerji kaynaklı elektrik üretimi 9000 MW yi geçmiş durumda olup, bu ülke de toplam enerjinin %4 ünü biyokütleden sağlamaktadır. Bu değer nükleer enerjiden elde edilen miktara yakındır.

Burada üzerinde önemle durulması gereken diğer bir konuda, fosil yakıtlar için yapılan ekonomik analizlerde, çevre etkilerinden ileri gidilebilecek özellikle sağlık konusunda maliyet artışlarının henüz yer almış olmamasıdır. Bu konuda yapılan kapsamlı bir araştırmada fosil yakıtlardan, örneğin kömürden elde edilecek her bir milyar joul için 9$ lık ek bir maliyet hesaplanmıştır. Burada 1 milyar joule yaklaşık 80 kg linyit kömürü yakılmaya karşılık gelmektedir. Bu maliyetler fosil yakıtlara eklendiğinde, biyokütlelerin daha da üstün konuma geleceği açıktır. Türkiye'de klasik biyokütle, yani odun ve tezek, enerji üretiminde önemli bir orana sahiptir. 1995 yılı verilerine göre odun yaklaşık %30 ve tezek %10 oranında enerji üretimi içinde pay almaktadır. Ancak, son yıllarda azalan ormanlar ve hayvancılıkta görülen gerileme ile doğal gaz kömür gibi ithal

ürünlerin artması bu oranları azaltmaktadır. Modern biyokütle enerjisi kullanımına geçilmesi ülke ekonomisi ve çevre kirliliği açısından önem taşımaktadır. Birçok ülke bugün kendi ekolojik koşullarına göre en uygun ve en ekonomik tarımsal ürünlerden alternatif enerji kaynağı sağlamaktadırlar. Türkiye de bu potansiyele, ekolojik yapıya sahip ülkeler arasındadır. Türkiye'de enerji ormancılığı yönünden ekonomik değeri yüksek ve hızlı büyüyen yerli ağaç türleri arasında, akkavak, titrek kavak, kızılağaç, kızılçam, meşe, dişbudak, fıstık çamı, karaçam, sedir ve servi ağalarını saymak mümkündür. Türkiye ortamında yetişecek yabancı kökenli ağaçlar arasında ise akoliptüs, papulus euramericana, pinus pinaster, acacia cynophilla gibi türleri saymak mümkündür. Burada kavak, söğüt gibi oldukça fazla su isteyen ağaçların yanı sıra, oldukça kurak alanlarda yetişebilcek ağaçlara da önem verilmesi gerekmektedir. Enerji üretimine yönelik olarak, modern biyokütle çevrim teknolojilerinin de kullanıldığı, çalışmalar küçük ölçekli olarak 1993 yıllarından sonra başlamıştır. Bunlara örnek olarak mischantus ve tatlı sorgum bitkileri üzerinde yapılan çalışmalar gösterilebilir. Ayrıca, hava kirliliğinden büyük ölçüde etkilenen bir çok şehirde, biyokütle ve bunlardan türetilen yakıtların kullanılması ile kükürt dioksit ve benzeri zararlı gazların büyük ölçüde azalacağı da açıktır. Bu kapsamda 10.01.2008 tarihli ve 00158 sayılı yazıya istinaden Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü tarafından " **Enerji Bitkileri Tarımı Araştırma Merkezi**" kurulmuş ve ülke genelinde araştırma ve temel projeler yürütmekle görevlendirilmiş ve 2010 yılına kadar bu enstitünün alt yapısının bu konuda tamamlanarak faaliyete geçtiği belirtilmiştir.

BİYOKÜTLE'DEN ENERJİ ÜRETİMİ TANIMI VE KAPSAMI

Biyokütle ve Enerji Kaynağı Olarak Kullanımı

Biyokütle yakıtlar yeniden üretilebilen organik maddelerdir. Kullanılan biyokütle yakıtların büyük çoğunluğu, odunsu yakıtlar, enerji bitkileri ve hayvansal atıklar olmak üzere biyokütle sınıfından elde edilir. Kentsel belediye katı atıkları da bir biyokütle yakıt kaynağıdır. Biyokütle yakıtlardan elde edilen enerjiye biyokütle enerjisi denmektedir. Biyokütle yakıtının yanma emisyonları azdır. Fosil yakıtlara göre çok az asit yağmuru ve duman üretir. Uygun teknolojiler ve uygun yöntemler kullanılarak doğru bir şekilde enerjiye dönüştürüldüğünde, çevre üzerinde etkisi az, hızlı bir şekilde yeniden üretilebilen, uzun süreli ve güvenli bir enerji kaynağıdır. Biyokütlenin enerji üretimi açısından göz önünde tutulması gereken en önemli özelliği bünyesinde bulunan nemdir. Nem miktarı yanma verimini düşürür. Gazlaştırma ya da pelet yapımı gibi bazı yakıt üretme teknolojilerinde ise biyokütlenin belirli oranda bir nem içermesi istenir. Bununla birlikte ne kadar kuru olursa olsun biyokütle, her zaman petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan daha az, yerli kömür ve linyitlerden kadar enerji yoğunluğuna sahiptir. Diğer bir deyişle, aynı miktarda ısı elde edebilmek için petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlara göre daha fazla, yerli kömür ve linyitlere yakın biyokütle kullanmak gerekir (OGM, 2009). Isıl değerinin az olması ve biyokütlenin özellikle bir artık ürün olmasından dolayı bir enerji üretim tesisi için biyokütle yakıtların temini satın almakla birlikte, taşıma, boşaltma ücreti ödeyerek olur. Taşıma ve Boşaltma ücretinin miktarı yakıta ve yapılacak işleme göre değişir.

Odun mükemmel bir biyokütle kaynağıdır. Odun doğrudan yakılarak kullanılabildiği gibi çeşitli işlemler sonucunda pelet, briket haline getirilerek de konutlarda ve iş yerlerinde ısıtma amacıyla kullanılabilmektedir. Odun tek başına ya da kömür ve diğer biyokütle yakıtlarıyla birlikte kalorifer kazanlarında, elektrik santrallerinde ve gazlaştırma kazanlarında yakıt olarak kullanılabilir. Modern teknolojiler odundan daha fazla enerji almamızı mümkün kılmaktadır. Geleceğin teknolojileri ise odun artıklarının işlenerek içten yanmalı motorlarda, yakıt hücrelerinde ya da doğalgaz tesislerinde kullanılmak üzere yapay gaz üretilmesine olanak sağlamaktadır. En nihayetinde daha gelişmiş yakıt üretim teknolojileriyle, odunda bulunan selülozik maddelerden biyobenzin, biyomotorin gibi çeşitli sıvı yakıtlar üretilebilmektedir.

Orman Ürünlerinin Özellikleri

Odun diğer yakıtlara göre daha kısa zamanda yanma ve çabuk ısı verme özellikleriyle üstünlük taşımaktadır. 1 kg taş kömürü veya linyit için 15-17 m^3, 1 kg iyi kurutulmuş odun için ise 7-

9 m^3 havaya ihtiyaç vardır. Yanma sonunda, odunun bıraktığı kül miktarı daha az olup ağırlığının %1'i kadardır. Bu değer linyit için %15, kok ve antrasit için %5 tir. Ağaç türü, özgül ağırlığı, rutubet, kül ve ekstrasif madde miktarları kalori değerine etki eden etmenlerdir. Yanma sonucunda oluşan ısının bir kısmı odun içersindeki suyun buharlaşmasına harcandığı için, rutubet miktarının artmasıyla kalori değeri azalmaktadır. Ağaçların gövde odun kalori değerleri ortalaması yaklaşık 5000 cal/gr. Yapraklı ağaçların ise 4660 cal/gr dır. Ağaç türleri arasında en yüksek kalori değeri 5274 cal/gr. ile sarıçama aittir. Yapraklı ağaçlarda ise en yüksek değer 4894 cal/gr ile okaliptusun en düşük değer ise 4500 cal/gr. ile çınarındır. Dal odunda iğne yapraklı ağaçlarda ortalama kalori değeri 5018 cal/gr. Yapraklılarda 4620 cal/gr. olup iğne yapraklı ağaçların dal odunlarının kalori değeri yapraklı ağaçlardan %8 daha fazladır iğne yapraklı ağaçların ortalama dal-odun kalori değerlerinin gövde odunu ortalamasından daha fazla olduğu, yapraklılarda ise bu iki değer arasında fazla bir fark olmadığı görülmektedir. Gövde kabuk kalori değerleri iğne yapraklı ağaçlarda 5300-4400 cal/gr. yapraklı ağaçlarda ise 5200-3300 cal/gr. arasında değişmekte olup, iğne yapraklı ağaçlarda ortalama değer 4850, yapraklı ağaçlarda ise 4250 cal/gr dır (OGM, 2009).

Biyokütle Kaynakları

Biyokütle kaynakları 6 alt bölüm altında toplanabilir:

1-Orman artıkları: Ormanlarda yapılan üretim sonucu, sanayi odunu ya da yakacak odun olarak değerlendirilemeyen ve ormanda terk edilen kök, dip kütüğü, gövde ucu, tepe ve ince yan dallar, devirme ya da taşıma sırasında parçalanan ağaçlar; ormanlarda biriken kuru yapraklar, kozalaklar, küçük dallar ve dal parçasıkları; ağaçlandırma için saha temizliği, sıklık ve sırıklık bakımı gibi ormancılık uygulamaları sonucunda sahadan çıkarılan ince materyal ile ormanda ekonomik olarak değerlendirilemeyen ağaç, ağaççık, orman gülü, sandal ağacı, kocayemiş gibi çalılar, devrikler orman artığı olarak nitelendirilmektedir (Saraçoğlu, 2002). Bu atıklar yerinde parçalanarak taşınma hacimleri minimum seviyeye indirilecek ve tesis sahasına gönderilecektir. Tesis sahasına geldikten sonra bir müddete güneşte serili bırakılarak kurumaları sağlanacak, gerekirse bilahare pelet presler ile sıkıştırılarak pellet haline getirilecek ve depolanacaktır.

2-Testere artıkları: Kent ağaçlarının budanması sırasında ortaya çıkan artıklar, marangozhane artıkları, hurda tahtalar, kereste fabrikası artıkları, testere talaşı bu bölümde yer alır. Bunlardan, baltalık ormanlardan elde edilen odundan daha değişik yöntemlerle enerji üretilir.

3-Kimyasal olarak geri kazanım yakıtları (siyah likör): Kağıt endüstrisinde kağıt hamuru üretiminde kullanılan kimyasallardan elde edilen yakıtlardır (OGM, 2009).

4-Tarımsal artıklar: Mısır koçanı, kesilen otlar, ekin sapları, bağ ve meyve ağaçlarının budanmasından elde edilen artıklar, potansiyel biyoenerji kaynaklarıdır. Hasat atıkları da fotoğraflarda görüldüğü gibi süratle toplanacak, hacimleri nakliyeye uygun hale getirildikten sonra tesis sahasına gönderilecektir. Tesis sahasına geldikten sonra bu atıklar da bir müddete güneşte serili bırakılarak kurumaları sağlanacak, bilahare pelet presler ile sıkıştırılarak pellet haline getirilecek ve depolanacaktır.

5-Şehir Ağaçları ve yeşil alan artıkları: Belediyelerin park ve bahçelerinden toplanan artıklar, kullanılmış tahta eşyalar, inşaat tahtaları biyoenerji üretme tesislerinde kullanılabilir.

6-Enerji Ormanları ve Enerji Bitkileri: Belirli ağaçlar ve ot türleri enerji bitkileri olarak değerlendirilebilir. Enerji ormancılığında, hızlı büyüyen söğüt, kavak, yalancı akasya, okaliptüs, çınar, kızıl ağaç gibi ağaç türleri ve meşe yaygın olarak kullanılmaktadır.

GAZLAŞTIRMA TEKNOLOJİSİ

Katı atıkları gazlaştırmak için öncelikle uygun tane boyutuna ve daha sonra pellet haline getirmek gerekmektedir. Katı atıkları gazlaştırma işlemi birkaç basamakta oluşur. Katı atıktaki suyun uzaklaştırılması ise ön hazırlık işlemleri sırasında yapılır. Veya pellet haline gelen ve genellikle %10-15 su içeren katı atık gazlaştırıcı içerisinde suyunu buhar fazına geçirir. Bu kuruma işleminden

sonra piroliz, indirgenme, yanma ve benzeri reaksiyonlarına uğrar. İçerisinde % 35'den daha fazla su bulunan katı atık termokimyasal dönüşümle elektrik üretimi için uygun değildir. Gazlaştırma için %8-15 arası nem oranı uygun olup, 3-5 cm arası parça boyutu ideal olarak kabul edilir. Katı atık içerisindeki su gazlaştırma reaksiyonlarından biri olan su buharı reaksiyonuna gerekli olan su buharını üretmek üzere kullanılır ve bu reaksiyon oldukça önemlidir. Gazlaştırma işleminin başlayabilmesi için katı atık içerisindeki karbon elementinin bir kısmı yakılarak gazlaştırıcının önce suyun buhar fazına geçmesi, sonra piroliz fazına ulaşması ve daha sonrada gazlaşma reaksiyon sıcaklıklarına yükselmesini sağlanmaktadır. Gazlaştırıcı içerisinde oluşan reaksiyonlarını sırası ile aşağıdaki şekilde inceleyebiliriz; Kuruma; Suyun Buharlaşması, Piroliz, İndirgeme (Gazlaştırma), Yanma Reaksiyonları. Gazlaştırılma potansiyelinin kullanılabilmesi çok sayıda teknoloji geliştirilmiş olup, bunlardan en yaygın olanlar aşağıda sıralandığı gibidir:

-Sabit Yataklı gazlaştırma
-Akışkan yataklı gazlaştırma
-İndirekt(dolaylı)gazlaştırma
-Hızlı akışkanlı gazlaştırma

Genel olarak, bir oksitleyici ile karbon içeren malzemenin (biyokütle) gazlaştırılarak, gaz halindeki ürüne (yanıcı gaz, CO, H_2, CO_2, CH_4, N_2 karışımı) dönüşümü olarak tanımlanabilir. Gazlaşma ile 1000 ˚C sıcaklıkta syngaz üretir. Sıcak ham syngaz soğutma ve termal değerlendirme ve gaz yıkamanın gerçekleştirildiği gaz temizleme sistemine yönlendirilir. Genel olarak tesise ortalama 3000 kcal/kg ısıl güçte biyokütle verilmektedir. Biyokütle gazlaştırma teknolojisi isteğe göre 1 MWe'den 20 MWe üretimine kadar elektrik enerjisi üretebilecek farklı boyutta gazlaştırıcılara sahiptir. Tesisten üretilen syngazın ısıl değeri hava ile çalışan diğer akışkan yataklı gazlaştırıcılarda olduğu gibi 900-1200 kcal/Nm^3 tür. Gerekirse gaz motoruna ileve sıvı veya gaz yakıt (doğal gaz) verilmektedir. Üretilen syngazın bileşimi genel olarak CO (%16-20), H_2 (%5-15), CO_2, (%10-15), CH_4 (%3-5) ve N_2 (%50-55) den oluşur (Tolay vça, 2010).

Sabit yataklı yukarı veya aşağı akışlı gazlaştırıcılar yanı sıra akışkan yataklı gazlaştırıcılarda yaygın olarak biyokütle gazlaştırılmasında kullanılmaktadır. Akışkan yataklı gazlaştırıcıların katı atık gazlaştırılmasında uygulandığı bir çok sisteme ilave olarak kullanılan plazma teknolojisi ileri düzeyde tehlikeli atık bertarafı için önem arz etmektedir. Evsel ve endüstriyel atıkların bertaraf edilirken elektrik ve ısı enerjisi üretildiği çevre dostu gazlaştırma tesisleri akışkan yatak teknolojisi ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Akışkan yataklı gazlaştırıcılar genellikle sabit yataklı gazlaştırıcılara göre daha yüksek güçlerde ve daha yüksek verimle kullanılırlar. Bunlara en güzel örnekler İtalya, İspanya, İsviçre, İsveç, Finlandiya, Japonya, Almanya, A.B.D. gibi ülkelerde kullanılan sistemlerdir. Almanya ve Hollanda'da çalışmakta olan Envirotherm CFB biyokütle akışkan yatak gazlaştırıcıları 100MWth güç ile, İspanya'da Madrid yakınlarında Movialsa 5,9 MWe, Bulgaristan Karlova'da 5,0 MWe EQTEC akışkan yataklı gazlaştırıcıları ve Avusturya Güssing'teki 4,5 MWth gücündeki akışkan yataklı gazlaştırıcıları tarım ve odunsu endüstrisi atıkları için de örnek olarak gösterilebilir.

Tarımsal atıkların gazlaştırılmasında kullanılan en verimli akışkan yataklı gazlaştırıcılardan birisi İspanya'da Madrid yakınlarında Movialsa 5,9 MWe, Bulgaristan Karlova'da 5,0 MWe EQTEC akışkan yataklı gazlaştırıcıları uzun yıllardan beri başarı ile çalıştırılmaktadır. Tarımsal atıkların enerji üretiminde en uygun olarak kullanıldığı ülkelerden birisi İspanya'dır. Avrupa Birliği adına önemli ve örnek bir yenilenebilir enerji merkezi İspanya'da Madrid yakınlarında Movialsa 5,9 MWe EQTEC akışkan yataklı gazlaştırıcısı 40.000 saat sürekli çalışma referansına sahip olup üç adet gaz motoru ile yüksek verimde çalışmaktadır. Bu tesis hammadde olarak tarım atıkları kullanmaktadır. EQTEC Iberia Firmasının aynı teknolojisi Avrupa'nın farklı ülkelerinde 1MWe ve 10 MWe güçlerinde biyokütle gazlaştırılması için çalışmaktadır (Şekil 1).

Syngaz

EQTEC Iberia teknolojisi ile üretilen sentez gazı (Syngas) 4 ila 6 MJ / Nm3 arasında bir ısıtma değerine sahiptir ve içten yanmalı motorlar ile elektrik üretmek için yakıt olarak kullanılır. Sentez gazı gaz motorlarında enerji üretimi için kullanılmadan önce gaz temizleme sisteminde

temizlenmeli ve şartlandırılmalıdır. EQTEC Iberia özel bir syngaz temizleme teknolojisi geliştirmiştir. Syngaz temel olarak H_2, CO, CH_4, CO_2, C_2Hn, H_2O, N_2 gazlarının karışımından ve bir miktar katran karışımından oluşan bir gazdır. Bu EQTEC gazlaştırıcıları ile biyokütleden yaklaşık % 95 oranında (Tablo 1) karbon/gaz dönüşümü elde etmek mümkündür. Yukarıda tarif edilen EQTEC gazlaştırma tenkolojisi akış şemasına göre (Şekil 1), en fazla % 35 gaz motoru verimi ile 1 MWe ve 25 MWe'lik aralığında toplam tesis verimi % 75'e verimlerle elektrik ve ısı enerjisi üretmek mümkündür. Bu teknolojinin çevre emisyon seviyeleri diğer teknolojilere göre daha düşük olup Avrupa Birliği çevre standartlarının altındadır.

EQTEC gazlaştırıcısı sentez gazı (Syngas) bileşimi ve özellikleri yakıt olarak kullanılan biyokütle tipine bağlıdır. Tipik ısıl değerleri 4,5-5,5 MJ AID / Nm3 olup syngaz kompozisyonu Tablo 1'de verildiği gibidir:

Tablo 1. EQTEC Gazlaştırıcısı Sentez gazı Kompozisyonu.

Element	% volume
CO	15-19%
H_2	8-14%
CH_4	3-5%
CO_2	10-15%
N_2	47-55%
O_2	1-2%
C_mH_m	0.1-2%

Entegre Biyokütle Gazlaştırma Santrali'nde (IBGPP) (Şekil 1) biyokütle sentez gazına dönüştürülür, Bu gaz, belirli bir ısı değerine sahiptir ve şartlandırılmış bir kez, içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılır. Bu motorlar, bir alternatör hareket elektrik üreten ve aynı zamanda motor soğutma devresine gelen egzost gazları ve sıcak su/buhar biçiminde ısı üretir. Bu ısı ısıtma/soğutma amaçlı sıcak su, buhar ya da soğuk su üretmek için kullanılabilir. Sistemin elektrik verimi % 28 - % 35 arasında değerler ulaşır ve toplam verimlilik% 75'tir.

Gazlaştırma sistemine giriş yapan malzemeler biyokütle ile akışkanlaşma ve gazlaştırma sağlayan havadır. Sistemde ayrıca proses suyu kullanılır. Sistemden çıkan maddeler ise proses suyu, kül ve kuru gaz bulunmaktadır. Proses suyu soğutmada kullanılır ve tekrar soğutularak geri gönderilir. Gazlaştırma teknolojisi çevresel özellikleri şöyle özetlenebilir;

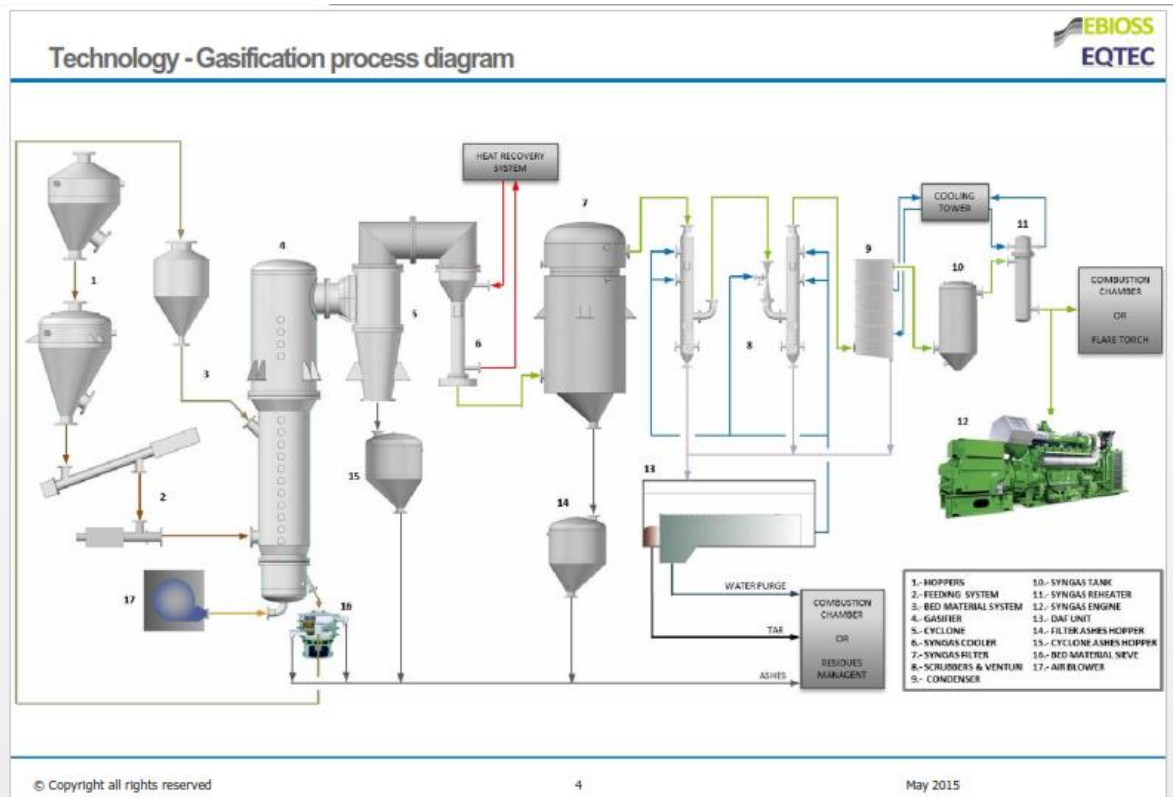
-Syngaz ile üretimi gazlaştırma teknolojisi çevre açısından en temiz ve çevre dostu teknoloji sağlar. SO_2 ve NOx problemleri yaratmaz,

-CO_2 gazlarının salınımı konusunda yenilenebilir kaynaklar kullanıldığı ve yenilenebilir enerji üretildiği için Kyoto Protokolü çerçevesinde uzun vadede gazlaştırma en uygun teknolojidir, yakma sistemlerinde olduğu gibi fazla yakma havası kullanmaz,

-Çevreye zarar veren çok farklı katı atıkların ortadan kaldırılması yine gazlaştırma ile mümkündür,

-Gazlaştırmada oluşan kül çimento fabrikalarında veya asfalt üretiminde kullanılır,

-Gazlaştırma tesislerinde fazla su ihtiyacı ve su kirliliği sorun yoktur.



Şekil 1. EQTEC Biyokütle Gazlaştırma Teknolojisi: Akış Şeması.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de alternatif ve yenilenebilir yakıt olarak temiz enerji tarımsal ve orman esaslı biyokütle atıklarının ve enerji bitkilerinin enerjiye dönüşüm olasılığını belirlemektir. Bitki atıkları değerlendirilmesini araştırmak için tarımsal atık ve orman atıklarının (özellikle mısır, pamuk, ayçiçeği, zeytin ağacı, buğday, çam, meşe vb atıkların), ülkenin yoğun enerji ihtiyacına yenilenebilir enerji kaynakları olarak cevap vermek üzere çalışma yapılmıştır. Bu nedenle, bu çalışmada, sırayla biyokütle yenilenebilir enerji potansiyeli ve sistemin maliyetinin hesaplanması, biyokütlenin gazlaştırma tesisinde syngaza dönüştürülmesi bilgileri sunulmuştur. Türkiye'de gazlaştırma ile biyokütleden syngaz üretim tesislerinin geliştirilmesi, sürdürülebilir rekabet gücüne sahip ekonomik ve çevre dostu tesislerin kurulmasının önemi vurgulanmaya çalışılmıştır. Farklı kapasitelerde biyokütle kullanarak farklı kombinasyonda gazlaştırma/enerji üretim tesislerinin ekonomik analizleri yapılarak fizibiliteleri karşılaştırılmaya çalışılmıştır.

Fizibilite çalışmaları için, dört farklı tip enerji üretim tesis kombinasyonu farklı biyokütle besleme miktarına göre yapılmıştır. Farklı dört tesis elektrik üretim kombinasyonu aşağıdaki gibidir:

A- GE + Buhar Üretimi - BIGCC Santrali
B- GE + Buhar Üretimi - BIGCC Santrali + Biyokütle Hazırlama
C- GE + ORC + Buhar Üretimi - BIGCC Santrali
D- GE + ORC + Buhar Üretimi - BIGCC Santrali + Biyokütle Hazırlama

(GE: General Electric Jenbechar Gas Engine, ORC: Organic Rankine Cycle, BIGCC: Biomass Integrated Gasification Combine Cycle)

SONUÇLAR

Ülkemizde çok önemli ithalat giderlerini oluşturan doğalgaz ve petrole bağlı dışa bağımlılığı azaltmak, çevre kirliliğinin önlenmesine bir nebze de olsa katkıda bulunmak, üretimdeki en önemli gider kalemlerinden olan enerji giderini azaltarak, ürün maliyetini düşürmek hedeflenmektedir. Bunun için ülke olarak alternatif enerji kaynaklarına yönelmemiz, bu konularda temel araştırmalar yürütülmesi gerekmektedir. Tarım ve orman atıkları gibi biyokütle kaynaklarının enerji kaynağı olarak kullanılması durumunda getireceği faydalar aşağıda şöyle açıklanabilir: Isıl değerleri 4000 kilo kalori bulunmaktadır. Biyokütle gazlaştırıldığında atmosfere kükürt dioksit ve azot oksitler gibi zararlı gazlar vermez. Bitki yetişmesi sırasında havadan aldığı karbondioksiti, yandığında geri verdiğinden, küresel ısınmaya neden olan karbondioksit miktarını arttırmaz. Havadaki karbondioksit miktarını etkilemeyen dünyadaki tek yakıttır. Özellikle enerji bitkileri, bitki içinde yaklaşık % 15 civarında şeker bulunmakta olup, bu da daha verimli gazlaşmasını sağlamaktadır. Katı yakıt olarak maliyeti, yerli linyit ve ithal kömürlerden çok daha düşüktür. Kül miktarı çok düşüktür. Temiz syngaz yakıt elde etmek mümkündür. Ayrıca biyokütle kaynağı olarak tatlı sorgum gibi enerji bitkilerinin yaygın olarak kullanılması durumunda, özellikle kırsal kesimde büyük bir iş potansiyeli yaratılacaktır. Ülkemiz enerji konusunda kesinlikle dışa bağımlı olmayacaktır. Hava kirliliği azalacaktır. Tarımın gelişmesine ve erozyonun engellenmesine neden olacaktır.

Biyokütle ve atıklardan enerji üretimi konusunda lider kuruluş olan EQTEC gazlaştırma ve enerji üretim teknolojisi en önemli sonuçları şöyle özetlenebilir:

-EQTEC gazlaştırıcıları yüksek gazlaştırıcı verimi sağlayan, yüksek verimle elektrik üreten teknolojiye sahiptir.

-EQTEC gazlaştırıcıları sadece biyokütle değil benzeri atkıları da kullanarak güç ve ısı üretimi sağlayan kojenerasyon tesisleridir.

-TOLAY Enerji, VERCO SL ve EQTEC Iberia birlikte biyokütle ve katı atıkların gazlaştırması için ticari ölçekte verimli ve kanıtlanmış teknoloji sunan bir konumdadır.

Tasarım kriterleri ile EQTEC gazlaştırıcıları biyokütle gazlaştırma ile elde edilen syngazdan elektrik ve ısı üretimi için fizibil tesisler kurmaktadır.

Biyokütlenin fiziksel özellikleri, ısıl değerleri, analiz değerleri göz önüne alınmış ve farklı güçlere göre fizibilite çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmada, aynı zamanda bir pellet üretmek üzere biyokütle briketleme makinesi da gerekirse fizibilite çalışmalarında hesaba katılmıştır. Ayrıca, Patentli EQTEC Iberia akışkan yataklı gazlaştırma sistemi ile kombine ısı ve güç üretimi ile kullanarak 1 den 10 MWe kadar farklı güç üretim kapasitelerinin ekonomik analizi Türkiye şartları için hesaplanmış ve sistemler tasarlanmıştır.

Yatırım dahil fizibilite çalışmaları, duyarlılık analizlerii, net bugünkü değeri, karlılık iç verim oranı gibi ekonomik analiz sonuçları bu yatırımların fizibl hale getirmekte geri ödeme süresi 5 MWe gücündeki bir tesis için 5 yıl ve 10 MWe bir tesis için 4 yıldır. Biyokütle gazlaştırma elektrik ve ısı üretim tesisi, Türkiye koşullarında yatırım için oldukça makul olarak görülmektedir.

Bu çalışmada, genel biyokütle ve gazlaştırma bilgisi verilmeye çalışıldıktan sonra farklı enerji tarımı bitkilerinin gazlaştırma metodu ile değerlendirilerek syngaz üretimi ve syngazdan da elektrik ve ısı enerjisi üretim metodları farklı örnekleri içeren gazlaştırma teknolojileri tanıtılmaya çalışılmıştır. Gazlaştırma metodu ile biyokütleden ve enerji bitkilerinden enerji üretimi İspanya, İtalya, İsviçre, Japonya, Almanya, A.B.D. gibi ülkelerde kullanılan sistemlerdir. Avrupa'da uzun yıllardan beri çalıştırılan farklı güçlerdeki biyokütle yataklı gazlaştırıcı tesisleri örnek olarak gösterilebilir. İspanya, İtalya, Fransa ve Bulgaristan'da çalıştırılan akışkan yataklı gazlaştırıcılarla biyokütle gazlaştırıcıları biyokütle için teknolojik ve ekonomik biçimde tasarlanarak bu çalışmada tanıtılmıştır. Bu çalışmada biyokütlenin gazlaştırılarak enerjiye dönüştürülmesi için önerilen teknolojiler ile ülkemiz koşullarında

yapılacak yatırımların fizibil olduğu görülmüştür. Bugünkü ekonomik koşullarda bu tür yatırımları geri ödeme süresi dört veya beş yıl olarak saptanmıştır.

Bu çalışmadan elde edilecek sonuçlar, temiz ve düşük maliyetli enerji elde etmek amacıyla endüstride kullanılabilecektir. Daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen olumlu sonuçlar tarım ve enerji sektöründe faaliyet gösteren bazı firmaların şimdiden ilgisini çekmiş ve çeşitli taleplerin gelmesini sağlamıştır. Bu ve benzeri çalışmalardan elde edilecek bilgi ve deneyimle biyokütle ve enerji bitkilerinin daha geniş ölçekte üretilmesi ve enerji santrallerinde yakıt olarak kullanılması mümkün olabilecektir.

Kaynaklar

1) Bascetincelik A. Ozturk, H.H., Karaca, C., Kacira M., Ekinci K., 2003, “Exploitation of Agricultural Residues in Turkey”, LIFE-03.TCY/TR/000061.

2) Başçetinçelik A., Karaca, C, Öztürk, H.H., Kaçıra, M., ve K. Ekinci, E., 2005. “Regional Distribution of Agricultural Biomass Potential in Turkey”, Proceedings of the 9th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture & 27th International Conference of CIGR Section IV: The Efficient Use of Electricity and Renewable Energy Sources in Agriculture, September, 27-29, İzmir-TURKEY, 2005.

3) Ekinci, K., 2005, “Türkiye'de Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi”, TÜBİTAK, 25 Kasım 2005, Kavaklıdere, Ankara.

4) Karaca, C., 2009, “Energy Conversion Possibilities of Agricultural Industry Wastes in Çukurova Region, PhD Thesis, Çukurova University, Adana, 2009. (in Turkish).

5) Güler, C., Akgül, M., 2002, "Bazı Odunsu ve Otsu Bitkilerin Enerji Üretiminde Kullanılması", Harran Ünv. Müh. Fak. GAP IV. Mühendislik Kongresi (Uluslararası katılımlı), Bildiriler Kitabı, Cilt II, s. 1653-1658, 6-8 Haziran 2002, Şanlıurfa.

6) Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2010, Bitkisel Üretim İstatistikleri 2009. www.tüik.gov.tr.

7) Tolay, M., 2007, “An Agricultural and Forest Waste’s Recycling Methods: Gasification of Solid Waste’, Recycling Magazine , Issue 3, July 2007, Istanbul. (in Turkish).

8) Tolay, M., Baileys, R., Waterschoot, A., 2010, “Drying and Gasification Technologies for Industrial Wastewater Sludge”, 12th Industrial Pollution Control Symposium, EKK 2010, June 16-18 2010, ITU, Istanbul-Turkey (in Turkish).

9) Tolay, M., Karaca, C, Terzioğlu, F., 2010: “Feasibility Study of Energy Production Processes from Agricultural Waste in GAP Region/Turkey”, UNDP GAP.

10) Koopmans, A., Koppejan, J., 1997, Agricultural and Forest Residue; Generation, Utulization and Availability. RWEDP; www.rwedp.org. Pp:21

11) Gärtner, S., 2008, “Final Report on Technical Data, Costs and Life Cycle Inventories of Biomass CHP Plants”, IFEU, IER-RS 1a D13.2, New Energy Externalities Developments for Sustainability; Project no: 502687, 9 April 2008.

12) US-EPA, 2007, “Biomass Combined Heat and Power Catalog Technologies”, USAEPA CHP, Sept. 2007, USA, www.epa.org/chp.

13) IEA, “Biomass for Power generation and CHP”, IEA Energy Technology Essential, January 2007, www.iea.org/techno/essentials3.pdf.

14) www.eqtec.es

CNC TORNA ve İŞLEME MERKEZİ KONTROL SİSTEM TASARIMI

CNC TURNING & MILLING MACHINE CONTROL SYSTEM DESIGN

Özgür Acar[1], *Dilek Bilgin Tükel*[1]

[1]Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü
Doğuş Üniversitesi, İstanbul
acarozgur10@gmail.com,dtukel@dogus.edu.tr

Özetçe

Teknoloji hızla ilerlemekte, endüstride kullanılan eski torna ve işleme tezgâhlarının kontrol sistemleri iyileştirmek gerekmektedir. Bu çalışmada, üniversitemizde yedek parça olmadığı için atıl olan tezgâhların modernizasyonu, kontrol ünitelerinin yenilenmesi için var olan sistemin çalışması incelenmiş, yeni kullanılacak kontrol sisteminin simülasyonu yapılarak satranç taşı işleyecek şekilde çalışması sağlanmıştır.

Abstract

In this project, the aim is retrofiting old turning and milling cnc machines at Dogus University Control & Automation Engineering Laboratory and to learn designing CNC control system and to use CNC machines with Mitsubishi M70V series. Simulation of a chess piece (queen) production has been achieved.

1. Giriş

İmalat endüstrisinde kullanılan CNC (Computer Numerical Control), bilgisayarlı sayısal kontrollü tezgahlar sektöre büyük kolaylıklar sağlamıştır. Nümerik kontrol ilk kez II. Dünya Savaşı sırasında ABD hava kuvvetlerinin karmaşık uçak parçalarının üretimi için ortaya çıkmıştır. Zamanın şartlarında bu karmaşık parçaların imalatı var olan tezgahları ile mümkün değildir. İlk olarak freze tezgahı nümerik kontrol ile çalıştırılmıştır.

CNC'nin çalışmasındaki temel mantık; sayı, harf, ve sembollerden üretilmiş kodların yardımıyla makinelerin işletilmesidir. Sayısal kontrollü makineler 3 bileşenden oluşur: Parça Program, Makine Kontrol Ünitesi, Takım Tezgahı. Bilgisayarlı nümerik kontrol tezgahın yazılmış programların kaydedilmesi yanında parça üretiminin her aşamasında programı durdurma, programda değişiklik yapabilme, programa kalınan yerden devam edebilme yeteneklerine sahiptir.

CNC makinelerin çalışması için sağlanan iletişim sistemi bileşenleri şunlardır: tahrik elemanları, ölçme elemanları, kontrol ünitesi ile tahrik ve ölçme elemanlarının arasındaki iletişimi sağlayan devreler, sistemin çalışmasını sağlayan bilgisayar programı.

CNC Tezgahların Avantajları:

- Tezgahın çalışma temposu her zaman yüksek ve aynıdır.
- Tezgahta yüksek hassasiyette parça üretmek mümkündür.
- Seri ve hassas üretim insan faktörünün fazla etkili olmaması nedeniyle mümkündür.
- Üretim sırasında ayarlama, ölçü kontrolü ve elle hareket nedeniyle olusan zaman
- kayıpları en aza indirilmistir.
- Üretim sırasında operatörden kaynaklanan hatalar ortadan kaldırılmıstır.
- Parça üzerinde yapılacak değisiklikleri kısa sürede program üzerinde yapmak suretiyle uygulamak mümkündür.
- Her türlü sarfiyat (malzeme, elektrik, emek) en aza indirgenmistir.

CNC Tezgahların Dezavantajları:

- Detaylı bir imalat planı gereklidir.
- İlk yatırım maliyeti çok pahalıdır.
- Klasik tezgahlara göre daha titiz bakım ve kullanım gereklidir.
- Kaliteli dolayısıyla pahalı kesici takımların kullanılması gerekir.

CNC Tezgahların Yapısı:

CNC makineler 0.001mm hassasiyet ile çalışabilir ve ani frenlemeleri en iyi şekilde yapabilirler. Bu da motorlarının, kızaklarının ve millerinin daha karmaşık bir yapıda olmasının sonucudur.

CNC Tezgah 3 ana üniteden oluşur: mekanik aksam, güç besleyici ve motorlar. Her ana mil tezgaha bir hareket verir ve bu tezgahın eksen sayısını belirtir.

[1] CNC Torna tezgahı

Bilgisayar desteği ile çalışan torna tezgahları Cnc torna tezgahı diye adlandırılmaktadır. Cnc torna tezgahlarında temelde 2 eksen bulunmaktadır. Çapta ilerlemeyi sağlayan eksen "X ekseni" ve boyda ilerlemeyi sağlayan eksene "Z ekseni" denir. Cnc torna tezgahları yatay ve dikey olarak imal edilirler. Aynanın dönme ekseni yere paralel ise "Yatay Cnc Torna", yere dik ise "Dik Cnc Torna" tezgahı denir.

CNC Freze tezgahı

Temel X,Y,Z eksen hareketleri ile prizmatik parçaların üretiminde kullanılan, bilgisayar desteği ile çalışan tezgahlardır. Cnc freze tezgahları dikey ve yatay olacak şekilde iki türlüdür. Dikey freze tezgahlarında iş parçasının bağlı olduğu tezgah tablası X ekseninde boyuna, Y ekseninde enine ve kesici takımın bağlı olduğu iş mili Z ekseninde dikine hareket eder. Yatay Cnc freze tezgahlarında iş parçasının bağlı olduğu tezgah tablası X ekseninde boyuna, kesici takımın bağlı olduğu iş mili Y ekseninde yukarı-aşağı ve Z ekseninde ileri-geri hareket eder. Dik Cnc freze tezgahlarına "Dik işleme merkezi" ve Yatay cnc freze tezgahlarına "Yatay işleme merkezi" denir.

Kontrol Paneli

CNC tezgahının kontrolü bu panel aracılığıyla yapılır. Ekran ya da operatör panel kısmında yapılan işlemler görülür. Simülasyonlar izlenebilir. Alfabetik ve sayısal tuşlar ile veri girişi gerçekleşir. Kontrol tuşları ile manuel hareket için eksen seçimi, taret döndürme, tezgah aynasını açma/kapama, tezgah milini çalıştırma/durdurma, soğutma sistemi açma/kapama, acil durdurma, devir sayısı/ilerleme gibi ayar düğmeleri bulunur.[1]

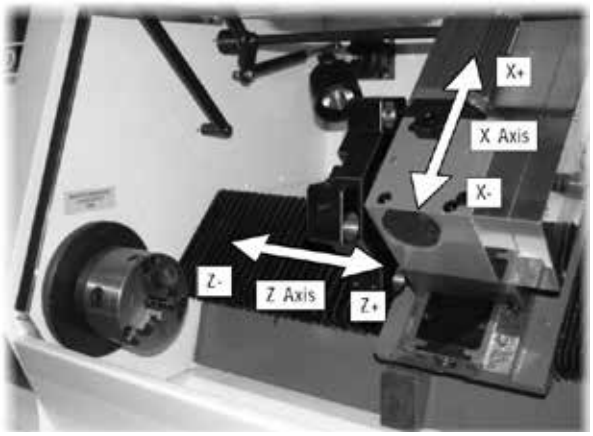
2. Proje Planlama ve Sistem Bileşenleri

CNC Torna ve İşleme Tezgahlarının kontrol sistemlerinin yenilenme projesi için; laboratuarımızda atıl olarak duran CNC makineler (Şekil 1,2,3,4) yapısı incelendi. Çalışma mantıklarını, kullanılan ekipmanlarının özellikleri çıkarıldı. Sistemin modernizasyonu için gerekli malzeme listesi oluşturularak, PLC programlama, motor sürücüleri ile parametrelendirme, arayüz tasarımı hakkında çalışma yapıldı.

Satranç taşlarından vezirin CNC makinede imalatı için gerekli parça programı yazıldı ve Mitsubishi M70V serisi CNC üniteleri ile CNC makinelerinde simüle edildi.

Şekil 1: Mirac CNC Torna.

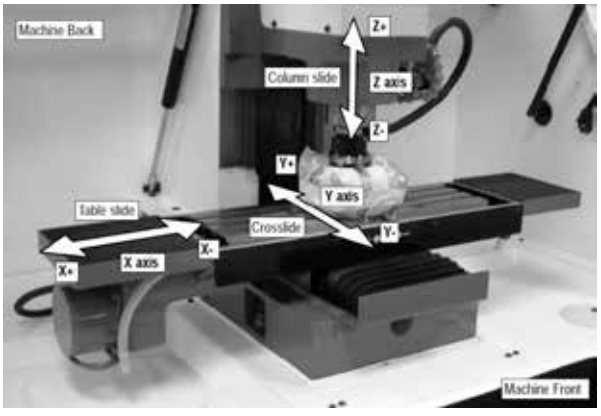
Mirac PC tabanlı bir CNC Torna tezgahıdır. 2 eksenli 0.75kW ayna motoru ve eksen step motorları vardır.



Şekil 2: CNC Tornanın Eksenleri

Şekil 3: Triac Serisi CNC İşleme Merkezi.

Triac PC tabanlı bir CNC İşleme Merkezidir. 3 eksenli ayna motoru: 1.1 Kw, DC, 1.5 hp ve step motorlar: 200 steps/rev, DC.



Şekil 4: CNC İşleme Merkezinin eksenleri.

Yenileme için kullanılacak CNC kontrol ünitelerine, motorlara ve diğer malzemeler:

Mitsubishi CNC M70V serisi kontrol ünitesi Torna İçin
Servo motor + Enkoder (Z ve Taret)
Servo motor + Enkoder + Fren (X)
Servo sürücü (X,Z,Taret)
Mitsubishi CNC M70V serisi kontrol ünitesi İşleme Merkezi İçin
Servo motor + Enkoder (X ve Y)
Servo motor + Enkoder + Fren (Z)
Servo sürücü (X,Y,Z)

Kontrol ünitesinin PLC programalaması için Mitsubishi GX Works programı kullanır (Şekil 5) . PLC programının içeriği olarak çalışma modları seçimleri, kapı açık kapalı kontrolü, takım seçme gibi kontrollerdir.

Şekil 5: GX Works.

Motor Sürücülerinin parametlendirme ayarlarını yapmak için ise Mitsubishi MR Configurator programı (Şekil 6) kullanıldı.

Şekil 6: MR Configurator.

Arayüz tasarımı Mitsubishi NC Designer ile yapıldı ve nılır ve bu arayüzü simülasyonda çalıştırmak için ise NC Trainer programı kullanılır (Şekil 7).

Şekil 7: NC Tranir.

3. CNC Tezgah Kullanımı ve Parça Program Yazmak

CNC Tezgahta istediğimiz vezir taşını imal edebilmek için parça programı yazmak gerekmektedir. [2] Programlamanın kuralları aşağıda ki gibidir:

1- Program Numarası (O 0001)

CNC programının başlangıcında O adresinden sonra, 4 rakama kadar program numarası girilir. Aynı program numarası birden fazla programa verilemez. Her bir parçanın (değişik parçanın) programına farklı Program Numarası verilerek hafızada saklanır.

Örnek: İki işlemle işlenecek parça için de iki farklı program numarası verilmelidir.

1. İşleme için Program Numarası O 0001;
2. İşleme için Program Numarası O 0002;

2- Program Satır Numarası (N 10)

N adresinden sonra kontrol ünitesi modeline göre 4 ve 5 rakama kadar Program Satır Numarası verilir.

Satır Numarası:

- Yeni programın kontrolünde,
- Normal Operasyonda,
-Program içerisinde herhangi bir satırı çağırmada kullanılır.

Genellikle program içindeki önemli yerlerde, programın arada bir yerden başlatılması gerektiğinde, satırı çağırma kolaylığı nedeniyle Satır Numarası verilir.

Örneğin, bir takım için operasyonun başladığı yerde Satır Numarası verilir.

3- Parça Programı

Belirli bir mantıksal sıraya göre yazılmış ve iş parçasının işlenmesi için gereken tüm bilgileri içeren, alfabetik, nümerik, alfanümerik ve sembollerden meydana gelen programlara denir.

4- Adres

CNC programında A' dan Z' ye kadar olan her bir karakter adres olarak tanımlanır.

Örneğin X, Y, Z, T, F, G, S, G, M vb.

N10 G00 X0. Z2. T0101;

5- Data

CNC programında her adresten sonra gelen sayısal değerler (işaret ve ondalık nokta içeren) "DATA" olarak adlandırılır.

N10 Z2. T0101; G00 X0. ;

6- Kelime

Adres ve dataları içeren ve her bir program satırını oluşturan en küçük birimdir.

N10 G00 X0. Z2. T0101;

7- Blok

CNC programında anlam bütünlüğü oluşturan satır ya da satırlara denir. Her program bloku " ; " ile biter.

8- Koordinat Komutları

A - Mutlak Koordinat Sistemine Göre (Absolute Coordinate System)

Bu tür koordinat sisteminde kesici takım iş parçası sıfır noktasına (X0, Z0) göre verilir.

1 noktasında konum X20. Z10. ;

2 noktasına hareket X10. Z-5. ;

B - Eklemeli Koordinat Sistemine Göre (Incremental Coordinate System)

Bu tür koordinat sisteminde kesici takım son bulunduğu noktaya göre verilir. Bu koordinat sisteminde X ekseni için U, Z ekseni için W adresleri kullanılır.

1 noktasında konum X20. Z10. ;

2 noktasına hareket U-10. Z-15. ;

Not: X ve U adresleri ile girilen değerler çap değerleridir. Ancak gerçekte takım hareketi yarıçap kadar olur.

Kesici takım bulunduğu bir noktadan bir başka noktaya hareket ettirilmek istenildiğinde iki farklı şekilde gönderilebilir;

9- CNC Parça Programlamada İşlem Sırası

CNC programı yazılmadan önce aşağıdaki işlem sıralarına dikkat edilmesinde büyük fayda vardır.

1- CNC tezgahının işlem bölgesi belirlenir.

2- İş parçasının tezgaha bağlanma şekli belirlenir.

3- İşlem sıraları belirlenir. (Örneğin, alın tornalama, dışçap tornalama, pah kırma,delik delme vb.)

4- İşleme türüne göre gerekli paso derinlikleri (talaş miktarları) belirlenir.

5- Finiş tornalama için bırakılacak paso miktarları belirlenir.

7- Kesme Hızı, Devir Sayısı ve İlerleme ile ilgili değerler belirlenir.

8- CNC programı önce kağıt üzerine yazılır.

9- Yazılan program CNC tezgahı kontrol ünitesinde diyalog programlama ile yazılır.

10- Yazılan programın Grafik Benzetimi (Simülasyonu) kontrol ünitesi ekranında izlenir ve varsa hatalar düzeltilir.

11- İlk iş parçası Adım Adım Modunda (Step by Step Mode) kontrollü bir biçimde işlenir.

12- İlk iş parçası imalatı sonunda;

- Kesici takımların sağlıklı hareket edip etmediği,

- Herhangi bir yere çarpıp çarpmadığı,

- Verilmiş olan paso miktarlarına göre tezgahın kesme koşulları,

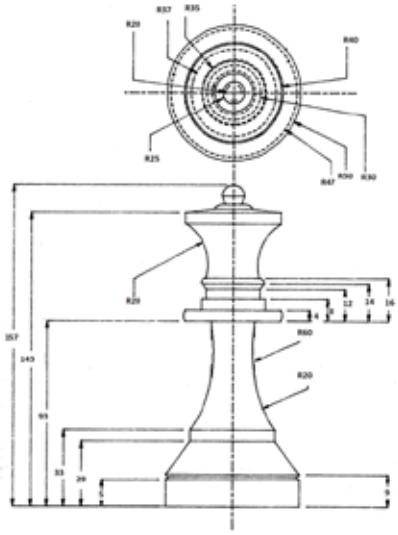
- Programda girilmiş olan kesme hızı, devir sayısı ve ilerleme değerlerinin uygun olup olmadığı kontrol edilir. Bu değerlerde değişiklik yapılması gerekiyorsa CNC programından değiştirilmektense Tezgah Kontrol Ünitesi üzerindeki "Spindle Override" ve "Feed Override" düğmelerinden ayarlanması tavsiye edilir.

13- İşlenmiş olan iş parçasının ölçüleri imalat resmine göre kontrol edilir. Ölçüsel farklılıklar varsa ilgili kesici takımın "Ofset Sayfasına" girilir ve gerekli düzeltmeler (çap ve boy) yapılır.

14- Yapılan son düzeltmelere göre işlenen ikinci iş parçasının ölçüleri tekrar kontrol edilir. Herhangi bir olumsuzluk yoksa artık seri imalata (Nonstop Mode) geçilir.

[2]

4. Vezir Satranç Taşının CNC Tornada imalatı



(Tool Wear Offset X-262.3 Z-395.3 Tool 007 in T01)

(QUEEN-CHESS Parça Programı)

(Bar Stock 50mm x 250mm)

G00 X0 Z0; (Takım Değiştirme için hızlı pozisyonlama)

T0101; (Takım 1 çağırılır)

M03 S2000 F0.15; (Aynayı çalıştırır 2000rpm, 0.15mm/rev besleme ile)

N00 G00 X54.009 Z30.129;(Parça sıfırına hızlı pozisyonlama yapar)

////

N01 G01 U-25; (Parçanın işlenmesi taslak olarak başladı)

N02 G01 U25;

…

N16 G01 U-25;

N17 G01 U25;

////

N18 G01 W-2;

N19 G01 U-10;

N20 G01 U10;

…

N27 G01 W-2;

N28 G01 U-10;

N29 G01 U10;
////
N30 G01 W-2;
N31 G01 U-10;
N32 G01 U10;
…
N72 G01 W-2;
N73 G01 U-10;
N74 G01 U10;
////
N75 G01 W-2;
N76 G01 U-15;
N77 G01 U15;
…
N90 G01 W-2;
N91 G01 U-15;
N92 G01 U15;
////
N93 G01 W-2;
N94 G01 U-10;
N95 G01 U10;
N96 G01 W-2;
N97 G01 U-10;
N98 G01 U10;
////
N99 G01 W-2;
N100 G01 U-20;
N101 G01 U20;
…
N141 G01 W-2;
N142 G01 U-20;
N143 G01 U20;
////
N144 G01 W-2;
N145 G01 U-10;
N146 G01 U10;
…
N192 G01 W-2;
N193 G01 U-10;
N194 G01 U10;
////
N195 G01 W-20; (Taslaktan sonra eğimlerin şekillenmesi)
N196 G01 U-10 W20;
N197 G01 W4;
N198 G01 U-10 W30;
N199 G01 W30;
N200 G01 U10;
N201 G01 W4;
N202 G01 U-5;
N203 G01 W4;
N204 G01 U-2;
N205 G01 W4;
N206 G01 U2 W2;
N207 G01 U-2 W2;
N208 G01 U-5
N208 G01 U10 W30;
N209 G01 W4;
N210 G01 U-15 W2;
N211 G01 W12;
////
N212 G01 U-25; (Radyusların oluşumu ve son şekil verme)
N213 G02 U25 W-8 R12;
N214 G01 U-5 W-2;
N215 G02 U5 W-2 R5;
N216 G02 U15 W-2 R10;
N217 G01 W-4;
N218 G03 U-10 W-30 R20;
N219 G02 U7 W-2 R4;
N220 G03 U-2 W-2 R3;
N221 G01 W-4;
N222 G02 W-4 R3;
N223 G01 U5;
N224 G02 W-4 R3;
N225 G01 U-8;
N226 G03 W-30 R60;
N227 G03 U10 W-30 R20;
N228 G01 W-4;
N229 G03 U10 W-20 R20;
N230 G01 U-5 W-3;
N231 G01 U3 W-3;
N232 G01 W-5;
G00 X250 Z200; (Güvenli bölgeye hızlı pozisyonlama)
M30; (Program Sonu)

5. Sonuçlar

Bu projede üniversitemizdeki atıl durumdaki tezgahların modernizasyonu için bu sistemlerin çalışması incelenmiş. Kullanılması gereken kompenentlere karar verilmiş ve sistemin benzetimi yapılmıştır. Bir sonraki aşamada tasarlanan sistem gerçeklenecektir.

Teşekkür

Mitsubishi Electric firmasına, bu projeye olan katkısından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynakça

[1] Kocaeli Üniversitesi Uzun çiftlik Nuh Çimento Meslek Yüksek Okulu Öğr. Gör. Serkan AKTAŞ - CNC EĞİTİMİ DERS NOTLARI

[2] Hamit Arslan www.hamitarslan.com – CNC Programları

Yük Altında Kademe Değiştirici Transformatörler için Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı Tabanlı Kontrolör Tasarımı

Multilayer Perceptron Artificial Neural Network based Controller Design for Under Load Tap Changer Transformers

Kadir Abacı[1], Zafer Özer[2]

[1] Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Çiftlikköy Kampusu
[1]kabaci@mersin.edu.tr

[2]Mersin Üniversitesi, Mersin Meslek Yüksekokulu, Uzaktan Eğitim Bölümü , Tece Kampusu
[2]zaferozer@mersin.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, Yük Altında Kademe Değiştirici Transformatörlerin (YAKDT) kademe değerinin ayarlanması için çok katmanlı Yapay Sinir Ağı (YSA) tabanlı bir kontrolör önerilmiştir. Yük Altında Kademe Değiştirici Transformatörler önemli bir gerilim düzenleyici araçlardır ve otomatik olarak dönüştürme oranları vasıtasıyla yük barasındaki gerilimi istenilen değerlerde tutmaya yararlar. Önerilen kontrolör ile yük barası gerilimini istenen değere getiren kademe oranı değeri ayarlanmaya çalışılmıştır. Kontrolörün performansı iki baralı bir güç sisteminde test edilmiştir. Önerilen kontrolörün cevabı klasik PI ve PID kontrolörler ile kıyaslanmıştır. Test sistemi üzerinde simulasyon yapmak için Matlab/Simulink yazılım paket programı kullanılmıştır. Sonuç olarak, önerilen kontrolör kolay bir şekilde uygulanabilir . Buna ilave olarak PI ve PID kontrolörlere göre yerleşme zamanı ve aşım miktarı açısından daha iyi bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

Abstract

In this study, A Multilayer Perceptron (MLP) Artificial Neural Network based (ANN) controller has been proposed for setting value of tap ratio of under load tap changing transformers(ULTC). The ULTC an important voltage regulation device automatically adjusts its turns ratio in order to keep the load side voltage within an acceptable range. The proposed controller is adjust tap ratio value which is load bus voltage desirable value. The performance of controller is tested in two buses sample power system. The response of proposed controller has been compared conventially PI and PID. The SIMULINK / MATLAB software package is used for simulation of test system. Finally, the proposed controller is easily applicable In addition to, It is presented which is simulated, is beter than PI and PID controllers when compared by settling time and overshoot values.

1. Giriş

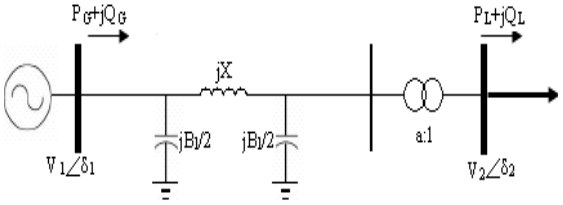
Güç sistemleri oldukça kompleks ve dinamik bir yapıya sahiptir. Güç sisteminden çekilen yüklerde sık sık değişimler arzu edilmeyen gerilim değişimlerine neden olur. Elektriksel yükler gerilime karşı çok duyarlıdır ve gerilim kararlılığını etkileyen en önemli faktördür. Üstelik karakteristik yapıları da oldukça farklıdır. Bu nedenle bazı yükler, gerilim değişimleri sonucunda güç sistemini olumsuz biçimde etkileyebilirler. Bu problemi çözmek için kademe değiştirici transformatörlerden faydalanılır Güç üreticileri, yük altında kademe değiştirici transformatörlerin kademe oranını istenen değere getirmek suretiyle tüketicilere kararlı ve anma değerine yakın gerilim sağlarlar [Lee]. KDT'ler önemli bir gerilim düzenleyici araçlardır ve otomatik olarak dönüştürme oranları vasıtasıyla yük barasındaki gerilimi istenilen değerlerde tutmaya yararlar[Dong]. KDT'ler orta süreli gerilim kararsızlığı probleminde önemli bir etkiye sahiptir.[Zhu] ve [Vournas] çalışmalarında statik analiz kullanılarak KDT'lerin maksimum güç transferini artırmada ve gerilim kararlılığını iyileştirmede etkileri olduğunu göstermişlerdir. Gerilimin kararlılığını sağlamak ve sistemi arzu edilen gerilim değerine getirmek için için kademe anahtarını otomatik olarak hareket ettiren ve ayarlayan iyi bir kontrolöre ihtiyaç duyulur.

Son yıllarda yük altında kademe değiştirici transformatörlerin kontrolunu sağlamak için birçok çalışmalar yapılmıştır.Kim ve Singh] sırasıyla STATCOM ve YAKDT'lerin YSA tabanlı kontrolu ile reaktif gücün kontrolunu koordineli olarak sağlayan kontrolörler önerilmişlerdir. [Vidyasagar] ve arkadaşları yapmış olduğu çalışmada SVC ve KDT cihazlarının reaktif güç kontrolunu sağlaması için koordineli çalışan bir kontrolör sistemi önermişlerdir.[Milano] YAKDT'ler için hibrit bir kontrol modeli önermiştir. [Choi] çalısmasında dağıtım sistemlerinde fiderlerdeki dengesiz yükler nedeniyle oluşan düzensiz gerilimin ayarlanması için KD transformatörlerin online bir kontrolunü önermiştir.

Bu bildiride YAKDT'lerin kademe oranının ayarlanması amacıyla çok katmanlı YSA tabanlı online öğrenme algoritmalı bir kontrolör tasarımı önerilmiştir. Önerilen kontrolörün performansı klasik PI ve PID kontrolörler ile kıyaslanmıştır. Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilen simulasyonlar sonucunda önerilen kontrolör PI ve PID kontrolörlere göre arzu edilen gerilim değerini kısa zamanda yakalayarak başarılı bir performans göstermiştir.

2. İki Baralı Örnek Sistemin Tanıtılması

Şekil 1.de iki baralı basit bir güç sistemi gösterilmiştir.. Bu sistem için temel generator modeli dinamik bağıntıları kullanılarak generator modeli, gerilim ile reaktif güç arasındaki kuvvetli bağımlılıktan ötürü yüke ait reaktif güç ile talep edilen reaktif güç arasındaki değişimle ifade edilen yük modeli ve kademe değiştirici transformatöre ait dinamik model aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.



Şekil 1. İki baralı örnek sistem

2.1.1 Generatör Dinamik Modeli

Makine için dinamik bağıntılar aşağıdaki gibidir

$$\dot{\omega} = \frac{1}{M}(P_M - P_G - D_G\omega) \quad (1)$$

$$\dot{\delta} = \omega \quad (2)$$

2.1.2 Yük Modeli

Yük barasındaki dinamik eşitlikler aşağıdaki gibidir.

$$\dot{V}_2 = \frac{1}{\tau}(Q_L - Q_D) \quad (3)$$

burada sırasıyla M ve D_G generator eylemsizlik ve sönümleme sabitleri, τ dinamik yüke ait gerilim zaman sabitleridir [Canizares].
Şekil 1'de verilen iki baralı sistem için güç akışı eşitlikleri kullanılarak baralardan çekilen aktif ve reaktif güçler denklem 4,5,6 ve 7 numaralı denklemlerde verilmiştir. $\delta = \delta_1 - \delta_2$,

$\zeta = 1 - \frac{XB_l}{2}, \xi = 1 - \frac{XB_l}{4}$ olmak üzere;

$$P_G = \frac{B_l\xi X + \zeta^2}{a^2 X_t\zeta + X} a V_1 V_2 \sin\delta \quad (4)$$

$$Q_G = \frac{(\zeta - a^2 X_t B_l\xi)V_1^2 - (aB_l\xi X + a\zeta^2)V_1V_2\cos\delta}{a^2 X_t\zeta + X} \quad (5)$$

$$P_L = \frac{1}{a^2 X_t\zeta + X} a V_1 V_2 \sin\delta \quad (6)$$

$$Q_L = \frac{aV_1V_2\cos\delta - V_2^2 a^2\zeta}{a^2 X_t\zeta + X} \quad (7)$$

Generatör barasından üretilen güç ve Yük barasından talep edilen güç sırasıyla $P_G + jQ_G$ ve $P_d + jQ_d$ şeklindedir. Basitleştirmek amacıyla hattın omik direnci ihmal edilmiştir. X ve B_l hattın empedansı ve şönt kapasitesini, a ve X_t ise KDT'nin dönüştürme oranı ve kaçak reaktansını göstermektedir. Generator barası gerilimi $\mathbf{V}_1$ sabit ve 1.p.u olarak alınmıştır.

2.1.3 Sürekli kademe değiştirici modeli

Bu model $a(t)$ 'nin sürekli bir şekilde değişimine dayanır. $a(t)$ a_{min} ile a_{max} arasındaki tüm gerçek değerleri alabilir. Genellikle sürekli kademe değiştirici modelde ayarlanan band sınırlarının etkisi ihmal edilir. Bu nedenle diferansiyel eşitlik aşağıdaki gibi [cutsem] yazılabilir.

$$T_C\dot{a} = -V_2 + V_2^0 \qquad a^{min} \le a \le a^{max} \quad (8)$$

(8) numaralı denklem kullanıldığı zaman kademe değiştiricinin bir integral karakteristik kontrollu olarak modellendiğine dikkat edilmelidir. Sürekli kademe değiştirici modeli ayrık kademe değiştirici modellerinden daha az doğrudur, fakat faydalı bir yaklaşımdır. Özellikle analitik çözümlemeler için elverişlidir. Zaman simulasyonlarında kullanımı sınırlıdır. T_c zaman sabiti olarak yazılabilir. Pratikte mekanik zaman gecikmesinin (T_m) önüne geçilemeyeceğine göre bunu kompanze etmek için daha büyük bir zaman sabitine ihtiyaç duyulur.

3. Yapay Sinir Ağları

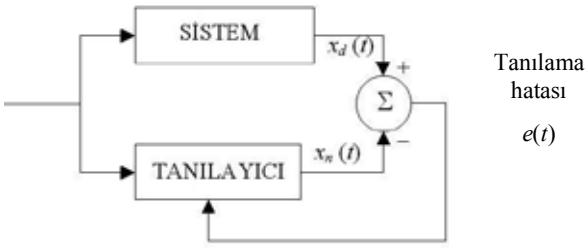
YSA dinamik sistemlerin kontrolüne başarılı şekilde uygulanabilmektedir. YSA klasik modellemeye göre hızlı, basit yapıda ve modellenmesi zor problemlerde kabul edilebilir sonuçlar sunması açısından üstünlükler arz etmektedir. En basit ve en genel yapay sinir ağları tek yönlü sinyal akışını kullanırlar. Yapay sinir ağı modelleri temel olarak İleri ve geri beslemeli yapay sinir ağları olarak iki grupta incelenebilir. İleri beslemeli yapay sinir ağlarında gecikmeler yoktur, işlem girişlerden çıkışlara doğru ilerler. Çıkış değerleri öğreticiden alınan istenen çıkış değeriyle karşılaştırılarak bir hata sinyali elde edilerek ağ ağırlıkları güncellenir. Geri beslemeli yapay sinir ağlarında ise tıpkı kontrol uygulamalarında olduğu gibi gecikmeler söz konusudur. Geri beslemeli sinirsel ağ, çıkışlar girişlere bağlanarak ileri beslemeli bir ağdan elde edilir. Ağın t anındaki çıkışı $o(t)$ ise, $t + \Delta$ anındaki çıkışı ise $o(t+\Delta)$'dır. Buradaki Δ sabiti sembolik anlamda gecikme süresidir. İleri beslemeli yapay sinir ağları notasyonu kullanılarak $o(t+\Delta) = f[w.o(t)]$şeklinde yazılabilir. Burada Başlangıç anında $o(0) = x(0)$'dır [Özer].

3.1 YSA ile kontrol

Tanılama ve kontrol problemleri endüstride de sıkça karşılaşılan problemlerdir. Bir sistemin YSA kullanılarak tanılanmasının nasıl yapılacağı Şekil 4. de gösterilmiştir. Sistem ve tanılayıcı aynı girdileri almakta ve bu girdilerle karşı sistemden x_d, tanılayıcıdan x_n çıktısı alınmaktadır.
Amaç tanılayıcıdan sistemin ürettiği yanıtı almak olduğuna göre, x_d ile x_n arasındaki hatayı en aza indirecek şekilde parametre güncellemesi yapılmalı ve e ile gösterilen hata değeri, tasarımcını öngördüğü belli bir sınırın altına düşene kadar eğitim sürdürülmelidir [Efe]

3.2 Önerilen YSA tabanlı Kontrolörün Tasarımı

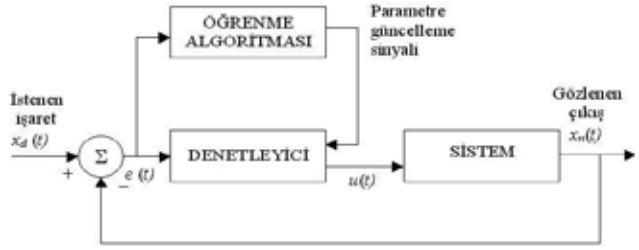
Yapılan çalışmada güç sisteminin dinamik davranışına ve yük artımı gibi bozucu etkilere karşı yük barası gerilimin kararlı halde kalmasını sağlayacak olan YAKDT!lerin kademe oranı değerinin istenilen değere getirilmesi amaçlanmaktadır.



Şekil 4: Sistem tanılama mimarisi

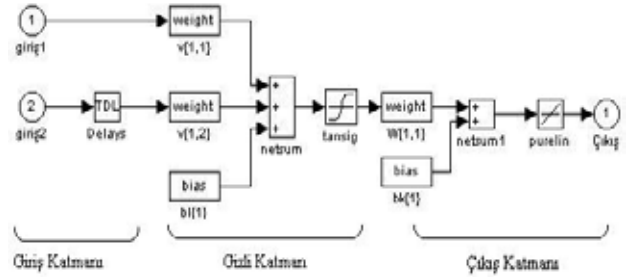
Gerilim değişiminin istenilen referans değerde sabit tutmak için YSA denetleyici referans ile yük barası gerilim (V) çıkışını karşılaştırarak bir hata değeri elde etmekte ve bu hatayı azaltmak için sistemi referans değere yaklaştıracak kademe değeri ayarlamasını parametre güncelleyerek yapmaktadır. Sistem denetiminde ise şekil 5. de gösterilen yapı kullanılmaktadır

Önerilen Yapay sinir ağı denetleyicisi iki girişli, bir çıkışlıdır. Girişler denetlenen sistem çıkışı ve aynı sistemin bir önceki çıkışıdır. Denetleyici on-line olarak sürekli eğitilmekte ve sistemin denetimi için uygun frekans değerini çıkış olarak vermektedir. Öğrenme katsayısı 0.125 olarak seçilmiştir. Daha öncede belirtildiği gibi girişlerle çıkışlar arasındaki hata sinyali bulunarak, ağırlıklar bu hata sinyaliyle güncellenmiştir. Hata yani $e(k)$, arzu edilen çıkış (gerçek çıkış - $y(k)$) ile sinir ağının çıkışı ($o(k)$) arasındaki farktır.



Şekil 5. Yapay sinir ağları ile oluşturulan bir denetleyici ve denetim sistemi

Denetleyici mimarisi Şekil 6'daki yapıda olup gizli katmanda 10 adet nöron vardır. Gizli katmanda doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonu çıkış katmanında ise doğrusal aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Fonksiyon her giriş değerine karşılık bir çıkış üretmekte elde edilen çıkış ile referans değer karşılaştırılarak hata değeri bulunmaktadır. YSA' ya ait parametre güncelleme işlemi ise bu hata değerine göre gerçekleştirilmektedir.



Şekil 6. Oluşturulan yapay sinir ağı denetleyicisi mimarisi.

4. Simulasyon Sonuçları

Şekil 1'de gösterilen örnek güç sistemi üzerinde simulasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu sisteme ait model 2. Bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir. Kullanılan parametrik değerler M=1, D_G=0.1,τ=0.5s, T_C =200s. Olarak seçilmiştir. İletim hattının empedansı X=0.5 p.u ve şönt empedansı B_f=0.01 p.u, olarak alınmıştır. İletim hattının direnci ihmal edilmiş (R=0) ve problemi basitleştirmek için P_M=P_d kabul edilmiştir. KDT'nin kaçak reaktansı X_t=0.1 p.u olarak alınmıştır. Önerilen kontrolorün tasarımı için iki girişli ve tek çıkışlı 10 adet gizli katmanlı bir yapay sinir ağı hücresi oluşturulmuştur. Her katmana ait giriş ve çıkış değerleri Çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1: Önerilen online YSA tabanlı kontrolörün giriş ve çıkış katmanı ağırlıkları

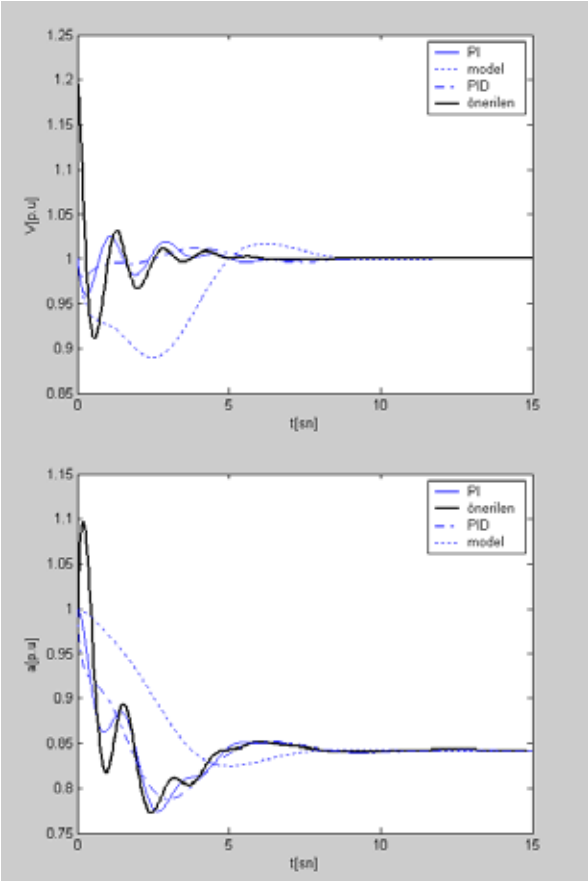
Katmanlar	Giriş katmanı ağırlıkları(v)	Çıkış katmanı ağırlıkları(w)
1	0.2439	0.3990
2	0.3667	0.0724
3	0.1263	0.1901
4	0.3962	-0.0053
5	0.1059	-0.2068
6	0.1005	-0.3201
7	-0.2663	-0.3308
8	0.0698	0.2076
9	-0.2246	-0.2536
10	0.0703	0.0176

Önerilen kontrolorün güç sisteminindeki performansını test etmek için yük barasından 0.6+j0.2 p.u değerinde aktif ve reaktif güç çekildiği farzedilmiş ve yük altında kademe değiştirici transformatörün kademe ayarı kontrolu hedeflenmiştir. Yük altında kademe değiştirici transformatörün kademe ayarının transformatörün sekonderine bağlı yük barası gerilimini 1.0 p.u değerine getiren kademe değeri önerilen kontrolör tarafından tespit edilerek gerilim kararlılığı sağlanmaya çalışılmıştır. Önerilen kontrolörün cevabını karşılaştırmak için klasik PI ve PID kontrolörlerle kıyaslaması yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda kademe değiştirici transformatörün kademe ayarı (a) ve yük barası geriliminin (V) değişimlerini gözlemlemek amacıyla Şekil 5. çizdirilmiştir. Bu şekilden görülmektedir ki 15 sn lik simulasyon sonucunda gerilimi 1.0 p.u değerine getirecek olan kademe ayarı değeri 0.842 p.u olarak bulunmuş ve önerilen kontrolor PI ve PID kontrolöre kıyasla daha başarılı bir performans göstermiştir. PI ve PID kontrolöre ait orantı sabiti (K_p), interal sabiti (K_i) ve türev sabiti (K_d) parametrik değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2: Klasik PI ve PID kontrolör parametreleri

Kontrolör	K_p	K_i	K_d
PI	10	5	-
PID	10	7	5

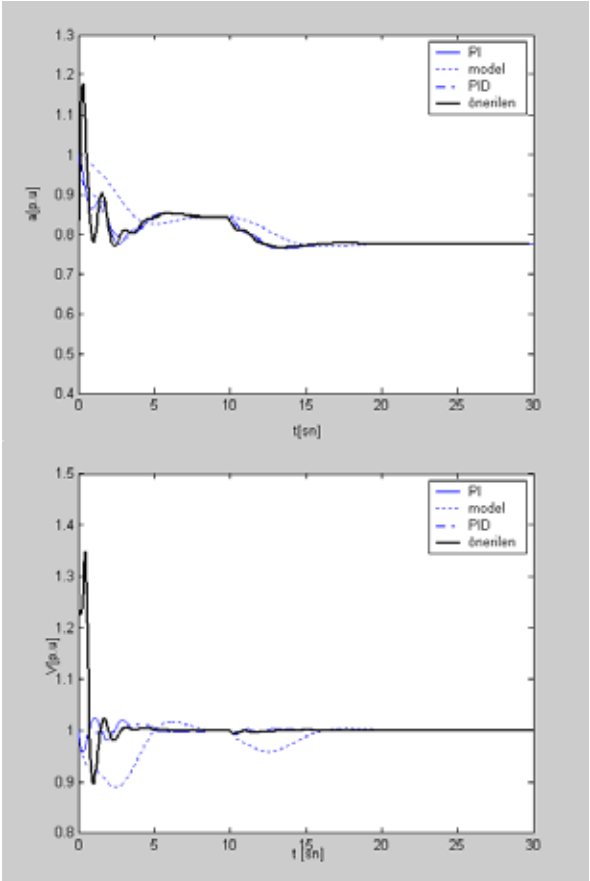
Önerilen kontrolörün bir bozucu etki sonrasında performansını araştırmak için yük artımının etkisi düşünülmüştür.



Şekil 5: Kademe ayarı ve yük barası geriliminin zamana göre cevabı

Simulasyonun 10. saniyesinde 0.6+0.2j p.u değerinde olan talep gücü %16.6 oranında artırılarak 0.7+0.23j p.u değerine ayarlanmıştır. 30 saniyelik simulasyon sonucunda önerilen online YSA kontrolör bozucu etki sonrasında da başarılı bir performans göstermiştir. Şekil 6' da kademe değiştirici transformatörün kademe ayarı (a) ve yük barası geriliminin (V) zamana karşı değişimleri görülmektedir.

Bu şekilden açıkça görülmektedir ki bozucu etki öncesinde 0.6+0.2j p.u değerinde yük barasından çekilen aktif ve reaktif güç sonucunda önerilen kontrol çok kısa bir sürede gerilimi 1.0 p.u değerine getirmeyi başarmıştır. 10. Saniyede 10. saniyesinde 0.6+0.2j p.u değerinde olan talep gücü %16.6 oranında artarak 0.7+0.23j p.u değerine ulaştığı farzedilmiştir. Bozucu etki sonrasında yük barası gerilimi 1.0 p.u değerine getirecek olan kademe ayarı değeri 0.788 p.u olarak bulunmuş ve önerilen kontrolor PI ve PID kontrolöre kıyasla daha başarılı bir performans göstermiştir.



Şekil 6: Onuncu saniyede güç sisteminin talep gücünün artırılmasına ilişkin kademe ayarı ve yük barası geriliminin zamana göre cevabı

5. Sonuçlar

Bu çalışmada güç sistemlerinde yük barası gerilim değerinin arzu edilen değerde tutulabilmesi için yük altında kademe değiştirici transformatörlerin kademe değerini ayarlayacak online öğrenme algoritmasına sahip YSA tabanlı bir kontrolör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Önerilen kontrolörün performansı klasik PI ve PID kontrolörler ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5 ve 6'da sunulmuştur. Önerilen kontrolör , güç sisteminin dinamik davranışı ve bozucu etki sonrasında başarılı bir performans göstererek yük barasına ait gerilimi arzu edilen değere daha kısa bir sürede taşımıştır. Böylrece önerilen kontrolörün hem kolay bir şekilde uygulanabilirliği gösterilmiş hem de PI ve PID kontrolörlere göre yerleşme zamanı ve aşım miktarı açısından daha iyi bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

6. Kaynaklar

Lee, San-Y., Chuang, Y.S. and Lai, Jun-W., "A novel STATCOM control scheme for the coordination with OLTC on voltage regulation" *International Journal of Smart Grid and Clean Energy* ,Vol.3.No.2,161-167,2014.

Dong, F. , Chowdhury B.H., Crow, M.L.,and Acar, L., "Impact of Load Tap Changing Transformers on Power

Transfer Capability", *Electric Power Components and Systems*,32:1331-1346,2004.

Zhu, T.X., Tso, S.K, and Lo, K.L., "An investigation into the OLTC effects on voltage collapse", *IEEE Trans on Power Systems*, Vol.15, No. 2, 515-521, 2000

Vournas, C.D., "On the role of LTCs in emergency and preventive voltage stability control" , *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*, New York, NY, January 2002.

Kim, G.W. Lee, K.Y., " Coordination Control of ULTC Transformer and STATCOM based on an Artificial Neural Network", *IEEE Transactions on Power Systems* ,Vol. 20, No.2, May 2005.

Singh, R., "Coordinated control ULTC power transformer with STATCOM for Voltage Control and Reactive Power Compensation", *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET),*Vol.1,Iss.10, 2012.

Vidyasagar, E., Ramu,N. And Raju, A.P., "Co-Ordination of SVC nd on Load Tap Changing Transformer for Reactive Power Control in Power Systems" *Proceeding of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists (IMECS 2008),* Hong Kong, March 2008.

Milano, F., "Hybrid Control Model of Under Load Tap Changers", *IEEE Transactions on Power Delivery* ,Vol. 26, No.4, 2837-2844,October 2011.

Choi, J-H. and Kim, J.-C., "The online voltage control of ULTC transformer for distribution voltage regulation", *Electrical Power and Energy Systems,*23,91-98,2001.

Canizares, C.A.," On bifurcations voltage collapse and load Modelling", *IEEE Transactions on Power Systems* ,Vol. 10, No.1, 512-522, February 1999.

Cutsem, T.V. and Vournas, C., *Voltage Stability of Electric Power Systems,* Kluwer Academic Publishers,2001.

Özer, Z., " Rüzgar Enerjisi Dönüşüm santrallerinde Kullanılan Generatörlerin Denetimi", *KSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi,* Kahramanmaraş,Ocak,2007.

Efe, Ö.., *Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları,* Boğaziçi Üniversitesi İstanbul, 2000.