



Elektrik Elektronik Mühendisliği Günleri
Bildiriler Kitabı

29 EYLÜL-1 EKİM 2011

ODTÜ KÜLTÜR ve KONGRE MERKEZİ
ANKARA



ANKARA ŞUBESİ

www.eemg.org.tr



ELEKTRİK ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ
GÜNLERİ 2011

BİLDİRİLER KİTABI

29 EYLÜL-01 EKİM 2011
ANKARA

Düzenleyen Kuruluşlar
TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Ankara Şubesi
Bilkent Üniversitesi
Gazi Üniversitesi
Kırıkkale Üniversitesi



TMMOB
Elektrik Mühendisleri Odası
Ankara Şubesi Yayınıdır

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ GÜNLERİ 2011

1. Baskı: Ankara
Kasım 2011

EMO Yayın No:
ISBN:

TMMOB ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI ANKARA ŞUBESİ
Necatibey Cd. No: 102/3 06570 Maltepe/Ankara
Tel: (0.312) 231 44 74 Faks: (0.312) 232 10 88
<http://ankara.emo.org.tr&ankara@emo.org.tr>

Baskı
Hermes Ofset Ltd. Şti.
K. Karabekir Cad. No:39/16 İskitler/ANKARA
Tel: (0312) 384 34 32 - www.hermesofset.com.tr

Bu kitapta, kabul edilen bildirilerden, EEMG’de sunulanların tamamı yayınlanmıştır.
Bu eserin yayın hakkı Elektrik Mühendisleri Odası’na aittir. Kitaptaki bilgiler kaynak gösterilerek kullanılabilir.

İÇİNDEKİLER

ELEKTRİK KONULU BİLDİRİLER.....	1
Küçük Rüzgâr Türbinleri ve Bir Örnek Uygulama.....	2
Yeni Nesil Kompanzasyon Sistemi SVC.....	6
Amasya İli İçin Yapay Sinir Ağlarıyla Rüzgâr Hızı Tahmini.....	10
DeneySEL Helikopter Modelinin Elektronik Tasarımı ve Gerçeklenmesi.....	14
Sıvı Seviye Sisteminin Bulanık Mantık ve PSO ayarlı PI İle Denetimi.....	18
Tarih ve Zaman Tabanlı Güneş Takip Sistemi.....	24
 ELEKTRONİK KONULU BİLDİRİLER.....	 29
Uydu Haberleşmesi, Gelişimi ve Üstünlükleri.....	30
ABC Algoritması ile Düzenlenen FIR Süzgeçlerde Mitral Kapak Doppler İşaretindeki Gürültü Giderimi.....	35
Kablolu-Kablosuz Yerel Alan Ağlarında Gerçek Zamanlı Uygulamalar İçin UDP Benzetimi.....	39
Morfolojik Görüntü İşleme Yöntemleri Kullanarak Geliştirilmiş Plaka Tespit Yazılımı.....	43
Fiber Bragg Izgara Kullanılarak Gazların Cins ve Yoğunluklarının Algılanması.....	46
Yere Nüfuz Eden Radar (YNR) Görüntülerinin Elde Edilmesinde Zaman Bölgesinde Sonlu Farklar (FDTD) Metodunun Kullanılması.....	50
Akım ve Gerilim Takipçileri ile Tasarlanmış Evrensel Tip Çok Çıkışlı Filtre.....	56
Yalnızca Topraklanmış Pasif Elemanlı Yeni Evrensel Yüzen Tip İmmittans Fonksiyon Simülatörleri.....	60
Merkezden Beslemeli Yarım Dalga Boyu Dipol Antenin Besleme Boşluk Mitarı Değişiminin HFSS ile Analizi.....	64
Yüksek Derece Modlu Kompakt Uzay-Multimod-Polarizasyon Dairesel Mikroşerit Anten Dizini İle IEEE802.11n MIMOOFDM WLAN Sistemlerinin Spektral ve Güç Verimliliği.....	68
Yere Nüfuz Eden Impulse Radar İçin Pulse Üretici Tasarımı.....	72
Termal Görüntüleme Sistemlerinde Görüntü Simülasyonu.....	76
 ORTAK VE DİĞER KONULAR İLE İLGİLİ BİLDİRİLER.....	 80
Türkiye'deki Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Meydana Gelen İş Kazalarının Analizi.....	81
Geleceğin Mühendisliği: Sistem Mühendisliği.....	87

ORGANİZASYON

EEMG 2011 DÜZENLEME KURULU

Prof. Dr. Ayhan ALTINTAŞ

Prof. Dr. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

Doç. Dr. Ediz POLAT

Prof. Dr. Şerafettin EREL

Prof. Dr. Orhan ARIKAN

Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul ÇAM

Yrd. Doç. Dr. Nursel AKÇAM

Duygu TOKMAK

Ebru AKGÜN YALÇIN

Hüseyin UÇURAN

Rahime TİĞREK

Ramazan PEKTAŞ

Serdar PAKER

Tülay IŞIK

Bilkent Üniversitesi

Gazi Üniversitesi

Kırıkkale Üniversitesi

Kırıkkale Üniversitesi

Bilkent Üniversitesi

Kırıkkale Üniversitesi

Gazi Üniversitesi

EMO Ankara Şubesi

EMO Ankara Şubesi

EMO Ankara Şubesi

EMO Ankara Şubesi

EMO Ankara Şubesi

EMO

EMO Ankara Şubesi

EEMG 2011 YÜRÜTME KURULU

Prof. Dr. Ayhan ALTINTAŞ	Bilkent Üniversitesi
YÜRÜTME KURULU EŞBAŞKANI	
Prof. Dr. Cengiz TAPLAMACIOĞLU	Gazi Üniversitesi
YÜRÜTME KURULU EŞBAŞKANI	
Prof. Dr. Şerafettin EREL	Kırıkkale Üniversitesi
YÜRÜTME KURULU EŞBAŞKANI	
Prof. Dr. Orhan ARIKAN	Bilkent Üniversitesi
Prof. Dr. A. Enis ÇETİN	Bilkent Üniversitesi
Doç. Dr. M. Timur AYDEMİR	Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Erkan AFACAN	Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. H. Volkan DEMİR	Bilkent Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul ÇAM	Kırıkkale Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Fırat HARDALAÇ	Gazi Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Nursel AKÇAM	Gazi Üniversitesi
Ali YİĞİT	EMO Ankara Şubesi
Duygu TOKMAK	EMO Ankara Şubesi
Ebru AKGÜN YALÇIN	EMO Ankara Şubesi
Hüseyin UÇURAN	EMO Ankara Şubesi
İbrahim SARAL	EMO Ankara Şubesi
Mehmet Ali KIRAN	EMO Ankara Şubesi
Mehmet KARABACAK	EMO Ankara Şubesi
Murat KÜÇÜKARSLAN	EMO Ankara Şubesi
Ömürhan SOYSAL	EMO Ankara Şubesi
Rahime TİĞREK	EMO Ankara Şubesi
Ramazan PEKTAŞ	EMO Ankara Şubesi
Tonguç ÜNAL	EMO Ankara Şubesi
Tülay IŞIK	EMO Ankara Şubesi
Yılmaz KOCAOĞLU	EMO

EEMG 2011 BİLİM KURULU

Prof.Dr. Ayhan ALTINTAŞ

Prof.Dr. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

Prof.Dr. Vakur ERTÜRK

Prof.Dr. Ayşe G. CANSEVEN KURŞUN

Prof.Dr. Nesrin SEYHAN

Doç.Dr. Timur AYDEMİR

Doç.Dr. Ediz POLAT

Yrd.Doç.Dr. Murat ARI

Yrd.Doç.Dr. Tolga EREN

Yrd.Doç.Dr. Nursel AKÇAM

Yrd.Doç.Dr. Ertuğrul ÇAM

Yrd.Doç.Dr. Eyüp TUNA

Dr. Mehmet Akif ŞENOL

Dr. Haluk GÖZDE

İbrahim EKE

Bilkent Üniversitesi

Gazi Üniversitesi

Bilkent Üniversitesi

Gazi Üniversitesi

Gazi Üniversitesi

Gazi Üniversitesi

Kırıkkale Üniversitesi

Karatekin Üniversitesi

Kırıkkale Üniversitesi

Gazi Üniversitesi

Kırıkkale Üniversitesi

Kırıkkale Üniversitesi

Gazi Üniversitesi

Kırıkkale Üniversitesi

Kırıkkale Üniversitesi

EEMG 2011 DANIŞMA KURULU

Ayşe ÖNER

Barış İŞLER

Doç.Dr. Mustafa ALKAN

Erkan ÇÖLKUŞU

Ferhat TAŞ

Feza HACIŞEVKİ

Gül İNCEKARA

Gürsel ŞAHİN

Halil TOKEL

Hüsamettin HANSU

Hüseyin ASUTAY

Koray GÜRE

Levent TANRIDAĞ

Mehmet Ali KIRAN

Mehmet GÜNEŞ

Merve AKGÜL

Mustafa ÜNVER

Nedim ŞENYAYLA

Orhan Kemal ARDIÇ

Özgür KADIOĞLU

Pınar YAVUZ

Prof.Dr. Mahmut ÖZER

Sami PANCAROĞLU

Sebahattin ULAY

Şahin YILDIRAN

Şinasi BODUR

Tarık ALYAKUT

Tunay ALKAN

Veysel SEVİM

Yaşar KELEKÇİ

Zekeriya KAHVECİ

KOSGEB

BDDK

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Krm.

Ulaştırma Bakanlığı

TPAO

Sanayii ve Ticaret Bakanlığı

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bk.

MİKES

TEMSAN

Ulaştırma Bakanlığı

Bayındırlık Bakanlığı

ASELSAN

AYESAŞ

EMO Ankara Şube

Dış Ticaret Müsteşarlığı

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bk.

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Krm.

TEMSAN

Ulaştırma Bakanlığı

İnform Elektronik San.veTic. A.Ş.

Ulaştırma Bakanlığı

YÖK

MİKES A.Ş.

Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı

Başkent Elektrik Dağıtım A.Ş.

Sağlık Bakanlığı

Sağlık Bakanlığı

Eğitim Teknolojileri Genel Müd.

Ulaştırma Bakanlığı

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı

Sanayii ve Ticaret Bakanlığı

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ GÜNLERİ 2011 PROGRAMI

29 Eylül 2011, Perşembe

Salon B

Salon D

10:00 –11:00	Açılış Konuşmaları	
11:00 –12:30	Çağrılı Konuşma : “Elektrik Elektronik Mühendisliğine Genel Bakış” Prof.Dr. Abdullah ATALAR - Bilkent Üniversitesi	
12:30-13:30	Yemek Arası	
13:30-15:00	Özel Oturum 1 : “Nanoteknoloji Uygulamaları” Prof.Dr. Ayhan ALTINTAŞ - Bilkent Üniversitesi Prof.Dr. Ekmel ÖZBAY – Bilkent Üniversitesi Prof.Dr. Tayfun AKIN - ODTÜ Yrd.Doç.Dr. Ali Kemal OKYAY - Bilkent Üniversitesi Yrd.Doç. Alper DEMİR - KOÇ Üniversitesi	
15:30-17:30	PANEL 1: “Uydu Teknolojileri Uygulamaları” Prof.Dr. Ozan TEKİNALP – ODTÜ Dr. Uğur LELOĞLU – TÜBİTAK – UZAY Onur TARAKÇIOĞLU – TAI Kuzeyhan ÖZDEMİR – BİLÜZAY Şenol GÜLGÖNÜL – TÜRKSAT Dr. Bülent YAĞCI – İTÜ UZAY/UÇAK Taner ÖZDEMİR – ASELSAN	

30 Eylül 2011, Cuma

Salon B

Salon D

09:30-10:15	Bildiri Oturumu-1 Doç.Dr. Timur AYDEMİR -Gazi Üniversitesi BN5- Yeni Nesil Kompanzasyon Sistemi-SVC Teyfik VARDAR, Fuat YILDIRIM, Ertuğrul ÇAM BN2- Küçük Rüzgar Türbinleri ve Bir Örnek Uygulama Ertuğrul ÇAM , Mehmet GÜCÜYETMEZ BN14-İki Bölge Güç Sisteminde PID Kontrolör İle Yük Frekans Kontrolü Enes YALÇIN , Ertuğrul ÇAM , Cengiz TAPLAMACIOĞLU	Bildiri Oturumu-2 Prof. Dr. Ayhan ALTINTAŞ -Bilkent Üniversitesi BN18- Yere Nüfuz Eden Radar (YNR) Görüntülerinin Elde Edilmesinde Zaman Bölgesinde Sonlu Farklar (FDTD) Metodunun Kullanılması ALP ALPER, Nursel AKÇAM , Funda Ergün YARDIM BN23- Merkezden Beslemeli Yarım Dalga Boyu Dipol Antenin Besleme Boşluk Miktarı Değişiminin HFSS ile Analizi Mehmet SÖNMEZ, Ayhan AKBAL BN27- Yere Nüfuz Eden İmpulse Radar için Pulse Üretici Tasarımı Ahmet YILDIRIM BN16- Fiber Bragg Izgara Kullanılarak Gazların Cins ve Yoğunluklarının Algılanması Uğur KARAOSMANOĞLU, İsa NAVRUZ
10:15-11:00	Özel Oturum-2 : Çağrılı Bildiri: Türkiye’de Rüzgârdan Üretilen Elektriksel Gücün İzlenmesi ve Tahmini Prof.Dr. Muammer ERMİŞ-TÜBİTAK-UZAY Prof.Dr. Işık ÇADIRCI -TÜBİTAK-UZAY Endüstri Y.Müh.Erman TERCİYANLI - TÜBİTAK-UZAY	
11:00-11:15	Çay Arası	
11:15-12:30	Özel Oturum -3 : “Enerji Üretim-İletim-Dağıtım” Prof.Dr. Cengiz TAPLAMACIOĞLU - Gazi Üniversitesi Halil ALIŞ – EÜAŞ Genel Müdürü Kemal YILDIR – TEİAŞ Genel Müdürü Cengiz GÖLTAŞ – EMO Başkanı	
12:30-13:30	Yemek Arası	
13:30-15:30	Özel Oturum- 4 : “Elektromagnetik Alanlar ve İnsan Sağlığı” Prof.Dr. Arif NACAROĞLU - Gaziantep Üniversitesi Prof.Dr. Nüket YILMAZ TURGUT - Atılım Üniversitesi Doç.Dr. Ayşe Canseven KURŞUN – Gazi Üniversitesi Tanık ÖDEN – Elektrik Mühendisleri Odası	Bildiri Oturumu -3 Yard.Doç.Dr. Ertuğrul Çam – Kırıkkale Üniversitesi BN3- Türkiye’deki Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Meydana Gelen İş Kazalarının Analizi Hüseyin CEYLAN BN11- Geleceğin Mühendisliği: Sistem Mühendisliği Sami PANCAROĞLU BN13- Morfolojik Görüntü İşleme Yöntemleri Kullanarak Geliştirilmiş Plaka Tespit Yazılımı Yasir GÜLTEKİN, Nursel AKÇAM , Funda ERGÜN YARDIM BN24- Yüksek Derece Modlu Kompakt Uzak-Multimod-Polarizasyon Dairesel Mikroşerit Anten Dizini ile IEEE802.11n MIMO-FDM WLAN Sistemlerin Spektral ve Güç Verimliliği Asuman YAVANOĞLU, Özgür ERTUĞ BN28- Termal Görüntüleme Sistemlerinde Görüntü Simülasyonu Ayhan CANPOLAT, Tuğba Selcan NAVRUZ
15:00-15:30	Çay Arası	
15:30-17:30	PANEL II : “Mühendislikte Akreditasyon” Mustafa ÇOBANOĞLU - MÜDEK Prof.Dr. Bülent ÖZGÜLER - Bilkent Üniversitesi Prof.Dr. Fuat ERCAN – Marmara Üniversitesi Ali YİĞİT - EMO Ankara Şubesi	

1 Ekim 2011, Cumartesi

Salon B

Salon D

10:00 –11:00	<i>Bildiri Oturumu-4</i> Öğr.Gör.Dr. Akif ŞENOL – Gazi Üniversitesi BN21- Deneysel Helikopter Modelinin Elektronik Tasarımı ve Gerçeklenmesi Emel SAĞLAM, Alper BAYRAK, Enver TATLICIOĞLU BN20- Yalnızca Topraklanmış Pasif Elemanlı Yeni Evrensel Yüzen Tip İmmittans Fonksiyon Simülatörleri Halil ALPASLAN, Erkan YÜCE BN10- Amasya İli için Yapay Sinir Ağları ile Rüzgar Hızı Tahmini Umut SARAY, Murat LÜY, Ertuğrul ÇAM BN26- Tarih ve Zaman Tabanlı Güneş Takip Sistemi Fathi HASSAN, Tuğba Selcen NAVRUZ BN19- Akım ve Gerilim Takipçileri ile Tasarlanmış Evrensel Çok Çıkışlı Filtre Halil ALPASLAN, Erkan YÜCE	<i>Bildiri Oturumu-5</i> Prof.Dr. Orhan ARIKAN - Bilkent Üniversitesi BN8- Uydu Haberleşmesi, Gelişimi ve Üstünlükleri Orkun DİLLİ, Nursel AKÇAM BN12- Kablolu – Kablesuz Yerel Alan Ağlarında Gerçek Zamanlı Uygulamalar İçin UDP Benzetimi Onur GÖK, H.Engin DEMİRAY BN15- Dinamik Spektrum ve Hat Yönetimi Metotlarının DSL Hatlarının Performansına Etkisi Zeynep POLAT, Hasan DİNÇER BN25- Sıvı Seviye Sisteminin Bulanık Mantık ve PSO Ayarlı PI İle Denetimi Recep ÇAKMAK, İsmail Hakkı ALTAŞ BN9- ABC Algoritması ile Tasarlanan FIR Süzgeçlerle Mitral Kapak Doppler İşaretindeki Gürültü Giderimi Serdar KOÇKANAT, Nurhan KARABOĞA, Türker KOZA
11:00 –11:15	Çay Arası	
11:15-12:00	<i>Özel Oturum-5 : Firma Sunumları</i> Prof.Dr. Özlem AYDIN ÇİVİ - ODTÜ - Radar Sistemlerinde RF/Mikrodalga Güç Yükselteçleri Bülent ŞEN – ASELSAN - Radar Sistemlerinde RF/Mikrodalga İşaret Kaynakları Bülent AY – ASELSAN - GERSAN Genel Tanıtım ve Aydınlatma Otomasyonu Marvan ELTÜRK - GERSAN	<i>Özel Oturum-6 : Firma Sunumları</i> - Mikrodalga Tasarım ve Üretim Yeteneklerimiz - İnanç ALTUNGÜNEŞ ASELSAN - Anten Tasarım ve Ölçüm Yeteneklerimiz Mehmet Erim İNAL-ASELSAN - SiGe Yarıiletken Teknolojisine Dayalı Tümlüşük Devre Tasarımı Dr. Barbaros ŞEKERKIRAN - ASELSAN-MKR-IC
12:30-13:30	Yemek Arası	
13:30-15:00	<i>Özel Oturum-7 :</i> “AR-GE Teşvikleri ve Sanayi Uygulamaları” Ozan DOĞAN – EMO Ankara Şubesi M. Sinan KABALOĞLU - Bilim, Teknoloji ve Sanayi Bakanlığı Ömer PAK - KOSGEB Ramazan PEKTAŞ - EMO Ankara Şubesi Ömer BAYKAL - GAZİ TEKNO PARK	
15:00-15:30	Çay Arası	
15:30-17:30	<i>PANEL III :</i> “Elektrik Elektronik Mühendisliği Eğitiminde Bugün ve Gelecek” Prof.Dr. Birsan SAKA Hacettepe Üniversitesi Prof.Dr. Veysi İŞLER - ODTÜ Prof.Dr. Güven ÖNBİLGİN - Ondokuzmayıs Üniversitesi Yrd. Doç.Dr. Murat LÜY - Kırıkkale Üniversitesi Özgür BOZKURT - Hacettepe Üniversitesi	

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ GÜNLERİ 2011

ELEKTRİK KONULU BİLDİRİLER

KÜÇÜK RÜZGÂR TÜRBİNLERİ VE BİR ÖRNEK UYGULAMA

¹Mehmet Gücüyemez, ²Ertuğrul ÇAM

¹Ahi Evran Üniversitesi, Kaman MYO

²Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh.Böl., 71450, Kampus, Kırıkkale

ÖZET

Bu çalışmada, kullanım alanı gün geçtikçe artan küçük güçlü rüzgâr türbinleri, bu türbinlerin yapısı, kullanım alanları, maliyet analizi ve örnek bir uygulama olarak Kaman Meslek Yüksek Okulunda gerçekleştirilen küçük güçlü bir rüzgâr türbini hakkında bilgi verilecektir. Bu bilgiler ışığında, küçük güçlü rüzgâr türbin teknolojisinin geldiği son nokta ortaya konulmuştur. Buradan hareketle türbinlerin birbirine benzer ve farklı yönleri belirtilerek gelecekte bu tarz türbinlerin geliştirilmesi amacıyla yapılması gerekenler tespit edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Küçük Güçlü Rüzgar Türbinleri, Alternatif Enerji, Kaman MYO Rüzgar Türbini, Maliyet.

1. GİRİŞ

Alternatif enerji kaynakları, artan enerji maliyetleri, küresel ısınma ve çevreye olan etkiler ve benzeri bir çok faktör dolayısıyla zamanla fosil yakıtlar ve bunların türevi diğer kaynakların yerini almaya başlamıştır. Birçok geleneksel sistem elektrik enerjisine geçiş yapmaktadır. Buna örnek olarak kömürle çalışan trenlerin elektrikle çalışan hızlı trenlere, benzinli taşıtların elektrikli taşıtlara geçişi örnek verilebilir. Geleneksel sistemler elektrik teknolojisine geçerken diğer yandan elektrik kullanan sistemlerin de kapasitesi artmaktadır. Tüm bu sistemlerde enerji kullanımı zorunlu ve kaçınılmazdır. İnsanlığın enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmakta ve enerjinin olmadığı durumda yaşam da neredeyse durmaktadır. Artan bu enerji ihtiyacının uzun yıllar fosil yakıtlarla karşılanması imkansızdır bu nedenle alternatif enerji kaynaklarının kullanımına ve teknolojisinin uygulanarak geliştirilmesine bugünden başlanmalıdır. En önemli alternatif enerji kaynaklarından birisi rüzgardır. Yeryüzüne düşen güneş enerjisinin %2 kadarı rüzgâra dönüşmektedir. Bu şekilde rüzgâr enerjisi sürekli ve çok önemli bir kaynaktır.

Rüzgâr enerjisi son yıllarda dünyanın en hızlı büyüyen enerji kaynağı olup, özellikle geçmiş 10 yılda rüzgâr enerjisi kullanım kapasitesi oldukça hızlı büyümüştür. Rüzgâr enerji dönüşümü dünyada yeni elektrik üretiminin en hızlı büyüyen

kaynağıdır ve belli bir sürede öyle kalacağı tahmin edilmektedir[1].

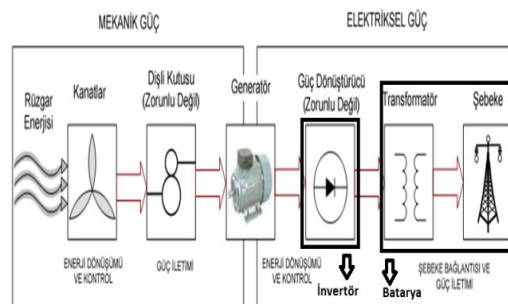
Rüzgâr türbinlerinin yatay, dikey ve yoğunlaştırıcı tipleri olmasına rağmen büyük çoğunluğu yatay eksenlidir. Günümüzde 8 MW' a kadar türbin yapılmaktadır. Bu en büyük türbinlerde teknik personel helikopterle kule üzerine indirilmektedir.

Rüzgâr türbinleri ile ilgili olarak küçük güçlü ya da yüksek güçlü şeklinde net bir sınırlama olmamasına karşın pratikte çoğunlukla 30 KW'a kadar olan türbinler küçük, daha yüksek güçlü olanlar ise yüksek güçlü olarak ele alınmaktadır. 30 KW üzeri güçlerde türbin özellikleri büyük güçlü türbinlere yaklaşır ve küçük güçlü türbinlerde kullanılan teknoloji değişime uğrar. Bunun sebebi küçük güçlü türbinlerde kullanılan mıknatısların boyutlarının arttıkça maliyetinin çok fazla artmasındandır.

Küçük güçlü türbinler KW seviyesinde enerji üretir ve bu türbinlerin bina, bahçe uygulamalarında kullanımı yaygındır. Küçük güçlü bir türbin rüzgârın sınırlı olduğu yerlerde rahatlıkla kullanılabilir.

2. KÜÇÜK RÜZGÂR TÜRBİNLERİ

Rüzgâr enerjisinde temel prensip kanat hareketi ile oluşan hareketin generatörün milini hareket ettirmesi bu sayede rotor ve stator arasında oluşacak manyetik alan ile elektrik enerjisinin elde edilmesidir. Küçük güçlü türbinlerde dişli kutusu çoğunlukla kullanılmaz. Büyük ve küçük rüzgâr türbinlerindeki güç enerji dönüşümü Şekil 1'de görülmektedir [2].



Şekil

1. Büyük-Küçük Rüzgar Türbin Dönüşümü

Güç dönüştürücüsü olarak invertör kabul edilebilir. Transformatör enerji aküye depolandığı için kullanılmamaktadır. Bu ekipmanların kullanımı tamamen sistemin kurulu gücüyle ilişkilidir.

Bu türbinlerde kullanılan parçalar kanat, kule, generatör, akü, pano, inverter, elektrik aksamaları (kablo vb.) olarak verilebilir.

2.1. DA Generatörler

DA generatörler küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin en önemli parçasıdır. Genel olarak 100,150,300,500,600,1000,5000(5KW),10000(10KW),20000,30000W(30KW) gücünde çeşitleri vardır. Bu jeneratörlerin yapısında çeşitli ebatlarda mıknatıslar bulunmaktadır. Mıknatıs boyutu generatörün gücü arttıkça artacağından da generatörler küçük güçlü türbinler için uygundur. Örneğin 5KW'lık bir da generatörde 10*8*3 mm mıknatıslar kullanılmaktadır. Rüzgâr hızı dolayısıyla mil hızı arttığında da generatör içerisinde sıcaklık artmaktadır. Bu durumda da generatörde kullanılan mıknatıslar yüksek sıcaklığa dayanıklı olmalıdır. Aksi takdirde yangın tehlikesi oluşabilir.



Resim 1. 150 W DA Rüzgar Generatör Yapısı

2.2. Kanatlar

Türbinlerde kullanılan diğer bir parça kanatlardır. 150W'lık bir türbin için kanat çapı 130 cm iken bu 5 KW'lık bir türbinde 480 cm'ye çıkmaktadır.

Rüzgâr türbini denilince tipik olarak akla gelen 3 ayrı kanattan oluşan bir yapı olsa da küçük rüzgâr türbinlerinde bu yapı 12 kanat sayısına kadar artabilir.

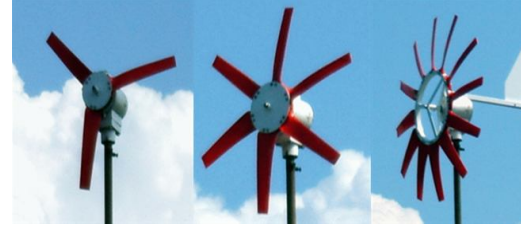
1 KW'a kadar olan türbinlerde kanat ince ve sac şeklindedir. Küçük güçlerde sert plastik, ahşap, alüminyum ya da sert kontrplak kanatlar kullanılır. Alüminyum büyük rüzgâr yüklerinde eğilme riski sebebiyle artık çok tercih edilmemektedir.

Daha yüksek güçtekindelerde kanat fiberglastan yapılır ve kanadın içi boştur. Bu boşluk bazen köpük sıkılarak da giderilebilir. Kanadın tasarımında esas olan verimli ve hafif olmasıdır. Kanat için öncelikle bir kalıp hazırlanır. Fiberglas malzeme bu kalıba dökülerek kanat yapılmış olur.

Kanat şekli ve çapı türbinin gücü değiştikçe farklılık gösterebilir. Küçük güçlü bir sistemde genelde 70 cm ile 2 m arasında kanatlar üretilirler. Bazı durumlarda kanat çapı aynı olmasına rağmen türbin dolayısıyla generatör gücü arttıkça kanat sayısı da artar. Bunun nedeni türbine gelen rüzgârdan daha fazla yararlanmaktır. Diğer açıdan generatörün istenen enerji miktarını üretebilmesi için çarpması gereken bir kanat alanı vardır. Bu,

$$\frac{1}{2} \rho A V^3 \propto \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

Formülüne göre kanat alanıyla orantılıdır. Dolayısıyla aynı çapa sahip olsalar da güç arttıkça kanat sayısı artmaktadır. Daha yüksek güçlü türbinlerde 3 kanat kullanılır. Bu kanatlar merkezden uca doğru daralarak ilerler ve bu bölge boyunca kanat uzunluğunun büyümesinden dolayı rüzgârın çarpacağı geniş bir kanat alanı bulunur.



Resim 2. 65-150-300 W'lık Rüzgar Kanatları

2.3. Akü

Elde edilen enerji akülerde depolanmaktadır. Gerilimi uzun süre üzerinde saklaması nedeniyle kuru standart aküler yerine jel aküler tercih edilmelidir. Standart kuru aküler yüksek şarj durumlarında kaynama yapabilir ve bunun sonucu akü kutup başları oksitlenir. Jel akülerin 7 Ah ile 210 Ah arasındaki tipleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Akülerin bağlantıları ve polaritelerine de dikkat edilmelidir. Gerekli durumlarda sigorta da kullanılabilir[3].

2.4. İnverter

Aküye depo edilen DA elektrik enerjisinin alternatif akım (AA) güç tüketen cihazlarla kullanılması durumunda da-aa dönüşüm yapan inverter kullanılır. İnverterler gerçek sinüs, modifiye sinüs ve şebekeye bağlı sistem olarak düşünülebilir. Gerçek sinüs inverterler modifiye olan tiplere göre daha pahalıdır. Düşük güçlü ve akım-gerilim değişimine çok hassas olmayan sistemlerde modifiye sinüs inverterler kullanılabilir. İnverter seçiminde sistemin ilk çekeceği güç ve akım göz önüne alınmalıdır. Örneğin bir elektrik motoru ilk çalışmasında nominal değerinin 3 katı akım çekebilir.

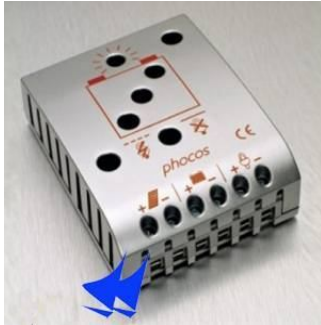


Resim 3. Off-Grid Modifiye Sinüs İnverter

2.5. Şarj Regülatörleri

Rüzgâr türbininden ya da güneş panelinden elde edilen da gerilim salınımlı ve düzensizdir. Akü sistemine bu gerilimi düzgün olarak aktarmak ve yüksek gerilimlerden korumak amacıyla şarj regülatörleri kullanılmaktadır.

Şarj regülatörleri generatörün verdiği çıkış gerilimi (12-24-36V) ve eğer hibrid sistem kullanılıyorsa üretilen akım değerlerine göre alınmalıdır.



Resim 4. Şarj Regülatörü

2.6. Rüzgâr Direği (Kule)

Rüzgâr gücü, rüzgâr hızının küpü ile doğru orantılı olduğundan, rüzgâr hızındaki ufak bir artış bile ekonomik açıdan oldukça önemlidir.

Türbini yüksek hızlı rüzgârlara maruz bırakmanın bir yolu da, türbinleri daha uzun kulelere monte etmektir.

Yer seviyesinin ilk birkaç yüz metre yüksekliklerinde, rüzgâr hızı yeryüzü ile olan sürtünme ve etkileşiminden dolayı oldukça fazla etkilenir. Pürüzsüz yüzeyler örneğin; durgun deniz yüzeyi rüzgâra karşı oldukça düşük bir direnç gösterir.

Rüzgâr hızındaki değişim oranı yüksekliğin artmasıyla birlikte daha düşük seviyelerde kalacaktır. Diğer yandan

yüzey rüzgârları oldukça tümsekli arazilerde, orman ve bina alanlarında oldukça düşük olacaktır.

Yüzey pürüzlülük faktörünün rüzgâr hızı üzerindeki etkisi aşağıdaki ifade ile karakterize edilebilir:

$$\left(\frac{v}{v_0}\right) = \left(\frac{H}{H_0}\right)^{\alpha} \quad \left(\frac{v}{v_0}\right) = \left(\frac{H}{H_0}\right)^{\alpha} \quad (2)$$

Burada v , H yüksekliğindeki rüzgâr hızı iken v_0 ise H_0 referans yükseklikteki rüzgâr hızıdır (Genelde $H_0=10$ m alınır). α ise sürtünme katsayısıdır.

α sürtünme katsayısı rüzgâra maruz kalan yer yüzeyinin topolojisine bağlı bir katsayıdır. Topoğrafya rüzgarın yönü, hızı ve dağılımında önemli bir rol oynar [4]. Aşağıdaki tabloda farklı yeryüzü topolojileri için α katsayıları verilmiştir.

Tablo 1. α Sürtünme Katsayısı Değerleri

Yeryüzü Karakteristiği	Sürtünme Katsayısı, α
Pürüzsüz sert toprak, durgun su	0,10
Toprak seviyesinde uzun çimenli bölge	0,15
Toprak seviyesinin üzerinde daha uzun mahsul	0,20
Kırsal orman alanları, bir çok ağaç	0,25
Ağaçlık ufak kasabalar	0,30
Uzun binalarla dolu büyük şehirler	0,40

Küçük türbinlerde direk boyları 6-30 m arasında olabilir. Kule yüksekliğinin tespitinde türbinin engellerden etkilenmemesi göz önüne alınır. Yüksek bir kule yüksek rüzgâr kızıllarını yakalamada avantajdır ancak maliyet faktörü de göz önüne alınmalıdır. Büyük türbinlerde direk ya da kule toplam türbin maliyetinin %10-15'ini oluştururken küçük türbinlerde bu oran daha artabilir. 150 W için 8 m, 5KW için 30 m direk boyu alınmıştır.

2.7. Yön Bulucu ve Koruyucu

Hâkim rüzgâr yönünü tespit etmek ve buna göre türbini çevirmek amacıyla büyük türbinlerde rüzgârın yön ve şiddetini ölçen anemometreler varken küçük türbinlerde bu işlem kanat arkasına monteli yön bulucu ile gerçekleştirilmektedir.

Yön bulucu plaka için kesin bir ölçü olmamasına karşın kanatlardan 70-80 cm uzakta ve ucunda 30 cm²'lik bir kare plaka olan bir mekanik bir parçadır. Bu parçanın çok küçük olması durumunda rüzgâr yönü istenildiği gibi yakalanamayacaktır. Büyük bir rüzgâr yön bulucu ise ağırlık açısından dezavantajlıdır.

Rüzgâr hızı 20 m/s ' i aştığında kanatlar için tehlike oluşmaya başlar ve kanat kırılabilir. Bu durumu önlemek amacıyla yön bulucuya 90° dik olacak şekilde koruyucu olarak adlandırılan mekanik bir parça eklenir. Bu parça ile yön bulucu arasına yay ile bağlantı yapılır. Rüzgâr hızı arttığında koruyucu yön bulucu ile eş merkezli hale gelir ve kanatları fırtına yönünden farklı bir yöne çevirerek türbini durdurur.

3. ÖRNEK UYGULAMA

Ahi Evran Üniversitesi Kaman MYO'da bahçe aydınlatması amacıyla 2010 yılında 150 W rüzgâr türbini ve 65 W güneş paneli destekli bir hibrid enerji ağacı kurulmuş ve bu sistemle bahçe aydınlatması yapılmaktadır.

Sistemde 150 W da generatör kullanılmış olup bu generatör 15 A 'e kadar yük alabilir. Kanat çapı 130 cm olup sert plastik malzemeden imal edilmiştir. Kullanılan şarj regülatörü 20 A 'dir. 600 W 'lık modifiye invertör kullanılmıştır. Bütün sistemin maliyeti aşağıda verilmiştir.



Resim 5. Kaman MYO Rüzgâr Türbini

Sistemde ki generatör 450 TL 'ye, kanatlar 100 TL 'ye ve 200 Ah 'lık jel akünün maliyeti 1000 TL 'ye mal olmuştur. Sistemde kullanılan şarj regülatörü 100 TL , modifiye invertör 200 TL , kontaktör ve diğer elektrik aksamı 50 TL 'dir. 8 mt . Direk 500 TL 'ye mal olmuştur. 65 W Alman malı güneş paneli 500 TL tutmuştur. Bu şekliyle 215 W 'lık hibrid sistem 2900 TL 'ye mal olmuştur. Güneş paneli dışında inşaat giderleri ile beraber 150 W 'lık rüzgâr türbini 2500 TL tutmuştur. 300 W 'lık sistem için bu maliyet 3500 TL civarındadır. Bu maliyetler üzerinde işçilik maliyetleri yoktur.

Sistem 30 W 'lık 20 adet lambayı 73 saat boyunca yakabilecek enerjiyi üretebilmektedir. Akünün dolma süresi rüzgârın hızı (4 m/s) ve güneşe bağlı olarak $6-10$ saattir.

Sisteme maliyet açısından bakıldığında çok yüksek maliyetlerin oluşmadığı ve sistemin orta vadede daha da yaygınlaşacağı görülmektedir. Toplum bilincinin yaygınlaşması ve seri üretim ile maliyetlerin daha da azalacağı tahmin edilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Muljadi, E.,Pierce, K. And Miglione, P.; “Control Strategy for Variable-Speed Stall-Regulated Wind Turbines”, American Controls Conference, Philadelphia, PA, June 24-26, 1998.
2. How to Build A Small Wind Turbine, Hugg Piggott, May. 2003 p. 2.
3. Rüzgâr ve Güneş Enerjili Güç Sistemleri Ders Notu, Doç Dr. Muğdeşem Tanrıöven, Sf. 2.
4. Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü,1992

YENİ NESİL KOMPAZASYON SİSTEMİ SVC

Tevfik VARDAR¹, Fuat YILDIRIM², Ertuğrul ÇAM³

Ankara Büyükşehir Belediyesi, Destek Hizmetleri Dairesi Başkanlığı, Ankara, 06253 Türkiye ¹

Ankara Büyükşehir Belediyesi, Fen İşleri Dairesi Başkanlığı, Ankara, 06253 Türkiye ²

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, 71450 Türkiye ³

Tel: +90 (312) 5072522; Fax: +90 (318) 3572459, t.vardar@ankara.bel.tr, fyldrm@hotmail.com, cam@kku.edu.tr

Özet: Tüketicilere uygulanan aktif-reaktif yüzde oranı sınır değerlerinin giderek düşmesi, kapasitif yüklerin yaygınlaşması gibi etkenlerden dolayı; artık eski teknoloji ürünleri ile kurulan kompanzasyon sistemleri, reaktif yükleri kompanze etmekte güçlük yaşamaya başlamıştır. Bu sebepler reaktif güç rölesi üreticilerinin bazı yenilikler yapmasını zorunlu kılmıştır. İlk etapta akım bilgisini tek fazdan alan monofaze reaktif güç rölelerinin yerini alan akım bilgisini üç fazdan alan trifaze reaktif güç rölelerinin üretilmesi, sisteme sadece kapasitif yüklerle değil endüktif yüklerle (şönt reaktörler) de cevap veren röleler üretilmiştir.

Bu gelişmeleri son olarak özellikle asansör, punta kaynak makinesi, vinç gibi hızlı devreye girip çıkan yükleri doğru ve hızlı bir şekilde kompanze edebilmek amacıyla, yeni nesil kompanzasyon olarak adlandırılan SVC (Statik Var Kompanzatör) sisteminin geliştirilmesi takip etmiştir.

Anahtar Kelimeler: SVC, TCR, Reaktif Güç, Kompanzasyon

I.GİRİŞ

Enerjiye olan taleplerin giderek artması, daha kaliteli ve güvenli bir enerji gereksinimi ortaya çıkarmıştır. Bu sebeple enerjideki güç kalitesi de önemli hale gelmiştir. Üretilen enerjinin daha kaliteli ve verimli kullanılması, iletim kayıplarının azalması, gerilim düşümlerinin önlenmesi, tüketicilerin maddi yük getiren reaktif bedeli ödemekle karşı karşıya kalmamaları için reaktif güç kompanzasyonu zorunlu hale gelmiş ve önemi de gün geçtikçe artmaya başlamıştır.

Güçlü ve hızlı devreye girip çıkan yükleri klasik kompanzasyon sistemleri ile kompanze etmek mümkün olmamaktadır. Çünkü reaktif güç rölesi ve kontaktör yardımıyla sisteme kapasitif reaktif enerji vermeye çalışan klasik kompanzasyon sistemleri ani olarak değişen yüklerle cevap verememektedir. Bu sıkıntılardan yola çıkılarak SVC geliştirilmiştir [1].

Statik Var Kompanzatör (SVC), klasik kompanzasyon sistemlerinin aksine asansör, punta kaynak, pres makineleri gibi milisaniyeler mertebesinde devreye girip çıkan yükleri hızlı ve tam bir şekilde kompanze etmektedir. Fakat reaktif güç kontrol rölelerinin hızları böyle yüklerle cevap vermede yetersiz kalmakla birlikte belirli

kondansatör kademelerine sahip olduğundan hızlı ve tam bir kompanzasyon sağlayamamaktadır. Ayrıca kontaktörler çok fazla açma-kapama yaptığından dolayı ömürleri çok kısa olmaktadır [1].

Klasik Kompanzasyon Sisteminin Dezavantajları

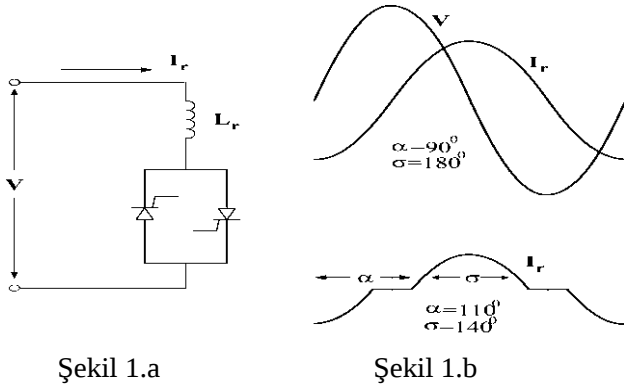
- Reaktif güç kontrol röleleri bir saniyenin altında değişen yüklere cevap verememesi.
- Kısa sürede çok sayıda devreye girip çıkma işleminin, kondansatör ve kontaktör üzerindeki olumsuz etkisi.
- Tam bir kompanzasyon yapabilmek için, fazla sayıda monofaze kademe kullanılması.
- Kondansatör kademeleri devreye alınırken, kontaktör kontaklarında ark meydana gelmesi.

SVC'nin Avantajları

- Yüksek hızda cevap verme süresi (maksimum ½ periyot, ortalama ¼ periyot).
- Dengesiz yüklerde bile monofaze kademe kullanmadan tam kompanzasyon sağlaması.
- Daha düşük hacimli kompanzasyon tesisi.
- Optimum çözüm
- Yüksek emniyet (Statik açma kapama).
- Yüksek verimli işletme.
- Transient oluşturmazlar, yalnız belli bir miktar harmonik bozulmalara neden olurlar.

II.TRİSTÖR KONTROLLÜ REAKTÖR (TCR)

Tristör kontrollü reaktörün eşdeğer devresi, tetikleme açısı ile iletim açısı ve akım, gerilim değişimi şekil 1'de gösterilmiştir [2].



Şekil 1.a

Şekil 1.b

Şekil 1.a - Tristör Kontrollü Reaktör'ün temel yapısı

Şekil 1.b - Gerilim ve akımın dalga şekli

İletim açısı (σ) tetikleme açısı (α) cinsinden yazıldığında;

$$\sigma = 2(\pi - \alpha) \text{ olur.}$$

Reaktör üzerinden akan ani akım aşağıdaki gibi yazıldığında;

$$i_r(t) = \begin{cases} \frac{\sqrt{2} \cdot V}{X_r} \left(\cos\left(\frac{\pi - \sigma}{2}\right) - \cos(\omega t) \right) \\ 0 \end{cases}$$

şeklinde olur.

Devrenin temel akım bileşeni Fourier Analizi ile şu şekilde hesaplanabilir;

$$I_r^{(1)} = \frac{V_m}{\sqrt{2} \cdot X_r} \left(\frac{\sigma - \sin \sigma}{\pi} \right)$$

Burada V_m değeri reaktörün maksimum değerini, X_r değeri ise reaktörün reaktansını göstermektedir. Devrenin temel akımı $I_r^{(1)}$ σ ve α değerleriyle bağlantılıdır.

Akımın ve gerilimin bileşenlerinden yararlanılarak TCR süseptans değeri şu şekilde hesaplanabilir;

$$B(\alpha) = \frac{I_1}{V} = \frac{\sigma - \sin \sigma}{X_r \pi} = \frac{2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha}{X_r \pi}$$

Devrede maksimum süseptans değeri $\sigma=180^\circ$ ve $\alpha=90^\circ$ değerlerinde elde edilir [1].

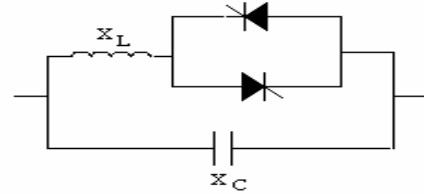
TCR devreleri α tetikleme açısı ile reaktörün süseptans değerlerini ayarlayarak istenilen güçte endüktif reaktif enerji tüketirler.

III.STATİK VAR KOMPANZATÖR (SVC)

Genel olarak Statik Var Kompanzatör (SVC) güç sistemine paralel bağlanarak çekilen veya aktarılan

reaktif gücün kontrolü ile bağlı olduğu sistem geriliminin belirli limitlerde kontrolüne imkân sağlamaktadır. Statik terimi, hareket halinde olan herhangi bir parçaya sahip olmadığından dolayı kullanılmaktadır [3]. SVC genel olarak iki farklı konfigürasyona sahiptir. Bunlardan ilki, Tristör Kontrollü Reaktör (TCR) ve buna paralel bağlı kapasitörden, diğer konfigürasyon olan Tristör Anahtarlama Kapasitör (TSC) ise Tristör Kontrollü Reaktör ve ona seri bağlı kapasitörden oluşmaktadır. TCR ve paralel kapasitörden oluşan SVC konfigürasyonu uygulamalarda geniş olarak kullanılmaktadır. İdeal bir SVC aktif ve reaktif güç kaybı olmayan, gerilimi referans gerilime eşit değişmeyen ve çok hızlı cevap verebilen kontrolör olarak tanımlanmaktadır [4].

IV.TCR VE PARALEL KAPASİTÖRDEN OLUŞAN SVC YAPISI



Şekil 2. SVC prensip devre şeması

Tristör kontrollü reaktör daima endüktif karakterlidir. Bu sisteme uygun boyutlarda sabit paralel (şönt) kapasite bağlanırsa tetikleme açısına bağlı olarak, toplam sistem endüktif veya kapasitif karakterli yapılabilir [2].

SVC'nin eşdeğer empedansı, TCR tristörlerinin tetikleme açısı değiştirilerek endüktif veya kapasitif olarak belirlenen sınırlar arasında değiştirilebilir. Endüktif değer için sistemden reaktif güç çekilmekte, kapasitif çalışma durumunda ise sisteme reaktif güç enjekte edilmektedir [3].

Tristörlerin ateşleme açılarının değiştirilmesi reaktör akımının temel bileşenine, dolayısıyla endüktif reaktif güç büyüklüğünü denetleyecektir. Bir yandan sabit kondansatörler kapasitif reaktif güç üretirken diğer yandan kontrollü reaktör endüktif reaktif güç tüketecektir. Belirli bir reaktif güç seviyesinde kondansatör grubunun reaktif güç üretimi sabit olduğundan, sistemin reaktif güç üretimi ateşleme açılarının değişimi ile sağlanmaktadır [1].

V.SVC UYGULAMASI

Ankara Büyükşehir Belediyesi Dikmen Gençlik Merkezi SVC ile kurulan kompanzasyon tesisi;

Tablo 1. Kondansatör Güçleri

Kademeler	Q 400V	Q 220V	Q 220V	Q 220V
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

	(RST)	(R)	(S)	(T)
1.Kademe	1 kVAR	0,3 kVAR	0,3 kVAR	0,3 kVAR
2.Kademe	1,5 kVAR	0,45 kVAR	0,45 kVAR	0,45 kVAR
3.Kademe	2,5 kVAR	0,81 kVAR	0,81 kVAR	0,81 kVAR
4.Kademe	5 kVAR	1,5 kVAR	1,5 kVAR	1,5 kVAR
5.Kademe	5 kVAR	1,5 kVAR	1,5 kVAR	1,5 kVAR
6.Kademe	10 kVAR	3,2 kVAR	3,2 kVAR	3,2 kVAR
7.Kademe	10 kVAR	3,2 kVAR	3,2 kVAR	3,2 kVAR

Kurulan tesis; her faza birer adet tristör kontrollü 1,5 kVAR reaktör ile tablo 1’de güçleri verilen, 7 kademe trifaze paralel kondansatör grubundan oluşan SVC sistemidir.

SVC sistemi çalışırken yapılan ölçümler neticesinde aşağıdaki değerler elde edilmiştir.

Tablo 2. Aktif-Reaktif Ölçüm Değerleri

Şebeke Fazı	Çekilen Aktif Güç (Watt)	Çekilen Reaktif Güç (Var)
R Fazı	4500	2650 (e)
S Fazı	1800	2610 (e)
T Fazı	1900	1165 (e)

(e) : Endüktif

Şebekeden çekilen endüktif reaktif enerjileri kompanze edebilmek için, SVC sistemi tablo 1’de verilen kondansatör gruplarından 1,3 ve 4. kademelerdeki trifaze kondansatörleri devreye alarak şebekeye toplam 8,5 kVAR kapasitif reaktif enerji vermiştir. SVC sistemi fazla gelen kapasitif reaktif enerjiyi sönmek için T fazına bağlı 1,5 kVAR değerindeki reaktörü %100 açmıştır.

Bu değerler neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3. Kompanzasyon Sonuçları

Şebek e Fazı	Çekilen Aktif Güç (W)	Kompanzasyon Sonrası Reaktif Güç (VAR)	Reaktif Aktif Oran
R Fazı	4500	40 (e)	% 0,9 (e)
S Fazı	1800	0	% 0
T Fazı	1900	55 (c)	% 2,9 (c)

(e) : Endüktif , (c) : Kapasitif

Bu sonuçlar doğrultusunda sadece trifaze kademeler kullanılarak SVC sistemi ile %0,9 endüktif, %2,9 kapasitif oranlarla tesis kompanze edilmiştir.

Ayrıca tesiste yapılan güç analizi sonucunda sistemden çekilen reaktif güç değerleri ve süreleri kaydedilmiş, hızlı girip çıkan yükler tespit edilmiştir.

Tablo 4. Güç Analiz Değerleri

Reaktif Güçler (VAR)			Süre
R Fazı	S Fazı	T Fazı	
90 (c)	540 (e)	540 (e)	1 sn
360 (e)	1000 (e)	360 (e)	1 sn
360 (e)	630 (e)	1200 (e)	1 sn
360 (e)	720 (e)	630 (e)	53 dk
360 (e)	1200 (e)	1300 (e)	9 sn
90 (e)	540 (e)	540 (e)	1 sn
720 (e)	1500 (e)	900 (e)	17 dk
270 (e)	180 (e)	180 (e)	13 dk
180 (e)	180 (e)	180 (e)	151 dk
90 (e)	810 (e)	1900 (e)	1 sn
90 (e)	180 (e)	180 (e)	194 dk
180 (e)	360 (e)	180 (e)	94 dk
180 (e)	360 (e)	90 (e)	8 sn
810 (e)	2100 (e)	1700 (e)	314 dk
360 (e)	360 (e)	360 (e)	16 sn
1100 (e)	720 (e)	810 (e)	1 sn
810 (e)	630 (e)	360 (e)	1 sn
1600 (e)	540 (e)	540 (e)	1 sn
1400 (e)	720 (e)	360 (e)	1 sn
360 (e)	2100 (e)	3600 (e)	16 sn
180 (e)	1300 (e)	540 (e)	2 sn
90 (c)	810 (e)	270 (e)	1 sn
2100 (e)	1400 (e)	810 (e)	1 sn

(e) : Endüktif , (c) : Kapasitif

Tablo 4’de görüleceği üzere tesiste hem dengesiz hem de hızlı girip çıkan reaktif güçler tespit edilmiştir. SVC ile bu reaktif güçler hızlı ve doğru bir şekilde kompanze edilmiştir.

Tesisin bir aylık endeks değerleri baz alınarak yapılan hesaplamada reaktif – aktif oranı da % 5,67 endüktif , % 1,6 kapasitif olduğu gözükmemektedir[5].

VI.DÜŞÜNCELER

Statik Var Kompanzator sistemleri; özellikle sanayi ve üretim tesislerinde kullanılan punta kaynak makineleri, vinçler, ark ocakları, düz kaynak, binalarda ise asansörler gibi devreye hızlı girip-çıkan yüklerin kompanzasyonunda optimum çözüm sunarlar.

Ayrıca dengesiz yüklenmelere karşıda hassas ve tam kompanzasyon sağladığından klasik reaktif güç röleli kompanzasyon tesislerine göre büyük avantaj sağlarlar.

Güç faktörü düzeltme işleminde tüketicilere ideal ve sorunsuz çözümler sunan SVC sistemlerinin arge çalışmaları desteklenmeli, özellikle yerli yatırım haline getirmek için teşvikler artırılmalıdır.

VII.KAYNAKÇA

- [1] Selim C., Semih M., D.Ergün A., Fuat A., Celal K., “Endüstriyel Tesislerde Reaktif Güç Kompanzasyonu İçin Statik Var Kompanzasyon Sisteminin Gerçekleştirilmesi“.
- [2] Aydoğdu E., Olgun O., “Statik Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Uygulama Devresi”, Bitirme Tezi, Y.T.Ü, E.E.F, 2007
- [3] Akgün Ö., “Statik Var Kompanzatör ve Tristör Kontrollü Reaktör Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, N.Ü, F.B.E, 2006
- [4] Eminoğlu U., “FACTS Elemanları Kullanılan Güç Akis Sistemlerinin İncelenmesi”,Y. Lisans Tezi N.Ü F.B.E, 2003
- [5] Ankara Büyükşehir Belediyesi Dikmen Gençlik Merkezi Elektrik Faturası, Mayıs 2011

Elektrik Elektronik Mühendisliği Sempozyumu

Amasya İli İçin Yapay Sinir Ağlarıyla Rüzgâr Hızı Tahmini

Umut Saray¹

Murat Lüy²

Ertuğrul Çam³

¹Turhal Meslek Yüksekokulu, Tokat

^{2,3} Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale

¹e-posta: umut.saray@gop.edu.tr

²e-posta: mluy@kku.edu.tr

³e-posta: cam@kku.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, Türkiye'nin kuzeyinde Karadeniz bölgesinin Orta Karadeniz bölümünde konuşlu Amasya iline ait rüzgâr verilerinin, Yapay sinir ağları(YSA) yardımıyla rüzgâr hızı tahmini için kullanılması incelenmiştir. Amasya ilinin 2010 yaz mevsimi için rüzgâr hızı tahmini yapılmış ve her bir ayın uygulaması için ortalama karekök hatası(RMSE) ve ortalama karesel hata(MSE) değerleri hesaplanmıştır.

1. Giriş

Enerjinin yeterli, zamanında ve kaliteli olması önemlidir. Nüfus artışı ve sanayideki gelişmeler, enerjiye gereksinimi her geçen gün daha da arttırmaktadır. Fosil yakıtların rezervlerinin ileride tükeneceği bilinmektedir. Bu nedenle Dünya'da enerji tasarrufu, enerjinin geri kazanılması, yeni enerji kaynaklarının araştırılması önem kazanmıştır. Karbondioksit emisyonlarının iklimdeki olumsuz etkileri, Küresel ısınma, çevresel etkenler, Yenilenebilir enerji ihtiyacının dünya için çok önemli olduğunu göstermiştir. [1]

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en yaygın olan enerji türlerinden biri de rüzgâr enerjisidir.

Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları içinde en yaygın enerji türlerindendir. Rüzgâr enerjisi, birçok ülke tarafından devlet teşviki ile desteklenmektedir. Çin, Brezilya, Kanada, ABD, Danimarka, Japonya, Hollanda ve Türkiye bu ülkelerdendir. [2]

2010 yılında dünyada rüzgâr kapasitesi 196630 MW boyutuna ulaşmıştır. 2009 yılında 159050 MW, 2008 yılında 120903 MW, 2007 yılında 93930 MW elektrik üretilmiştir. Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi her geçen gün daha da artmaktadır. Ülkemizde de bu gelişim sürmektedir. 2010 yılında, Türkiye büyüme oranı açısından ilk 10'a girmeyi başarmış bununla birlikte Türkiye kurulu güç açısından 1274 MW ile dünyada 17. sırada yer almıştır. [3]

Türkiye'de rüzgâr enerjisi potansiyeli için yapılan teorik araştırmalara göre, Türkiye'nin hesaplanan ekonomik rüzgâr potansiyeli 50 TWh/yıl ve bu potansiyelden yararlanılabilmesi için gereken kurulu rüzgâr gücü ise 20.000 MW kurulu eşdeğer güç olarak hesaplanmıştır.

Avrupa Birliği için hazırlanmış rüzgâr potansiyel haritalarına göre Ege denizindeki ölçümlerde rüzgâr hızının 7-8 m/s olduğu görülmüş ve diğer denizlerimizde de bu potansiyele yakın olduğu öngörülmüştür. Karalarımızın yanı sıra Denizlerimizin de rüzgâr türbinleri için oldukça elverişli olduğu görülmektedir. [4]

Rüzgâr Türbinlerinde, rüzgâr hızının elde edilen elektrik enerjisine katkısı oldukça önemlidir. Bu katkının çok önemli boyutlarda olması, rüzgâr santralleri için rüzgâr hızı tahmin modelleri üzerine araştırmaları gerekli kılmıştır. [5]

Rüzgâr hızının tahmini için birçok yöntem kullanılmıştır. Bu metotlardan bazıları: Dalgacık analizi[6], otoregresif hareketli ortalama (ARMA) [7], birleştirilmiş otoregresif hareketli ortalama (ARIMA) [8], Regresyon analizi [9], bulanık mantık [10], Mycielski algoritması[11], YSA çok katmanlı geri beslemeli ağ (BP) [12] gibi metotlardır. Bütün bu metotların yanında BP, son dönemlerde çok fazla kullanılmaya başlamıştır.

Lapedes ve Farber, YSA çok katmanlı ileri beslemeli bir modelle rüzgâr hızı tahmini yapmışlar ve elde ettikleri sonuçlarda büyük dalgalanmalar gözlemlenmemişlerdir.[13]

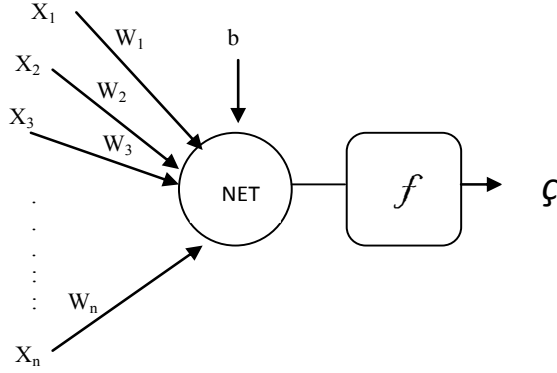
Yurtiçindeki çalışmalarda, Silifke ve Mersin için yapılan rüzgâr hızı tahminlerinde YSA kullanarak sırasıyla 0.007 , 0.008 MSE değerlerine ulaşılmıştır.[14]

2. Yöntem

2.1 Yapay Sinir Ağları

YSA biyolojik sinir yapısı temel alınarak oluşturulan, sinir ağı yapısının özelliklerini taşıyan veri işleme sistemidir. YSA tıpkı insan beyninin özelliklerinde olduğu gibi öğrenme, hatırlama, yeni bilgiler oluşturabilme, genelleme yapabilme gibi özellikleri gerçekleştirmek için kullanılan yazılımlardır. YSA; doğrusal olmama, paralellik, gerçekleşme kolaylığı, yerel bilgi işleme, hata toleransı, Öğrenilebilirlik, genelleme, uyarlanabilirlik, donanım ve hız; analiz ve tasarım kolaylığı gibi önemli temel özelliklere sahiptir.

Temel YSA hücresinde girişler (X_n), ağırlıklar (W_n), toplama fonksiyonu (NET), aktivasyon fonksiyonu eşik değeri (b), aktivasyon fonksiyonu (f) ve çıkış değeri (Ç) şekil 1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 1: Temel YSA hücresi

Hücre dışından alınan veriler, ağırlıkların etkisinde nörona bağlanır. Ağırlıkların girişlerle çarpılarak, eşik değerinin toplanması sonucu net girdi oluşturulur. Aktivasyon fonksiyonunda net girdi işlenerek hücre çıkışı oluşturulur.

$$\zeta = f \left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b \right) \quad (1)$$

YSA hücrelerinde birçok fonksiyon kullanılmaktadır. Bu fonksiyonlar doğrusal olan yada doğrusal olmayan matematiksel yapılar da olabilir. Bunlardan bazıları: Sigmoid, tanjant hiperbolik fonksiyonlardır. Her nörona bir fonksiyon atanır[15].

2.1.1. Sigmoid Fonksiyonu

Bu fonksiyon türevi alınabilen, doğrusal olmayan, 0 ve 1 değerleri arasında değer alan ve YSA içinde çoğunlukla genelleme yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Sigmoid fonksiyonu aşağıdaki denklemi kullanır.

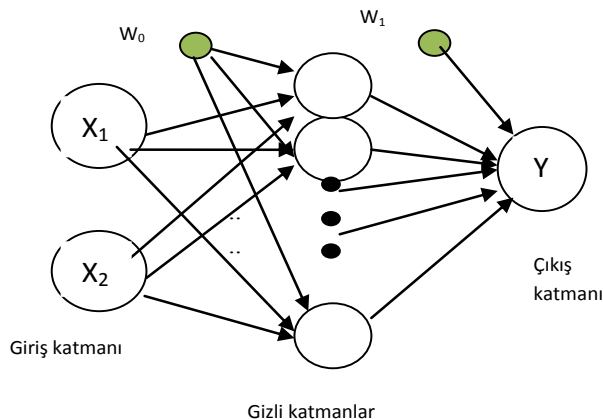
$$F = \frac{1}{1 + e^{-NET}} \quad (2)$$

2.1.2. Tanjant Hiperbolik Fonksiyonu

Bu fonksiyon doğrusal olmayan, -1 ve 1 değerleri arasında değer alan ve YSA içinde sonuca ulaşmak amacıyla kullanılmaktadır. Tanjant hiperbolik fonksiyonu aşağıdaki denklemi kullanır.

$$F(NET) = \frac{e^{NET} - e^{-NET}}{e^{NET} + e^{-NET}} \quad (3)$$

YSA ağ yapısı Şekil 2'de görüldüğü gibi giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanlarından oluşmaktadır.



Şekil 2: Geri beslemeli yapay sinir ağı yapısı

Giriş katmanında dışarıdan gelen veriler alınarak gizli katmanlara transfer edilir. Gizli katmandan gelen veriler işlem dizisinden geçirilerek varsa diğer gizli katmanlara; yoksa çıkış katmanına aktarılır. Çıkış katmanında, gizli katmandan gelen veriler ağırlıklar yardımıyla son kez işlenerek çıktıyı oluşturur. Ağırlıklar öğrenmenin temelini oluştururlar. Ancak geri beslemeli ağ yapısında istenilen hedefe ulaşamadığı durumlarda ağ ağırlıklarını (w_0, w_1 gibi) hedefe ulaşılması istenen şekilde değiştirmeye çalışır. Fakat bu adımda istenildiği gibi hedefe yaklaşma yerine uzaklaşmada görülebilir. Sistem hedefe minimum hata mesafesinde ulaştığında ağırlıkların değişimi durur. Ağırlıkların değişiminin durması ise eğitimin tamamlandığını gösterir.

YSA'nın kullanım alanları genelde sınıflama, tahmin, kontrol sistemleri, ilişkilendirme, özellik belirleme ve optimizasyondur[16].

3. Uygulama

Bu çalışmada, Amasya ili için YSA kullanılarak, 2010 yılı yaz dönemi rüzgâr hızı tahmin edilmiştir.

Amasya için ölçülen 2010 yılı yaz dönemi maksimum, minimum ve ortalama rüzgâr hızı değerleri Tablo 1.de verilmiştir.

Tablo 1: Aylara göre rüzgâr hızı değerleri

	Max(m/s)	Min(m/s)	Ortalama(m/s)
Haziran	7.9	0.2	2.7
Temmuz	5.5	0.7	2.6
Ağustos	2.4	0.2	0.96

3.1 Normalizasyon

Bu çalışmada tüm parametreler normalizasyondan geçirilmiştir. Normalizasyon, verilerin hesabı sırasında girdi verileri arasındaki periyodu 1 ve 0 arasına alarak çıktıların, veri dalgalanmasından minimum düzeyde etkilenmesini sağlamak amacıyla yapılmaktadır. Bu çalışmada, 0.1 ve 0.9 arasında normalizasyon yapılmıştır. Bu değer aralığının 0 ve 1 normalizasyona göre daha iyi salınım yaptığı görülmüştür.

Normalizasyonun 0.1 ve 0.9 arasında olması için aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$xn = \left(\frac{x - x_{max}}{x_{max} - x_{min}} \right) * 0.8 + 0.1 \quad (4)$$

Ayrıca her bir uygulama için ortalama karekök hatası(RMSE) ve ortalama karesel hata(MSE) değerleri hesaplanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (Y_t - F_t)^2} \quad (5)$$

$$MSE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (Y_t - F_t)^2 \quad (6)$$

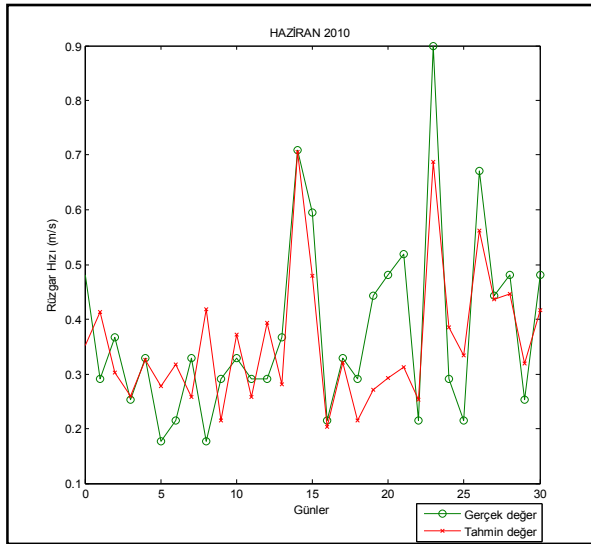
Y_t : Gözlem değeri

F_t : Tahmin değeri

YSA oluştururken 3 ara katman kullanılmış, ilk katmanda sigmoid fonksiyonu diğer 2 ara katman için tanjant hiperbolik fonksiyonları kullanılmıştır.

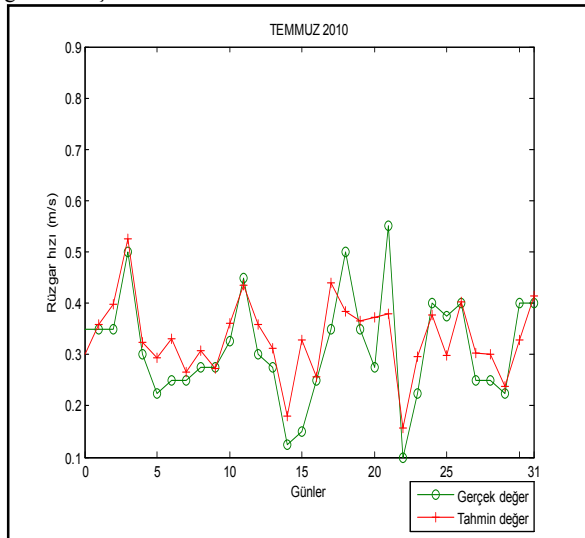
Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarının 2006 yılından 2009 yılına kadarki rüzgâr hızı ve sıcaklık verileri kullanılarak, 2010 yılı normalize rüzgâr hızı değerleri elde edilmiş ve grafiklerde gösterilmiştir. Tahminde, tahmin edilen yıla ait sıcaklık verisi ile bir önceki yıla ait rüzgâr hızı verisi giriş olarak seçilerek, tahmin edilen yılın rüzgâr hızı hedef olarak verilmiştir.

Haziran 2010 rüzgâr hızı grafiği aşağıda gösterilmiştir.



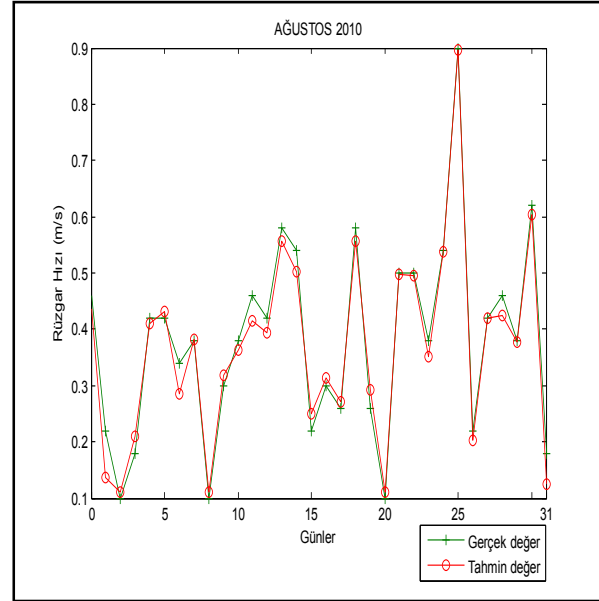
Şekil 2: Amasya Haziran 2010 için ölçülen ve tahmin edilen rüzgâr hızı değerleri

Temmuz 2010 rüzgâr hızı grafiği aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3: Amasya Temmuz 2010 için ölçülen ve tahmin edilen rüzgâr hızı değerleri

Ağustos 2010 rüzgâr hızı grafiği aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4: Amasya Ağustos 2010 için ölçülen ve tahmin edilen rüzgâr hızı değerleri

4. Sonuç

Amasya ili 2010 yılı yaz dönemi tahmini yapılmıştır. Tahmin için YSA içinde BP metodu ve Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması kullanılmış ve haziran, temmuz, ağustos ayları için Tablo 2. de verilen RMSE ve MSE değerleri bulunmuştur.

Tablo 2: Aylara göre RMSE ve MSE değerleri

	Haziran	Temmuz	Ağustos
RMSE	0.0638	0.0395	0.0167
MSE	0.0041	0.0016	0.0003

Bu değerlere göre, Oluşturulan ağ ağustos ayı için daha iyi sonuçlar vermiştir. YSA'nın ve BP metodunun 3 katmanlı ağ yapısı ile rüzgâr hızı tahmin algoritmalarında kullanılabileceği görülmüştür.

5. Kaynakça

- [1] Öztürk, İ. Çelik, A. "Dünya'da ve Türkiye'de Rüzgâr enerjisi kullanım durumu ve geleceğe yönelik beklentiler", *Atatürk Üni. Ziraat Fak. Dergisi*, Cilt 37, No 2, 267 -274, 2006
- [2] Koçaslan, G. "Sürdürülebilir kalkınma hedefi çerçevesinde Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyelinin yeri ve önemi" *İstanbul Üni. Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt 1, No 4, 53-61, 2010
- [3] World Wind Energy Report 2010, *World Wind Energy Association WWEA 2011*, April 2011

- [4] Acar, E. Doğan, A. “Potansiyeli ve çevresel etkilerinin değerlendirilmesi”, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 675-682, İstanbul 17-19 Aralık 2008,
- [5] Pourmousavi, S, A. Kani, M. Ardehali, M. “Very short-term wind speed prediction: A new artificial neural network–Markov chain model”, *Energy Conversion and Management*, Cilt 52, No 1, 738-745, 2010.
- [6] Yanning, Z. Longyun, K. Shiqiong, Z. Binggang, C.”Wind speed predicted by wavelet analysis in input prediction control of wind turbine”, Intelligent control and automation ,WCICA 2008. 7th World Congress on, China, Chongqing, 7732 – 7735, 25-27 Haziran 2008.
- [7] Torresa, J. L. Garcia, A. Blasa, M. De, Francisco, A. D. “Forecast of hourly average wind speed with ARMA models in Navarre (Spain)”, *Solar Energy*, Cilt, 79, No 1, 65-77, 2005.
- [8] Ling, C. Xu, L. “Comparison between ARIMA and ANN Models Used in Short-Term Wind Speed Forecasting”, Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2011 Asia-Pacific, 6253-6257, Wuhan, China, 25-28 March 2011
- [9] Akpınar, Kavak, E. Biçer, Y. Erdoğan, B. “Doğu Anadolu Bölgesindeki bazı illerin hava şartları ve rüzgâr gücünün modellenmesi”, *Tesisat mühendisliği dergisi*, Sayı 89, 58-64, 2005
- [10] Lapedes, A. Farber, R. “Nonlinear signal processing using neural networks: forecast and system modeling”. Los Alamos National Lab. Los Alamos, Meksika, Technical report LAUR872662, 1987
- [11] Hocaoglu, O. F. Fidan, M. Gerek, N. Ö. “Mycielski approach for wind speed prediction”, *Energy conversion and management*, Cilt 50, 1436-1443, 2009
- [12] Gong, L. Jing, S. “On comparing three artificial neural networks for wind speed forecasting”, *Applied Energy*, National University, Singapur, 2313–2320, 21-23 Nisan 2010.
- [13] Çam, E. Yıldız, O. “Prediction of Wind Speed and Power Potential in the Middle Anatolian Region of Turkey by Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS)”, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, cilt 30, No 1, 35-42, 2006.
- [14] Sağbaş, A. Karamanlioğlu, T. “Application of artificial neural Networks in the estimation of wind speed: A case study” 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS), Elazığ, Turkey, 78-81, 16-18 Mayıs 2011
- [15] Aslan, Y. Yasar, C. Nalbant, A. “Kütahya ilinin yapay sinir ağları kullanılarak elektrik puant yük tahmini” , *Dumlupınar Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü dergisi*, Sayı 11, Eylül 2006
- [16] Saraç, T. “Yapay sinir ağları seminer projesi” Gazi Üni. Endüstri Müh. Bölümü, Ankara, 2004

Deneyisel Helikopter Modelinin Elektronik Tasarımı ve Gerçeklenmesi

Emel Sağlam¹ Alper Bayrak² Enver Tatlıcıoğlu³

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü,
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Urla, İzmir, 35430

¹e-posta: emelsaglam1@gmail.com

²e-posta: alperbayrak@iyte.edu.tr

³e-posta: envertatlicioglu@iyte.edu.tr

Özetçe

Bu projede, deneyisel helikopter modeli olarak da adlandırılan, çift rotorlu çok-girişli çok-çıkışlı bir sistem geliştirilmiştir. Sistem, hareketli eksenlerin açısal konumu ve hızını ölçen sensör devreleri, motor sürücü devreleri ve sistemin bilgisayar tarafından kontrol edilmesini sağlayan ana devreden oluşmaktadır. Sistem, laboratuvarda gerçek bir düzenek üzerinde başarılı bir şekilde test edilmiştir.

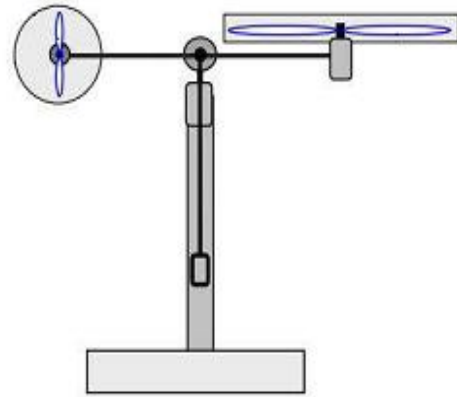
1. Giriş

Deneyisel helikopter modeli, laboratuvar ortamında, gerçek bir helikopterin çalışmasını taklit etmek için tasarlanmış bir sistemdir. Bu sistem çift rotorlu çok-girişli çok-çıkışlı sistem olarak da adlandırılır. Sistem, yüksek derecede doğrusal olmayan davranış sergilediğinden dolayı, kontrol çalışmalarında ve uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır[1,2,3,4,5,6]. Bu çalışmada, helikopter modelinin elektronik aksamı tasarlanmış ve denenmiştir. Elektronik aksam, ana devre, motor sürme ve açısal konum ve hız ölçme devrelerinden oluşmaktadır. Ana devre, bilgisayarla seri port üzerinden haberleşmektedir ve bilgisayardan gelen komutlar doğrultusunda, motor devrelerine gerekli hız bilgilerini göndermekte, açısal konum ve hız ölçme devrelerinden gelen verileri alarak bilgisayara göndermektedir. Açısal konum, optik kodlayıcı (optical encoder) sensörlerinden gelen veriler okunarak elde edilmektedir, açısal hız ise bu konum değerlerinin türevi alınarak hesaplanmaktadır. Rotorlara bağlı olan DC motorlar, Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) kullanılarak kontrol edilmektedirler.

2. Helikopter Modeli

Bu projede iki eksenle hareket edebilen bir helikopter modeli tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Bu model, iki adet rotor içermektedir. Bu rotarlardan bir tanesi ön tepede diğeri ise bu rotora 90° açı yapar şekilde kuyrukta konumlanmıştır. Ön tepede bulunan rotor, modelin aşağı-yukarı hareketini(pitch manevra), kuyruğunda bulunan rotor,sağa-sola hareketini (yaw manevra)sağlamaktadır. Model, 90° aşağı-yukarı yönde, 270° sağa-sol yönünde hareket kabiliyetine sahiptir. Rotorların hareketini kendilerine bağlı olan DC motorlar yapmaktadır. DC motorların dönüş hızı, bilgisayardan girilen verilere göre belirlenmektedir. Sisteme bağlı sensörler sayesinde eksenlerin konum ve hız bilgileri ölçülmektedir. Bu konum ve hız bilgisi gerektiğinde

bilgisayara gönderilmektedir. Modelin şeması Şekil-1'de, laboratuvar ortamında inşa edilen mekanik sistem ise Şekil-2'de verilmiştir.



Şekil 1: Modelin Şeması [1]



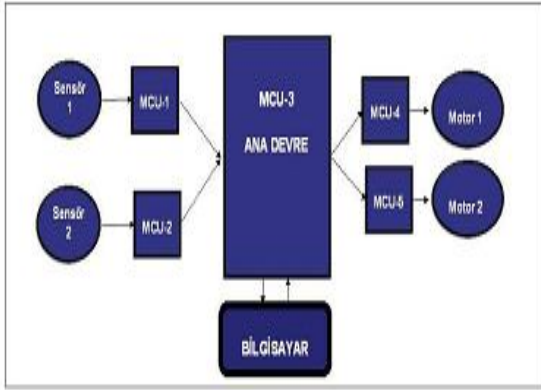
Şekil 2: Laboratuvar ortamındaki mekanik sistem

3. Sistem Tasarımı

Bu projede, helikopter modelinin açısal pozisyonunu ve hızını ölçerek bilgisayara gönderen ve bilgisayardan aldığı verilere göre motorları süren bir devre tasarlanmıştır. Sistem genel olarak 3 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, ana devreyi içermektedir ve diğer bölümler ile bilgisayar arasındaki iletişimi sağlamaktadır. İkinci bölüm, sensörlerden gelen verileri işleyerek eklemlerin açısal konumunu ve hızını belirlemekte, üçüncü bölüm ise DC motorlar için sürücü devrelerini içermektedir.

Model iki eksenle hareket ettiği için iki eksenle hareketleri tespit için iki adet sensör ve iki adet bu sensörlerden gelen verileri değerlendiren sensör okuyucu devre bulunmaktadır. Yine modelin iki eksenle hareket etmesinden dolayı sistemde bulunan iki adet motoru ayrı iki devre kontrol etmektedir. Bu dört devre, ana devre tarafından kontrol edilmektedir.

Sistemin blok diyagramı Şekil-2'de, devre şeması ise Şekil-8'de verilmiştir.



Şekil 3: Sistemin Blok Diyagramı

3.1. Ana Devre

Ana devre, bilgisayardan gelen motor hız bilgilerini ilgili motor sürücü devrelerine iletmekte ve sensör okuyucu devrelerinden gelen pozisyon ve hız bilgilerini bilgisayara göndermektedir. Ana devre, sensör okuyucu ve motor sürücü devreleriyle kendi seri haberleşme protokolü üzerinden haberleşmektedir. Bilgisayarla iletişimini ise RS-232 portu üzerinden seri haberleşme aracılığıyla yapmaktadır. Seri haberleşme 57600 baud rate'te yapılmaktadır. Devrede mikrodnetleyici olarak PIC16F877A [8] kullanılmıştır.

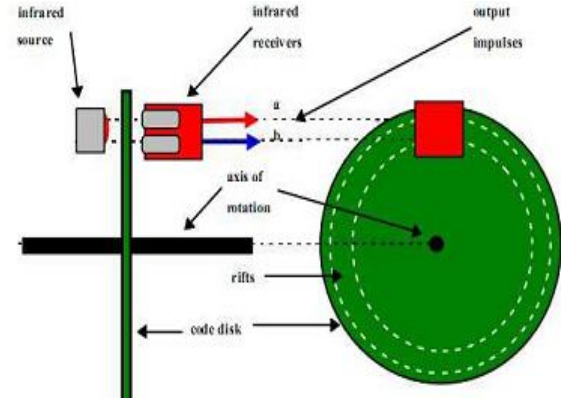
3.2. Açısal Pozisyon ve Hız Ölçümü

Model iki eksenle hareket ettiği için iki eksenle pozisyon ve hız bilgisi ölçülmektedir. Pozisyon bilgisi optik kodlayıcı (optical encoder) sensörler kullanılarak ölçülmektedir. Hız bilgisi pozisyon bilgisinden çıkarılmaktadır.

Şekil-4'te görüldüğü gibi, optik kodlayıcı sensörlerin içinde ortasındaki mile bağlı bir disk bulunmaktadır. Mil döndükçe disk de dönmektedir. Diskin üzerinde 2 sıra çentikler bulunmaktadır. Bu çentikler aynı hizada değildirler. Diskin tepesinde bulunan fakat disk ile dönmeyip sabit duran infrared verici ve alıcı ikilisi diskin iki yanına yerleştirilmiş olup çentiklerle hizalıdır. Çentik bu alıcı ve verici arasına girer ise sensörden 1 bilgisi gelmekte, girmediğinde 0 bilgisi gelmektedir. Diskin dış tarafında kalan çentiklerden gelen bilgiler A sinyali, iç tarafındaki sensörden gelen bilgiler ise B sinyali olarak adlandırılmaktadır. A ve B sinyalleri bir mikrodnetleyici tarafından değerlendirilmektedir. Bu çentiklerin aynı hizada olmaması bu iki sinyal arasında hep faz farkı olmasına neden olmaktadır. Bu faz farkı hareket yönünü belirlemeyi sağlamaktadır. A ve B sinyallerini değerlendiren mikrodnetleyici, her yükselen kenarda kesme programına girerek pozisyon ve hız bilgilerini günceller. Öncelikle hangi sinyalin fazının önde olduğuna bakarak hareketin yönünü belirleyen mikrodnetleyici, pozisyon bilgisini yön bilgisine göre düzenler. Açısal pozisyon ve hız

bilgisini belirleyen mikrodnetleyicilerin akış diyagramı şekil-5'te verilmiştir.

Bu projede kullanılan optik kodlayıcının diskinde 2 sıra 1024 adet çentik bulunmaktadır. Bu, aynı çentik sırasında arka arkaya gelen iki çentiğin arasında yaklaşık 0.35° 'lık mesafe olduğu anlamına gelmektedir. Sensör okuyucu devrelerinde, mikrodnetleyici olarak 16F628A[9] kullanılmıştır. Her bir devre tek bir sensör okumak için tasarlanmış ve iki sensör için birbirinin aynı iki adet devre kullanılmıştır.



Şekil 4: Optik Kodlayıcı Sensörlerin İç Yapısı

3.3. Motor Sürücü Devresi

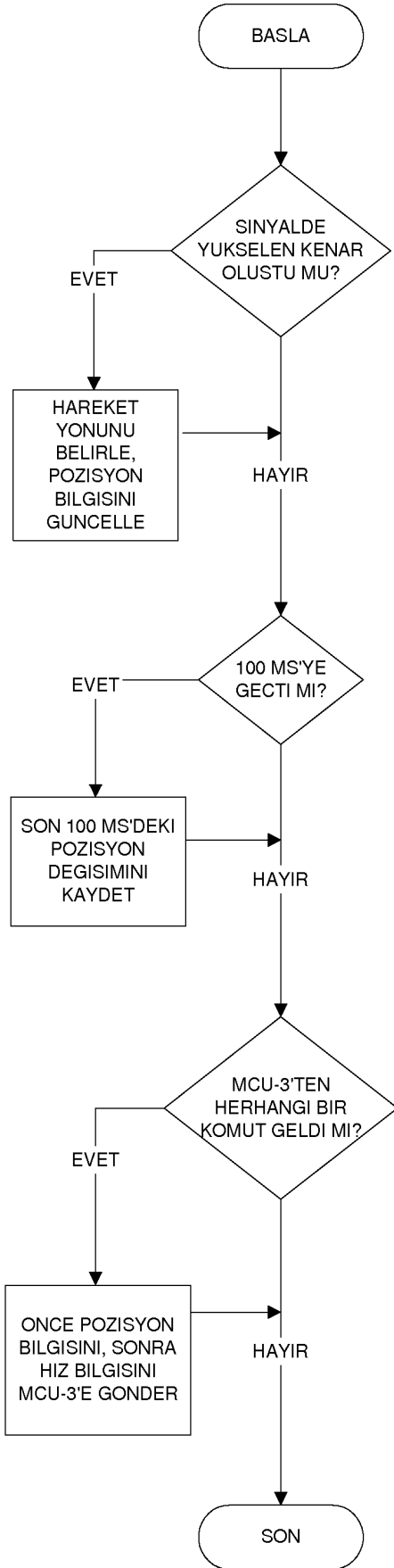
Sistemde iki adet DC motor bulunmaktadır. DC motorların hızlarını kontrol ederek rotorların dönüş hızlarını ve böylece modelin hareketini kontrol etmek, isteğe uygun olarak değiştirmek mümkündür.

Bu sistemde her eksen için bulunan toplamda iki adet motor sürücüsü devresi, motorları Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) sinyali ile sürmektedir. Darbe Genişlik Modülasyonu, bir periyot boyunca uygulanacak olan darbe genişliğinin kontrol edilerek çıkışta istenen ortalama elektrik seviyesinin veya sinyalin elde edilmesi tekniğidir. DGM sinyali motor kontrol uygulamalarında sıklıkla kullanılır. Motorun etkin bir şekilde sürülmesini sağlayan bu sinyalin periyodu boyunca sürücü transistörler üzerindeki akım ya da gerilim teorik olarak sıfır olduğu için bütün güç sargılara aktarılabilir.[10] Bu nedenle doğrusal sürücülerden ziyade DGM sinyal kullanarak akımı ayarlamak güç verimliliğini artırır. Şekil-6' da bir DGM sinyali örneği verilmiştir. Burada, D darbe süresini, T sinyalin periyodunu belirtir. Sinyalin ortalama değerini doluluk oranı belirler. Doluluk oranı, darbe süresinin periyoda oranıdır.

$$\text{Doluluk Oranı} = \frac{D}{T} \quad (1)$$

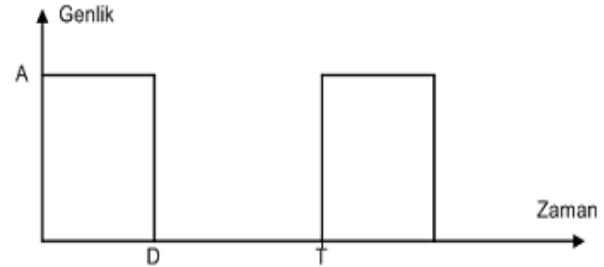
İşaretin maksimum değerine A dersek, ortalama değer, V, aşağıdaki gibi bulunur,

$$V = \frac{1}{T} \int_0^D A dt = A \frac{D}{T} \quad (2)$$



Şekil 5: Optik Sensör Kodlayıcı Mikrodenetleyicilerin Akış Diyagramı

Bilgisayardan gelen motor bilgileri ana devre aracılığıyla motor sürücü devrelerine ulaşmakta ve motor sürücü devrelerinin ürettiği DGM sinyali bu bilgilere göre şekillenmektedir. Motor sürücü devrelerinde ana devreden gelen bilgilere göre DGM sinyali üreten mikrodenetleyiciler bulunmaktadır. Bu mikrodenetleyicilerde bulunan programın akış diyagramı şekil-7'de verilmiştir. Bu sistemde, bu görev için, her motor sürücü devresinde birer adet 16F628A kullanılmıştır. Ayrıca H-bridge olarak L6203[11] entegreleri kullanılmıştır.



Şekil 6: DGM Sinyali

4. Deneysel Sonuçlar

Geliştirilen sistem, laboratuvar ortamında gerçek bir sistem üzerinde denenmiştir. Yapılan denemelerde, sensör okuyucularının ve motor sürücülerinin performansı test edilmiştir. Yapılan bu testlerde, sensör okuyucularının eklemelerin açılma konum değişimlerini doğru bir şekilde okudukları gözlemlenmiştir. Motor sürücülerine seri porttan gönderilen hız değerlerinin doğru bir şekilde motorlara uygulandığı görülmüştür.

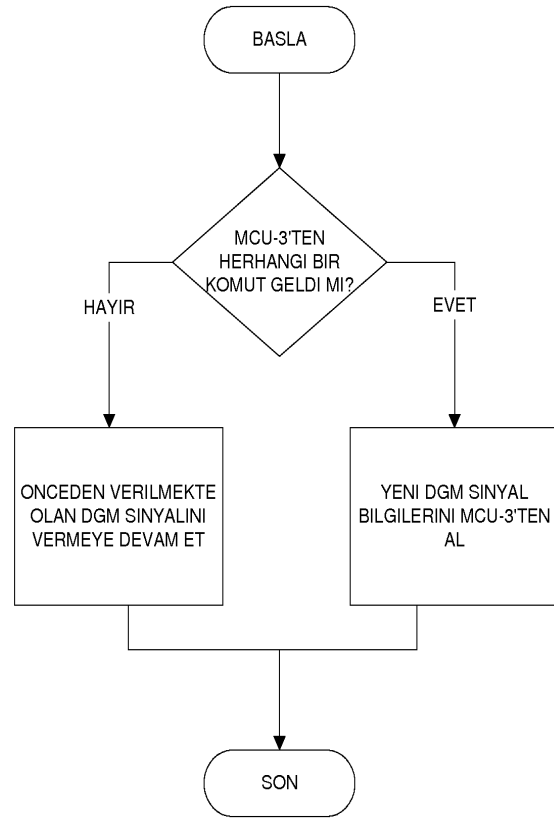
5. Sonuçlar

Bu çalışmada, iki rotorlu, iki serbestlik derecesine sahip bir helikopter modelinin elektronik aksamı tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Sistem, laboratuvar ortamında gerçek bir mekanik sistem üzerinde kurulmuş ve başarılı bir şekilde test edilmiştir.

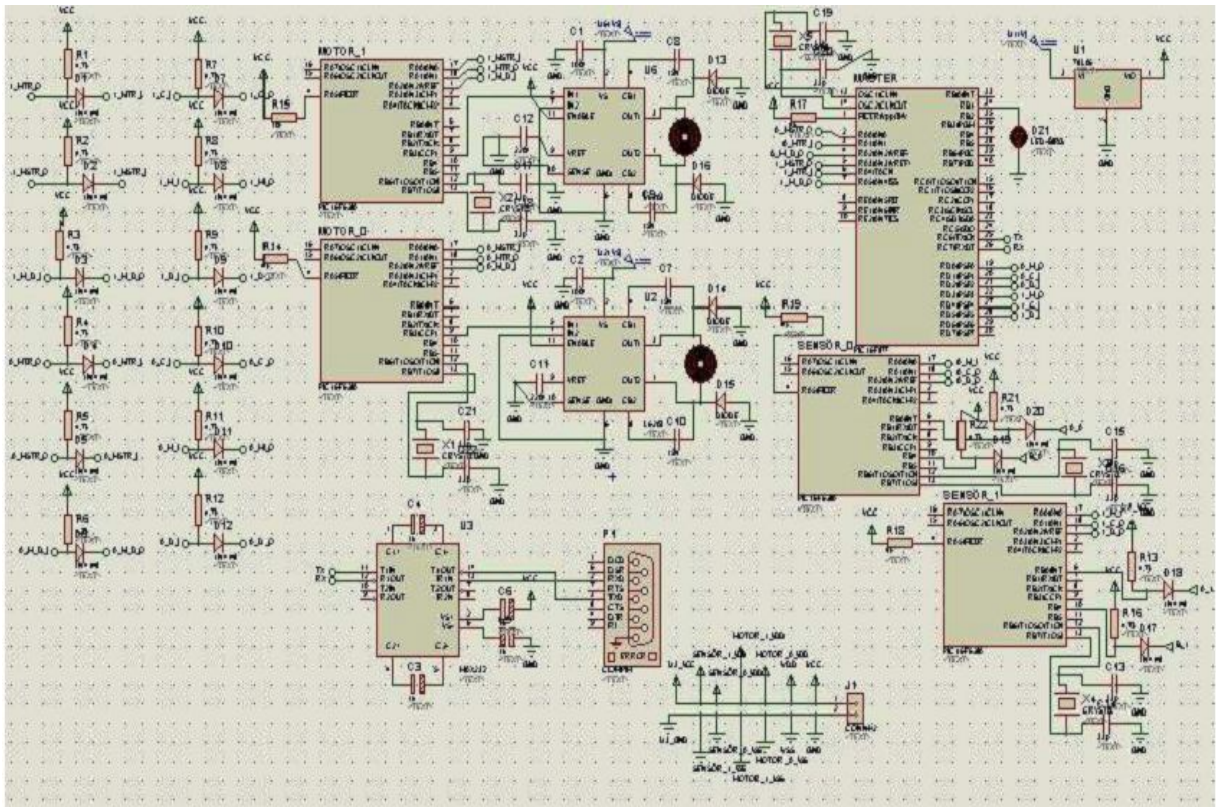
6. Kaynakça

- [1] N. H. Nghia, "Modeling, simulation and calibration of twin rotor mimo system" Yüksek lisans tezi, Katalonya Politeknik Üniversitesi Barselona, Haziran 2007.
- [2] S. M. Ahmed, A. J. Chipperfield ve M. O. Tokhi, "Dynamic modelling and control of a 2 dof twin rotor multi-input multi-output system," IEEE Endüstriyel Elektronik Topluluğu Konferansı, Nagoya, Japonya, s. 1451 -1456, 2000.
- [3] C.-S. Liu, L.-R. Chen, B.-Z. Li, S.-K. Chen ve Z.-S. Zeng, "Improvement of the twin rotor mimo system tracking and transient response using fuzzy control technology," ICIEA 2006: Birinci IEEE Endüstriyel Elektronik ve Uygulamaları Konferansı, cilt 1-3, s. 179-184, 2006.
- [4] J. G. Juang, W. K. Liu ve C. Y. Tsai, "Intelligent control scheme for twin rotor MIMO system," IEEE Uluslararası Mekatronik Konferansı, Taipei, Tayvan, s. 102- 107, 2005.

- [5] A. Rahideh and M. H. Shaheed, "Dynamic modeling of a twin rotor mimo system using grey box approach," Beşinci Uluslararası Mekatronik ve Uygulamaları Sempozyumu, s. 237 -242, 2008.
- [6] M. H. Shaheed, "Feedforward neural network based non-linear dynamic modelling of a TRMS using RPROP algorithm," Aircraft Engineering and Aerospace Technology, cilt 77, no 1, s. 13- 22, 2005.
- [7] Internet: <http://www.cpdee.ufmg.br/~palhares/33-942rotor.pdf>.
- [8] 'PIC16F877A kullanım kılavuzu', 2009.
- [9] 'PIC16F628A kullanım kılavuzu', 2009.
- [10] Alper Bayrak, Burak Çalargün, Çağrı Pala, Barbaros Özdemirel, Enver Tatlıcıoğlu, "DGM Sinyali Kullanarak Adım Motorunun Güç Kontrolü" TOK, 2010.
- [11] 'L6203 kullanım klavuzu', 2010.



Şekil 7: Motor Sürücü Mikrodenetleyicilerin Akış Diyagramı



Şekil 8: Sistemin Devre Şeması

Sıvı Seviye Sisteminin Bulanık Mantık ve PSO Ayarlı PI ile Denetimi

Recep ÇAKMAK¹

İsmail Hakkı ALTAŞ²

¹Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

¹rcakmak@gumushane.edu.tr

²ihaltas@ktu.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada bir sıvı seviye denetiminin Bulanık Mantık Denetleyici (BMD) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization – PSO) ile ayarlanan PI denetleyici ile yapılması incelenmektedir. Her iki denetleyicinin tasarım aşamaları verilmekte ve performansları karşılaştırılmaktadır. Sistemin ve denetleyicilerin benzetimi MATLAB/Simulink ortamında yapılmış ve sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

1. Giriş

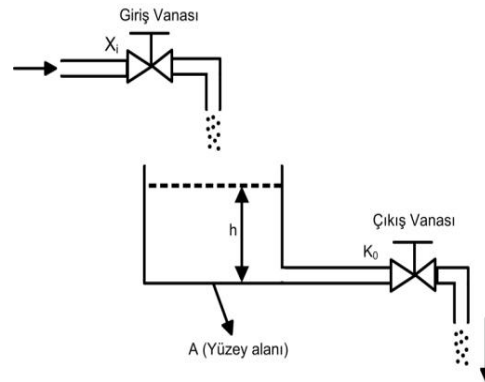
Endüstride çeşitli alanlarda kullanılan sıvı seviye denetim sistemlerinde temel amaç sıvı seviyesinin ayarlanması olup, birçok endüstriyel üretim sürecinde sıvı seviyesinin tam olarak belirlenen bir seviyede tutulmasına ihtiyaç vardır [1]. Çeşitli sıvı seviye sistemleri (konik yapılı, tek tanklı, çok tanklı gibi) için; PID ve faz iletici/geriletilici [2], bulanık mantık uyarlamalı PID [1,3,4,5,6], bulanık mantık tabanlı [7,8], genetik algoritma uyarlamalı bulanık mantık [9], genetik algoritma uyarlamalı PID [10] ve genetik algoritma uyarlamalı PI [11], denetleyicilerle yapılan çalışmalar bulunmaktadır.

Bu çalışmada ise birinci dereceden yapıya sahip bir sıvı seviye sisteminin, Bulanık Mantık Denetleyici (BMD) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization – PSO) ile ayarlanan PI denetleyici ile denetimi yapılmaktadır. Denetleyiciler ve sistem MATLAB/Simulink'te modellenerek her iki denetleyiciden de elde edilen sonuçlar verilmiştir. Kaynak [12] de detaylı şekilde çalışılan BMD modifiye edilerek buradaki sıvı seviye denetim sistemine uyarlanmıştır. Denetimi yapılacak sıvı seviye sistemine ilişkin matematiksel denklemler ikinci bölümde verilmiştir. Üçüncü bölümde BMD üyelik fonksiyonları ve kural tablosu verilmiştir. Dördüncü bölümde PSO ve PSO ile PI denetleyici parametrelerinin bulunmasına ilişkin açıklamalar verilmiştir. Beşinci bölümde her iki denetleyici ile denetlenen sistemin benzetim sonuçları verilmiştir.

2. Sıvı Seviye Sistemi

Denetimi yapılan sıvı seviye sistemi Şekil 1’de verilmiştir. Bu sistemde sıvı deposunun giriş ve çıkış vanaları ile depodaki sıvı miktarı ayarlanmaktadır. Çıkış vanasının rastgele açılıp kapatılması durumuna bağlı olarak giriş vanasının açıklığı denetlenerek sıvı seviyesi istenilen değerde tutulmaktadır. Dolayısıyla burada denetim giriş vanası üzerinden yapılmaktadır. Bu sıvı seviye denetim sisteminin çalışma detayları [13] de verilmektedir. Burada ek olarak PSO ayarları

PI denetleyici eklenmiş ve her iki denetim algoritmasının performansları üzerinde durulmuştur.



Şekil 1: Basit bir sıvı seviye sistemi

Şekil 1’deki sistem aşağıdaki şekilde tanımlanabilir [13]:

$$\frac{dh(t)}{dt} = -\frac{K_0}{A} h(t) + \frac{1}{A} X_i \quad (1)$$

Burada;

A: Deponun yüzey alanı

h: Sıvı seviyesi

K₀: Çıkış vanası akış oranı
0 < K₀ < 1.

X_i: Sıvı giriş miktarı’dır.

Bu çalışmada kullanılan sistemin parametre değerleri Tablo 1’de verilmektedir.

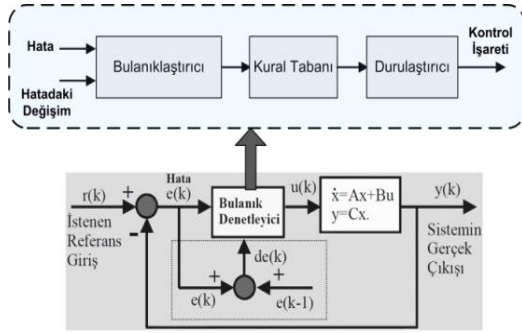
Tablo 1: Sıvı seviye sisteminin verileri

Deponun kesit alanı (S)	1 m ²
Maksimum sıvı giriş miktarı (X _{i_max})	10 m ³ /s
Çıkış vanası akış oranı (K ₀)	0.7

3. Bulanık Mantık Denetleyici ve Tasarımı

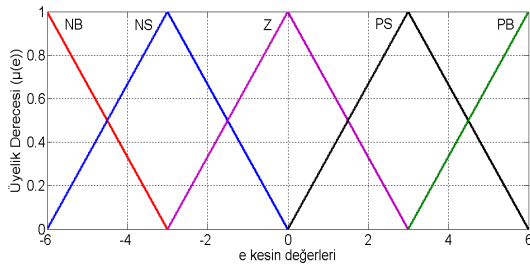
Bulanık küme teorisi [14] temelli olan BMD (Bulanık Mantık Denetleyicileri), operatörün bilgi ve tecrübesini bulanık kuralları olarak adlandırılan dilsel değişkenler ile temsil etmek için kullanılır. Deneyimli bir operatör, sistemin dinamikleri ve iç parametreleri hakkında herhangi bir bilgisi olmadan sadece sistem çıkışına bakarak istenen bir çıkış almak için sistemi ayarlar [12]. Bulanık mantık denetleyicileri Şekil 2’de

verildiği gibi; bulanıklaştırıcı, kural tabanı ve durulaştırıcı olmak üzere üç temel kısımdan oluşur.

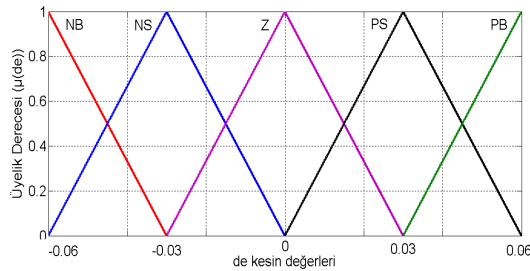


Şekil 2: BMD ve denetlenen sistemin yapısı

BMD'nin ilk elemanı olarak bulanıklaştırıcı birimi devreye girerek kendisine uygulanan kesin girişleri, tanımlanan üyelik fonksiyonlarını kullanarak bulanıklaştırır [15]. Üçgen, yamuk, gaussian vb. üyelik fonksiyonları olmakla beraber bu çalışmada üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. BMD'nin girişine uygulanan sistem hatası ve bu hatanın değişimini bulanıklaştırmaya yarayan üyelik fonksiyonları Şekil 3 ve Şekil 4'te görülmektedir.



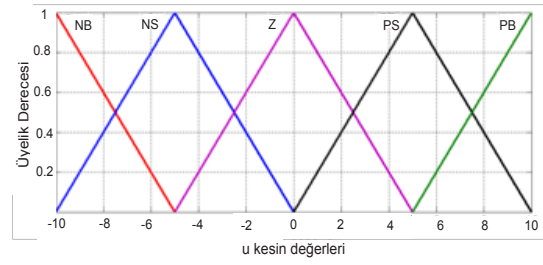
Şekil 3: Hata işaretine ait üçgen üyelik fonksiyonları



Şekil 4: Hatanın değişimine ait üçgen üyelik fonksiyonları

Kural tabanı biriminde, bulanıklaştırıcıdan gelen kesin girişlere ait bulanık değerler kural tabanı biriminde hazır bulunan ve önceden belirlenen if-then-else biçimine sahip koşul cümleleriyle ifade edilen kurallar ile bulanık bir sonuç elde edilir [15]. Bulanık sonuç elde etmede kullanılan üyelik fonksiyonları Şekil 5'te yer almaktadır. Denetlenecek sisteme bağlı olarak, genellikle sistem çıkışı ile referans değer arasındaki fark minimize edildiğinden, tasarlanacak denetim amaçlı uygulamalarda bu kurallar sistem çıkışının denetimsiz tepkisi incelenerek belirlenebilir [15]. Bu çalışmada da denetimi yapılan sistemin denetimsiz çıkışı incelenerek, sistem çıkışı ile referans arasındaki farkı minimize edecek şekilde bulanık kurallar belirlenmiştir. Bu kurallar Tablo 2'de yer almaktadır. PB; pozitif büyük, PS; pozitif küçük, Z; Sıfır, NS;

negatif küçük, NB; ise negatif büyük dilsel ifadelerini temsil etmektedir.



Şekil 5: Denetim işaretine ait üçgen üyelik fonksiyonları

Bulanık mantık denetleyicinin son birimi olarak devreye giren durulaştırma biriminde kural tabanı biriminde elde edilen bulanık sonuçlar durulaştırıcıda değerlendirilip, kesin bir sonuca dönüştürülür [15]. Durulaştırma işlemi için birçok yöntem mevcut olmakla beraber bu çalışmada alanların merkezi yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 2: BMD Kural Tablosu

de \ e	NB	NS	Z	PS	PB
PB	Z	PS	PB	PB	PB
PS	NS	Z	PS	PS	PB
Z	NS	NS	Z	PS	PS
NS	NB	NS	NS	Z	PS
NB	NB	NB	NS	NS	Z

4. PSO ile PI Parametrelerinin Belirlenmesi

4.1. PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu)

Bir matematik terimi olarak optimizasyon, bilinen bir fonksiyonun veya amacın belirli kısıtlamalar altında ya da kısıtlamalar olmaksızın en iyinin tanımlanması ve çözülmesi anlamına gelir. Optimum çözüm tek bir değerden oluşmayabilir, optimum olma koşulunu için belirlenen gerek ve yeter şartları sağlayan bölge içerisinde birden fazla optimum çözüm olabilir [16].

PSO-Particle Swarm Optimization (Parçacık Sürü Optimizasyonu), 1995 yılında J. Kennedy ve R.C. Eberhart tarafından geliştirilmiştir. PSO, kuş ve balık sürülerinin davranışlarını taklit eden popülasyon tabanlı ve rastgele araştırma yapan bir optimizasyon algoritmasıdır [17]. Kuşlar yerini bilmedikleri yiyeceği ararken yiyeceğe en yakın olan kuşu takip ederler. Parçacık olarak adlandırılan her tekil çözüm, arama uzayındaki bir kuştur. Parçacık hareket ettiğinde, kendi koordinatlarını bir fonksiyona gönderir ve böylece parçacığın uygunluk değeri ölçülmüş olur [18]. Bireyin ve sürünün elde ettiği en iyi değerlere göre belirlenen ve bu çalışmada da kullanılan geliştirilmiş PSO [19] yöntemine ait hız fonksiyonu Denklem (2)'de yer almaktadır. Parçacığın yeni konumu ise Denklem (3) ile belirlenir.

$$v_i^{k+1} = w.v_i^k + c_1.rand_1^k \cdot pbest_i^k - x_i^k + c_2.rand_2^k \cdot (gbest^k - x_i^k) \quad (2)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (3)$$

PSO algoritmasının işleyişi ve parametreleri aşağıda açıklanmıştır [18]:

Adım 1. Her parçacık için başlangıç koşullamalarını ayarla

Adım 2. Her parçacık için uygunluk değerini hesapla, eğer uygunluk değeri pbest'ten daha iyi ise şimdiki değeri pbest olarak ayarla.

Adım 3. Tüm parçacıkların bulunduğu pbest değerlerinin en iyisini tüm parçacıkların gbest'i olarak ayarla.

Adım 4. Her parçacık için (2) denkleminde göre parçacık hızını ayarla ve (3) denkleminde göre konumları güncelle

Adım 5. Maksimum iterasyon sayısına ulaşılmıyca kadar ikinci, üçüncü ve dördüncü adımları tekrarla.

Denklem (2) ve (3)'de ifade edilen değişkenler;

k: iterasyon sayısı

i: parçacık(kuş) sayısı

x_i^k : i. parçacığın k. iterasyondaki konumu

v_i^k : i. parçacığın k. iterasyondaki hızı

c1 ve c2: Öğrenme faktörleri

w: eylemsizlik ağırlığı

pbest: Parçacığın elde ettiği en iyi değer

gbest: Tüm parçacıkların elde ettiği en iyi değer

rand₁ ve rand₂: [0,1] aralığında düzgün dağılımlı rastgele sayılar

4.2. PSO ile PI Parametrelerinin Belirlenmesi

PSO algoritması ile PID parametrelerinin belirlenmesi işlemi [20, 21] için bir uygunluk fonksiyonu oluşturulur ve uygunluk fonksiyonu minimum olana kadar PSO algoritması çalıştırılır. İstenen uygunluk değeri sağlandığında PSO sona erer ve

optimum parametreler elde edilmiş olur. Uygunluk fonksiyonu olarak çeşitli fonksiyonlar yer almakta olup [21] buradaki çalışmada Denklem (4)'te yer alan hataların kareleri toplamının integrali uygunluk fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Denetimli sistemde hem hatanın hem de aşmanın minimum olması için Denklem (4)'teki uygunluk fonksiyonuna a ve b katsayıları eklenmek suretiyle Denklem (5) ile ifade edilen uygunluk fonksiyonu elde edilmiştir ve optimizasyonda kullanılmıştır.

$$I_{ISE} = \int_0^T e^2(t) dt \quad (4)$$

$$\text{Uygunluk} = (a * \text{maksimum aşma}) + (b * I_{ISE}) \quad (5)$$

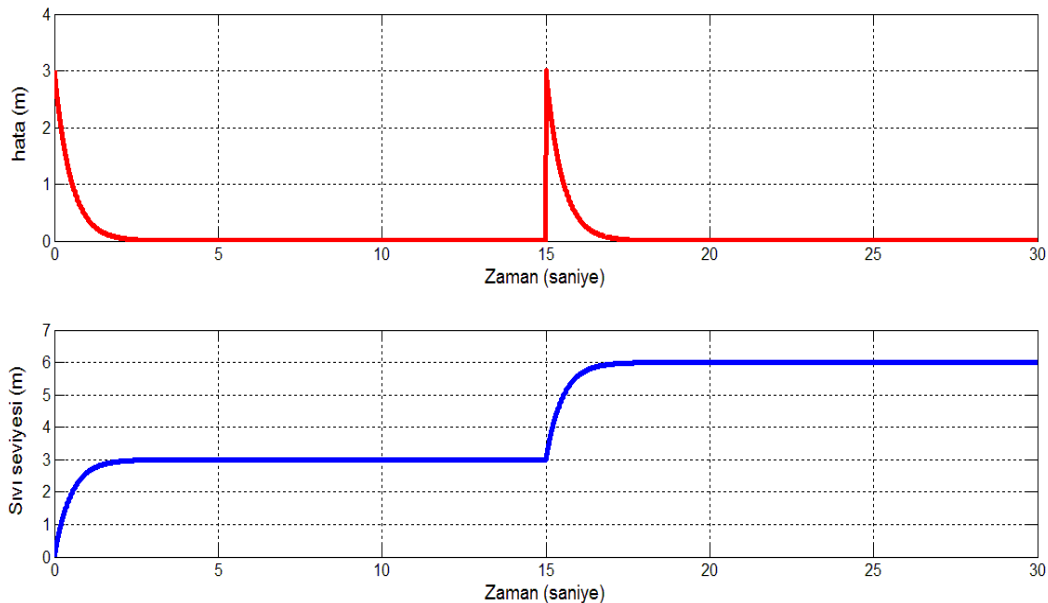
Bu çalışmada yapılan optimizasyonda kullanılan PSO sabitleri ve uygunluk fonksiyonu değişkenleri Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3: PSO sabitleri ve uygunluk fonksiyonu değişkenleri

i:	10
w:	0.9-(k*0.001)
c ₁ ve c ₂	2
a	1
b	50

5. Benzetim Sonuçları

Şekil 6'da 3 m ve 6 m referansları için BMD ile elde edilen sistem çıkışı ve hatanın zamana göre değişimi yer almaktadır.



Şekil 6: 3m ve 6m referansı için BMD ile elde edilen sistem çıkışı ve hatanın değişimi

Tablo 4'te ise PSO ile PI parametrelerinin ayarlanmasında iterasyon sayısına (k) bağlı olarak elde edilen uygunluk fonksiyonu değerleri yer almaktadır. Tablodan da görüldüğü gibi iterasyon sayısı arttıkça, daha küçük uygunluk fonksiyonu değeri elde edilmiştir. Yani iterasyon sayısının artmasıyla optimum sonuçlara daha fazla yaklaşma söz konusudur.

En iyi uygunluk değerinin elde edildiği 100 iterasyonlu PSO optimizasyonu sonucu elde edilen PI denetleyici parametreleri aşağıda yer almakta olup bu değerlere göre elde edilen PI denetleyici sonucu Şekil 9'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir. 100. iterasyon sonucu yerel en iyi değerler ve bu değerlere ait uygunluk değeri Şekil 7 ve Şekil 8'de yer almaktadır.

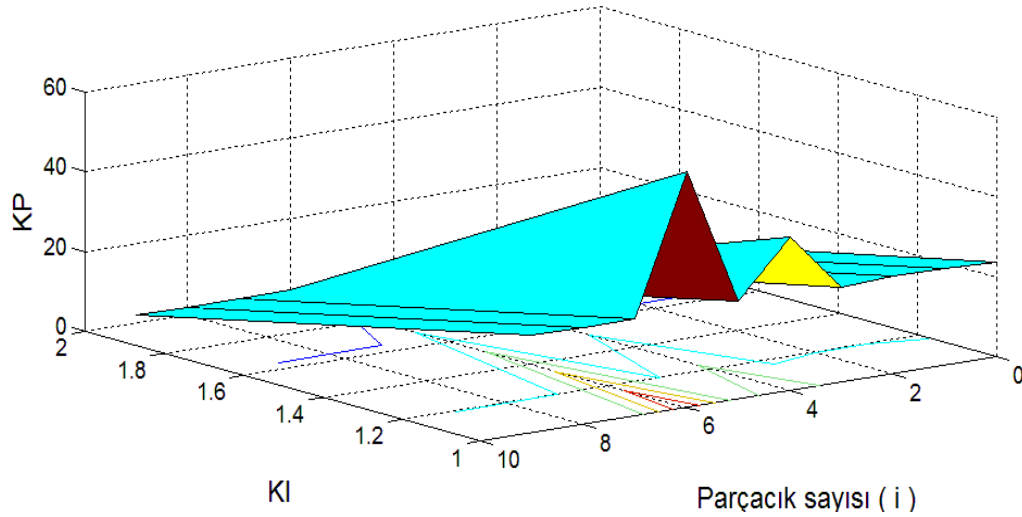
K_p :23.7259

K_i :1.9564

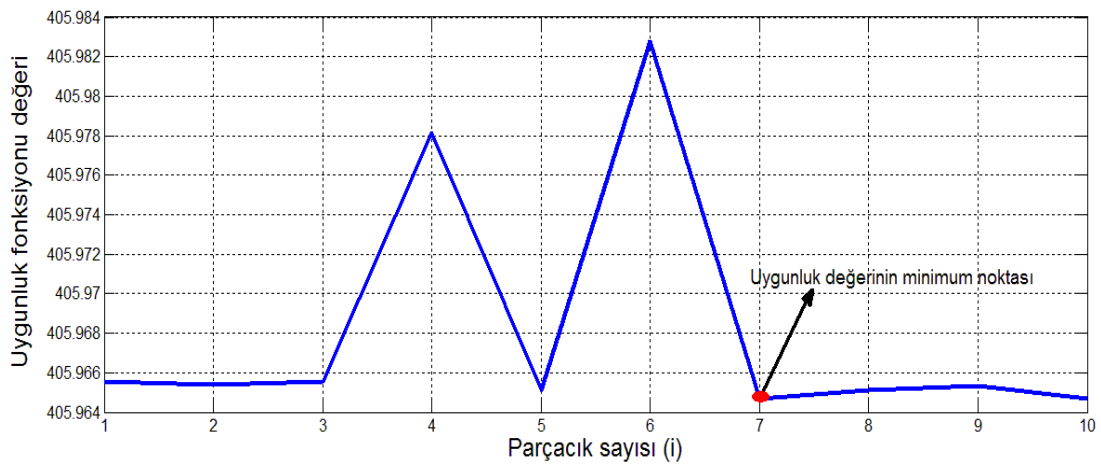
Tablo 4: PSO sabitleri ve uygunluk fonksiyonu değişkenleri

k(iterasyon sayısı)	Uygunluk fonksiyonu değeri
25	405.9710
50	405.9656
100	405.9647

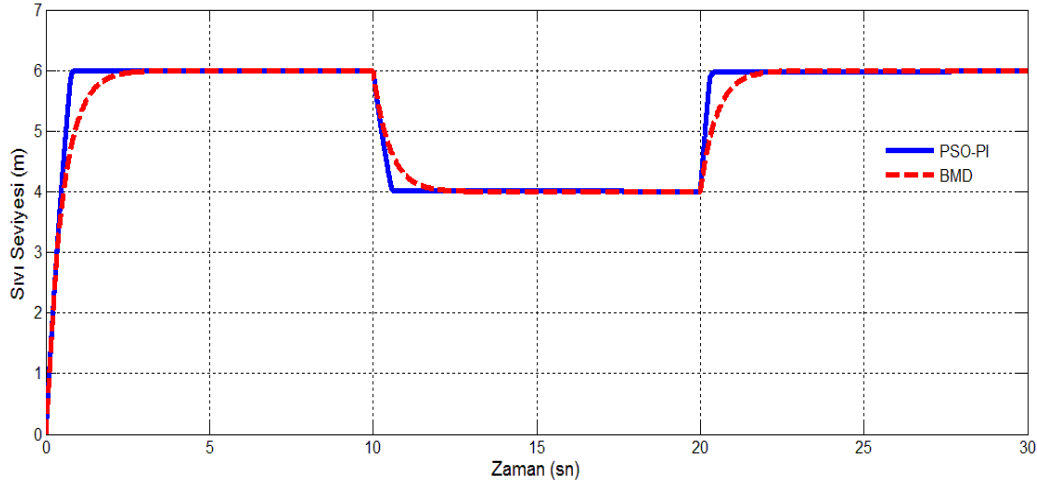
Benzetimi yapılan sistemin genel Simulink blokları Şekil 10'da yer almaktadır.



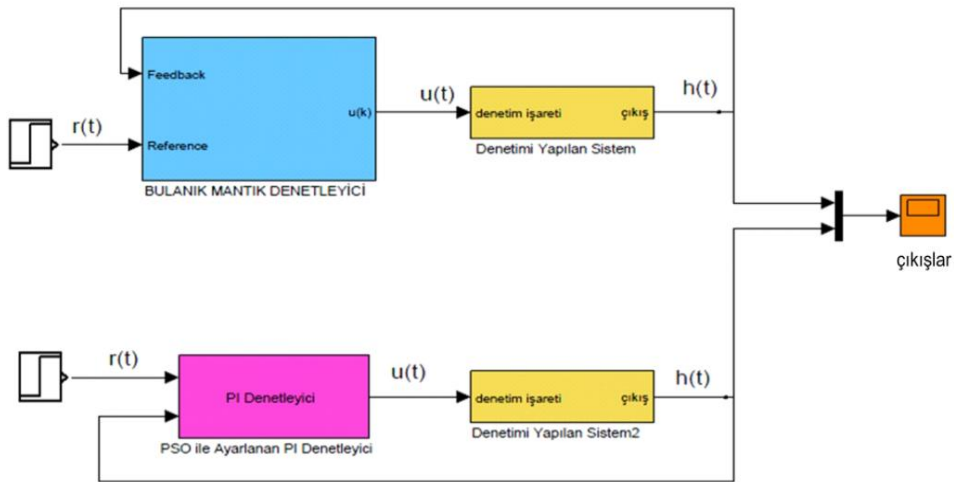
Şekil 7: 100. İterasyon sonucu parçacıkların konumları



Şekil 8: 100. İterasyon sonucu parçacıkların konumlarına göre elde edilen uygunluk değerleri



Şekil 9: Sırasıyla 6 m, 4 m ve 6 m referansları için parametreleri PSO ile ayarlanan PI denetleyici ve BMD sonuçları



Şekil 10: Benzetimi yapılan sistemin genel Simulink blokları

6. Sonuç

Bu çalışmada, basit bir sıvı seviye sistemi BMD ve parametreleri PSO ile belirlenen PI denetleyici ile denetlenmiştir. PI parametrelerini belirlemek için PI denetleyicili sistem parçacık sayısı kadar parametre ile iterasyon sayısı kadar koşurulmuştur. İterasyon sona erdiğinde en küçük uygunluk değeri veren parçacıklar PSO tarafından optimum değerler olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değerlere göre PI denetleyicili sistem ve BMD'li sistem referanstaki basamak değişimleri altında koşurulmuş, elde edilen sonuçlar Şekil 9'da verilmiştir.

Benzetim sonuçları incelendiğinde, BMD'li sistem, parametreleri PSO ile ayarlanan PI denetleyicili sisteme göre referans noktasına daha geç ulaşmıştır ancak sürekli durumda sıfır hata ile referansı takip etmiştir. Parametreleri PSO ile ayarlanan PI denetleyicili sistem ise en fazla 0.02 m'lik hata ile referans noktasına BMD'li sistemden daha önce ulaşmış, sürekli durumda da en fazla 0.02 m'lik hata ile referansı takip etmiştir.

Sonuç olarak 0.02 m'lik hata çok küçük bir hata olarak kabul edilirse, referans noktasına ulaşma hızı bakımından PSO ile ayarlanan PI denetleyicinin BMD'den daha iyi sonuç verdiği söylenebilir.

7. Kaynakça

- [1] Xiao, Q. , Zou, D., Wei, P., " Fuzzy Adaptive PID Control Tank Level ", *International Conference on Multimedia Communications*, 2010.
- [2] P. D. Rohitha S. Senadheera and Jeff K. Pieper, "Fully Automated PID and Lead/Lag Compensator Design tool for Industrial Use", *Proceedings of the 2005 IEEE Conference on Control Applications*, 2005.
- [3] Gengyun Yao, Fengxiang Gao, Changsong Wang, Xiao Chen, "Design and Simulation Based on Kalman Filter Fuzzy Adaptive PID Control for Mold Liquid Level Control System", *Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2009)*, 2009.
- [4] Ke, W., Wenguang, L., Yuqiu, S., Xiaofeng, L., "Study of Self-adaptive Fuzzy Smith Control for Liquid Level Systems", *2010 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, 2010.

- [5] Zhao, Y., " Research on Application of Fuzzy PID Controller in Two-container Water Tank System Control", *2010 International Conference on Machine Vision and Human-machine Interface*.
- [6] Kannan, R., Ananthachristu raj, P., Poongodi, P., "Design of Fuzzy Immune Pid Controller for Liquid Level Control System", *Second International Conference on Computer and Network Technology*, 2010.
- [7] Qi, L., Yanjun, F., Jizhong, S., Ji, W., "The Application of Fuzzy Control in Liquid Level System", *2010 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, 2010.
- [8] Kayacan, E.ve Kaynak, O., "Grey Prediction Based of a Non-Linear Liquid Level System Using PID Type Fuzzy Controller", *2006 IEEE International Mechatronics Conference*, 2006.
- [9] Madhubala, T.K., Boopathy, M., Sarat Chandara, J. ve Radhakrishnan, T.K., "Development and Tuning of Fuzzy Controller for a Conical Level System", *International Conference Intelligent Sensing and Information Processing*, 2004.
- [10] Teng, T.K., Shieh, J.S. ve Chen, C.S., "Genetic algorithms applied in online autotuning PID parameters of a liquid-level control system", *Transactions of the Institute of Measurement and Control* 25,5 (2003) sayfalar 433–450.
- [11] Nawi, S.M., Abdalla, A.M. ve Ramli, M.S., "Improved Coupled Tank Liquid Levels System Based on Hybrid Genetic-Immune Adaptive tuning of PI Controller", *International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering*, 2011.
- [12] I. H. Altas ve A. M. Sharaf, " A Generalized Direct Approach for Designing Fuzzy Logic Controllers in Matlab/Simulink GUI Environment", *International Journal of Information Technology and Intelligent Computing*, Int. J. IT&IC no.4 vol.1.
- [13] H. Aydar ve İ. H. Altaş, "Eğitim Amaçlı Bulanık Mantık Denetleyici Simülâtörü" (ASYU 2006), *Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu*, 2006.
- [14] L.A. Zadeh, "Fuzzy sets", *Information and Control* 8, 338-353, 1965.
- [15] İ. H. Altaş, "Bulanık Mantık: Bulanık Denetim", *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, Eylül 1999, Sayı 64, Sayfalar:76-81, Bileşim Yayıncılık A.Ş., İstanbul.
- [16] Loğoğlu, A., "Su Dağıtım Şebekesinin Optimizasyonunda Genetik Algoritmanın Kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2006.
- [17] Kennedy, J. ve Eberhart, R. , "Particle Swarm Optimization", *IEEE International Conference on Neural Networks 1995. Proceedings*, November 1995, Perth, WA, Vol. IV, 1942-1948.
- [18] Tamer, S., "Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması ile Bulanık-Nöral Ağ Eğitimi", Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2007.
- [19] Shi, Y. ve Eberhart, R. C. "A modified particle swarm optimizer", *Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation* s: 69-73. IEEE Press, Piscataway, NJ, 1998.
- [20] Korani, W., "Bacterial Foraging Oriented by Particle Swarm Optimization Strategy for PID Tuning", *2009 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA)*, 2009
- [21] GirirajKumar, S. M., Jayaraj, D. ve Kishan, A.R., "PSO based Tuning of a PID Controller for a High Performance Drilling Machine" *International Journal of Computer Applications* (0975 - 8887) Volume 1 – No. 19.

TARİH VE ZAMAN TABANLI GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ

Fathi Hassan¹T. Selcen Navruz²^{1,2}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara²e-posta: selcen@gazi.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada temiz enerji kaynakları içerisinde yer alan güneş enerjisini en verimli şekilde kullanmak amacıyla; veri tabanına yüklenen bilgileri kullanarak günün tarih ve saatine göre güneşi takip edebilen güneş panel sistemi tasarlanmıştır. İzleyici panel sistemi ile güneşin doğumundan batımına kadar olan süre içerisinde, güneş ışınlarının gün boyu panele dik düşmesi sağlanmaktadır. Bu sayede güneş ışığından maksimum oranda yararlanılarak güneş enerjisinden maksimum değerde enerji elde edilmesi hedeflenmektedir.

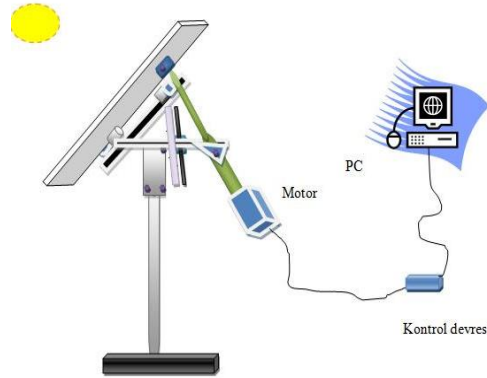
Kurulan güneş takip sistemi kuzey – güney ekseninde manüel olarak, doğu – batı ekseninde ise tarih ve zaman tabanlı bir algoritma ile çalışan bilgisayar yazılımı ile kontrol edilmektedir. Deneyisel ölçümler tarih ve zaman tabanlı takip sistemine sahip panel ve sabit sehpalı bir panel üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ölçümler gündüzlerin uzun ve kısa olduğu iki farklı günde yapılmıştır. Her iki günde sabit ve izleyici panelin maksimum güç, akım ve gerilim değerleri belli aralıklarla ölçülmüştür. Bu ölçümlerde elde edilen veriler değerlendirildiğinde izleyici panelin sabite kıyasla çıkış gücünde; 03.09.2010 tarihinde %51, 25.11.2010 tarihinde ise %20.4 oranında artış sağladığı tespit edilmiştir.

1. Giriş

Elektrik enerjisi üretmek üzere kurulmuş bir güneş enerji sisteminde hedef, güneşten gelen enerjinin mümkün olan en büyük oranda elektriğe dönüştürülmesidir. Dönüşüm verimliliğini artırmak için sistem maksimum güç noktasında çalıştırılmalı ve güneş ışığından azami istifade edebilmek maksadıyla sistemin güneşi takip etmesi sağlanmalıdır. Güneş takip sistemleri, takip eksenine ve kontrol mekanizmasına göre iki farklı şekilde sınıflandırılır [1]. Güneşi sadece doğu-batı yönünde izleyen sistemler tek eksenli ve mevsimsel değişimleri de algılayabilmek amacıyla kuzey-güney yönünde de izleyebilen sistemlere de çift eksenli takip sistemleri adı verilir [2]. Takipçiler kontrol mekanizmasına göre, pasif ve aktif takipçiler olarak gruplandırılır. Pasif takipçiler, bilgisayar ya da mikroişlemci gerektirmeyen, yerçekimi etkisini kullanarak çalışan mekanik sistemlerdir [3]. Aktif takipçiler ise mikroişlemci ve sensör tabanlı, tarih ve zaman tabanlı ve bu ikisinin kombinasyonu şeklinde olabilmektedir [4,5,6].

Bu çalışmada, güneşi doğu-batı ekseninde bilgisayar kontrollü olarak ve kuzey-güney ekseninde de manüel olarak takip edebilen bir PV sistem tasarlanmıştır. Bu sistemde güneş panelini hareket ettiren DC motoru, güneşin takip edilmesini sağlayacak şekilde süren bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım, tarih ve saat bilgilerini bilgisayardan alarak kullanmakta ve veri tabanındaki takvim bilgilerinden yararlanarak panelin, o tarih ve saatte güneşe dik olabilmesi için motora gönderilmesi gereken sinyal bilgilerini hesaplamakta ve bu bilgileri motor kontrol ünitesine

göndermektedir. Tasarlanan sistemin çalışma şeması Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Tasarlanan güneş takip sisteminin çalışma prensibi şeması

Tasarlanan sistem, 130 Wattlık, mono Kristal silisyum bir panel üzerinde kurulmuş ve deneyisel ölçümler yapılmıştır. Gündüzün uzun ve kısa olduğu iki farklı günde, aynı özellikteki iki panelden, biri sabit tutulmuş, diğerininse güneşi takip etmesi sağlanmıştır (Bkz. Şekil 2). 15 dakika aralıklarla, sabit ve hareketli panelin; çıkış gücü, kısa devre akımı, açık devre gerilimi, maksimum güç noktası akım ve gerilim değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, gündüzün uzun olduğu 03.09.2010 gününde güneşi takip eden sistemin günlük ortalama çıkış gücünün, sabit panelin gücüne kıyasla %51 daha fazla olduğu görülmüştür. Gündüzün kısa olduğu 25.11.2010 tarihinde yapılan ölçümler sonucunda ise takipçinin günlük ortalama güçte %20.4 kadarlık bir iyileştirme sağladığı görülmüştür.



(a)

(b)

Şekil 2. (a) Çatıya Ankara'nın eğim açısına (35-40°) uygun olarak yerleştirilmiş sabit panel, (b) İzleyici panel

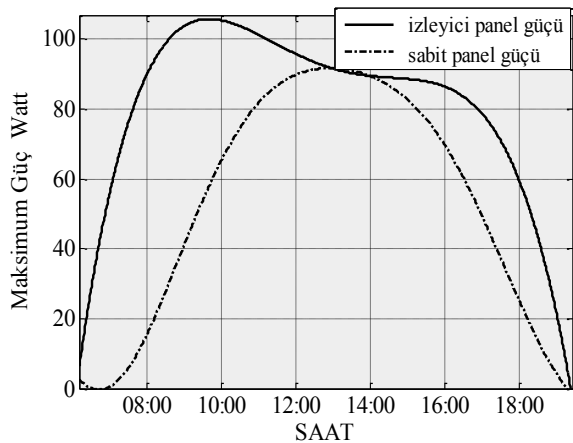
2. Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada, yukarıda tanıtılan güneş takip sisteminin, güneşi takip etmeyen bir sistemle kıyaslanabilmesi için deneysel ölçümler yapılmıştır. Aynı özelliklere sahip iki panelden biri sabit kalırken, diğerinin güneşi takip etmesi sağlanmıştır. Panel çıkışlarına bağlanan ayarlı yük ile panel çıkışlarındaki akım, gerilim ve güç değerleri gün boyunca 15 dakika aralıklarla ölçülmüştür.

Ölçümler ilk olarak 03.09.2010 (gündüzler uzun) tarihinde gerçekleştirilmiş, daha sonra kısa bir günde güneş takibinin etkisini görebilmek amacı ile 25.11.2010 tarihinde tekrarlanmıştır. Deneysel çalışmada, sabit ve izleyici panellerin gün boyunca belli aralıklarla, kısa devre akımı, açık devre gerilimi, maksimum güç noktasındaki gücü, akımı ve gerilimi ölçülmüştür.

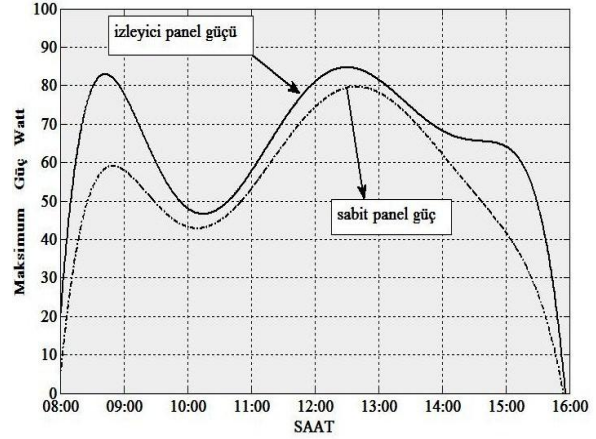
Şekil 3 ve 4'te sırasıyla 03.09.2010 ve 25.11.2010 tarihlerinde sabit ve izleyici panellerin gün boyunca maksimum çıkış gücü değişimleri görülmektedir. Şekil 3'de saat 12:00-13:00 arasında güneş ışınları sabit ve hareketli panellere dik olarak gelmiş ve çıkış güçleri hemen hemen eşit olmuştur. Sabahın erken saatlerinde (08:00-11:00) ve öğleden sonra (15:00-18:00) ise izleyici gücü sabit panel gücünün çok çok üzerinde olmuştur. Günlük maksimum güç değerleri toplamı sabit panel için 53.35 Watt, izleyici panel içinse 80.51 Watt kadardır. Bu değerler kurulan izleyici sisteminin çıkış gücünde %51 kadarlık iyileştirme sağladığını göstermektedir.

25.11.2010 tarihinde, bulutlu bir günde yapılan ölçümlerde, sabit ve izleyici panel güçleri uzun güne göre daha düşük seviyededir. Bu tarihte, izleyici ve sabit panelin çıkış gücü gün boyunca hiç eşitlenmemiştir. Sabit panelin çatıda yerleştirildiği açı, uzun günde öğle saatlerinde güneş ışınlarını dik alabilecek şekildeydi. Fakat kısa günlerde güneş ışınları daha eğik (deklınasyon açısının değişmesinden dolayı) geldiği için sabit panel bu ışınları günün hiçbir saatinde dik olarak alamamıştır. İzleyici çıkış gücü sabit panel çıkış gücünden gün boyunca daha fazla olmuştur fakat aralarındaki fark uzun gündeki kadar fazla değildir.



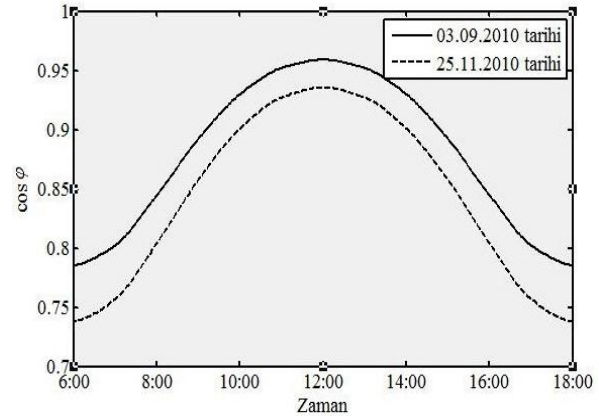
Şekil 3. 03.09.2010 tarihinde sabit ve izleyici panellerin maksimum çıkış gücü değişimleri

Kısa günde günlük ortalama maksimum güç değerleri sabit panel için 52.12 Watt ve izleyici panel için 62.79 Watt, kadardır. İzleyici çıkış gücünde %20.4 oranında iyileştirme sağlamıştır. Buradan izleyici sistemin uzun günlerde daha verimli çalıştığı sonucu çıkarılabilir.



Şekil 4. 25.11.2010 tarihinde sabit ve izleyici panellerin maksimum çıkış gücü değişimleri

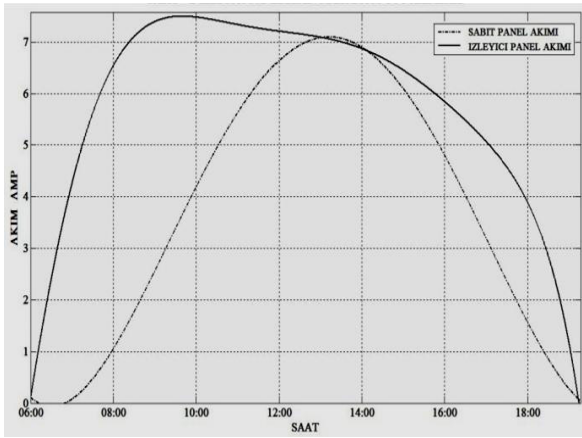
Uzun ve kısa günde yapılan ölçümlerin teori ile uyuşup uyuşmadığını test etmek için, sabit panelin etkin yüzey alanını etkileyen $\cos \phi$ değerinin bu günlerde gün boyunca değişim eğrileri, Şekil 5'deki gibi bulunmuştur. Bu şekilden de görüldüğü gibi kısa günde sabit panelin etkin yüzey alanı uzun gündekine göre daha azdır. Uzun günde ölçülen sabit panel çıkış gücü teorik olarak hesaplanan etkin yüzey alanına uygun bir değişim göstermektedir. Kısa günde ise bulutlanmadan dolayı hem sabit hem de izleyici panel güç çıkışlarında etkin yüzey alanını etkisi dışında farklılıklar ortaya çıkmıştır. Örneğin saat 10:30 civarında her iki panelin gücünde de bir azalma meydana gelmiştir. Yalnız ileri saat uygulaması nedeniyle uzun günde yapılan ölçümlerde maksimum çıkış gücü saat 12:00'da değil 13:00'da elde edilmiştir.



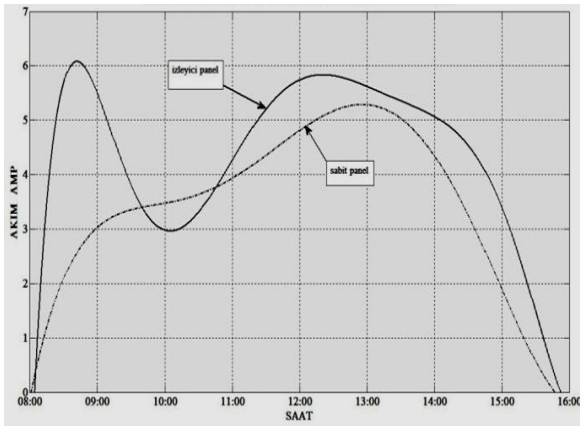
Şekil 6.3. Etkin yüzey alanını belirleyen $\cos \phi$ faktörünün 03.09.2010 ve 25.11.2010 tarihlerindeki teorik değişimleri.

Uzun ve kısa günde panellerin maksimum güç noktasındaki akım değişimlerine bakıldığında (Şekil 5 ve 6), güç eğrileri ile hemen hemen aynı değişimi gösterdikleri görülmektedir. Çünkü izleyici güneşe her zaman dik durarak daha fazla sayıda foton soğurmakta ve fotoakımın artmasını sağlamaktadır. Bu da çıkış gücüne yansımaktadır. Kısa günde saat 10:00-10:30 arasında izleyici akımı, sabit panel akımından daha az olmuştur. Bunun sebebi bulutlanma yüzünden kırılan ışınların sabit panel yüzeyine daha fazla gelmesidir. Eğer izleyici sistemimizde sensör kullanılmış olsaydı, bulutlu havalarda ışınlar hangi yönden geliyorsa paneli o yöne çevirebilirdi. Fakat bizim sistemimiz hava

şartlarından bağımsız olarak, sadece, bulunulan konum, yılın hangi günü, günün hangi saati olduğu bilgilerine göre takip yapmaktadır.

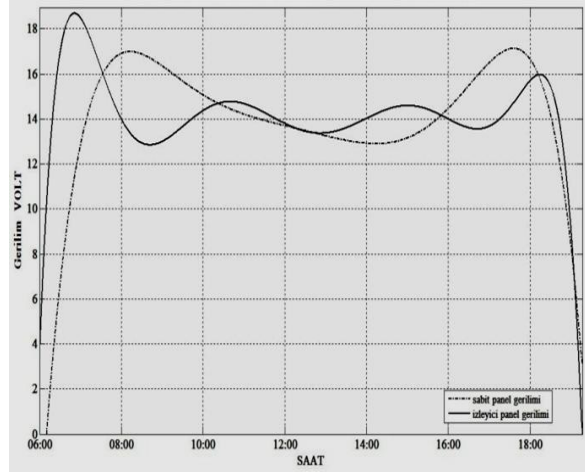


Şekil 5. Uzun günde sabit ve izleyici panellerin maksimum güç noktasındaki akımları

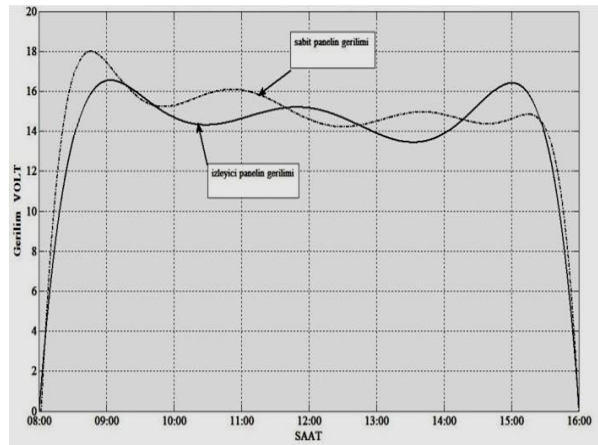


Şekil 6. Kısa günde sabit ve izleyici panellerin maksimum güç noktasındaki akımları

Uzun ve kısa günde sabit ve izleyici panellerin maksimum güç noktasındaki gerilimlerin gün boyunca değişimleri Şekil 7 ve 8'de sunulmuştur. Çıkış gerilim değerleri sabit ve izleyici paneller için hemen hemen eşittir. Bu gerilimler gün boyunca hem sabit hem izleyici paneller için sabah erken (uzun günde 07:00, kısa günde 08:30 civarı) ve akşam geç saatler (uzun günde 17:30, kısa günde 15:00 civarı) dışında dikkate değer bir değişim göstermemekte nerede ise sabit kalmaktadır. Sabah ve akşam saatlerinde çıkış gerilim değerlerinin artması, bu saatlerde sıcaklık azaldığı için panel içerisinde karanlık akımı artıran rekombinasyon mekanizmasının öğle saatlerine göre daha yavaş olması ile açıklanabilir.



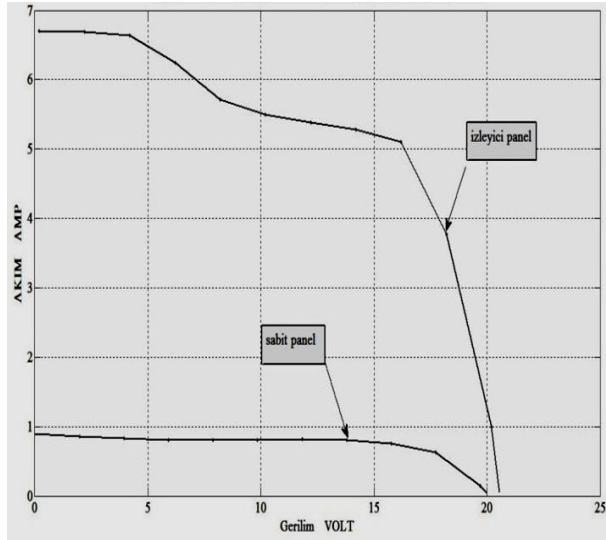
Şekil 7. Uzun günde sabit ve izleyici panellerin maksimum güç noktasındaki gerilimleri



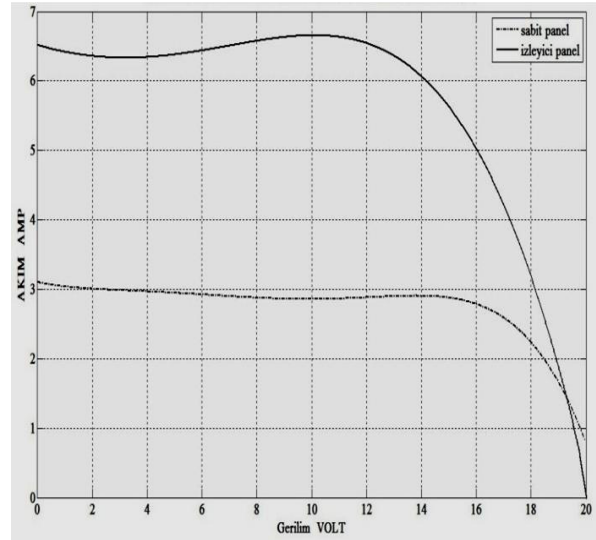
Şekil 8. Kısa günde sabit ve izleyici panellerin maksimum güç noktasındaki gerilimleri

Şekil 9-11'de uzun günde, sabit ve izleyici paneller için, saat 08:00, 12:00 ve 18:00 saatlerinde ölçülen değerlerle çizilen I(akım)-V(gerilim) eğrileri görülmektedir. Sabah ve akşam saatlerinde yapılan ölçümlerde (Şekil 6.12 ve 14), sabit panel yüzeyine güneş ışınları çok eğik geldiği için akım izleyici panele kıyasla çok küçük olmuştur. Gerilimde çok büyük bir fark olmamasına rağmen, akımdaki fark izleyici çıkış gücünün bu saatlerde sabit panel gücüne göre oldukça fazla olmasını sağlamıştır. Saat 12:00'da ise I-V eğrileri arasında çok önemli bir farklılık göze çarpmamaktadır. Bu saatte her iki panelde güneş ışınlarına hemen hemen dik konumdadır.

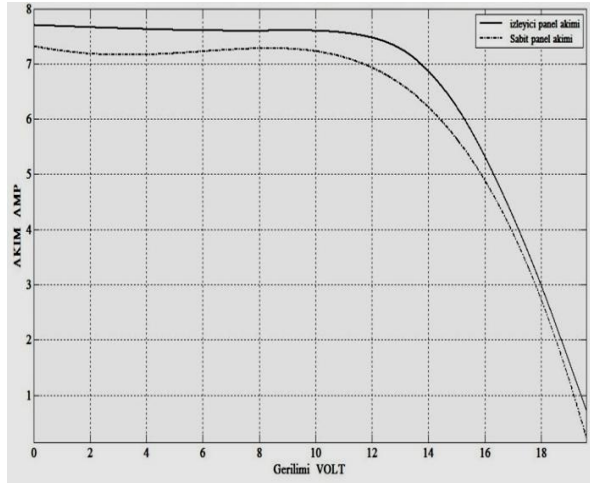
Şekil 12-14'de kısa günde elde edilen sonuçlarla sabit ve izleyici panel için saat 09:00, 12:00 ve 14:00'da çizilen I-V eğrileri görülmektedir. Burada öğle saatinde bile sabit panel akımı izleyici panel açısından azdır. Bunun sebebi daha önce de açıklandığı gibi sabit panelin uzun günlerde güneşi ışınlarını dik alabilecek şekilde yerleştirilmesidir. Kısa günlerde deklasyon açısının değişmesi sabit panelin etkin alanının da azalmasına sebep olmaktadır.



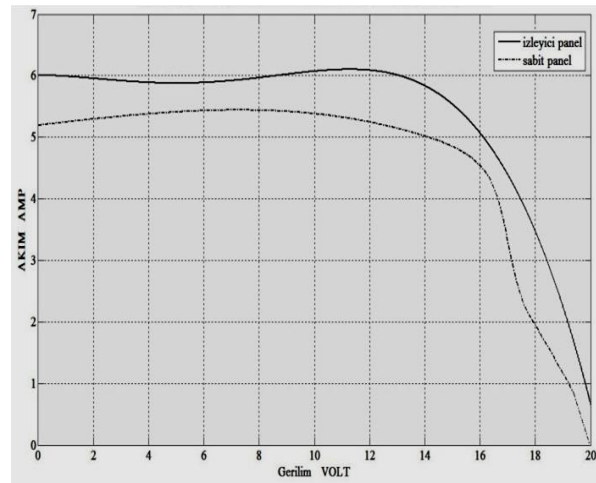
Şekil 9. Uzun günde sabit ve izleyici panellerin saat 08:00'de I-V eğrileri



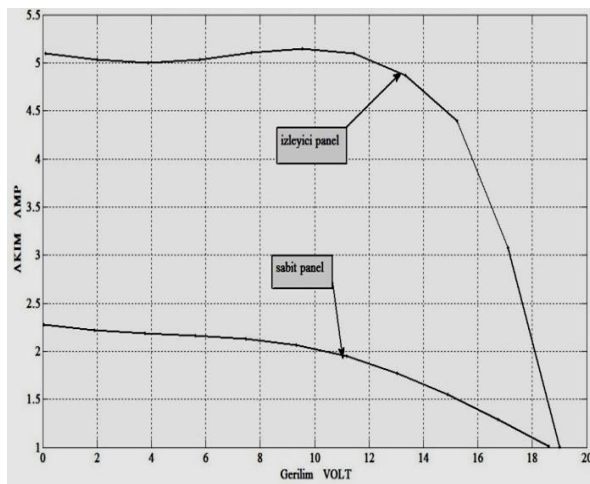
Şekil 12. Kısa günde sabit ve izleyici panellerin saat 09:00'da I-V eğrileri



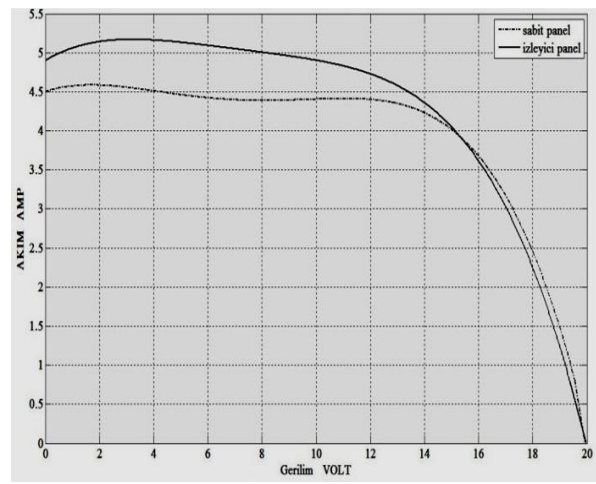
Şekil 10. Uzun günde sabit ve izleyici panellerin saat 12:00'de I-V eğrileri



Şekil 13. Kısa günde sabit ve izleyici panellerin saat 12:00'da I-V eğrileri



Şekil 11. Uzun günde sabit ve izleyici panellerin saat 18:00'de I-V eğrileri



Şekil 14. Kısa günde sabit ve izleyici panellerin saat 14:00'da I-V eğrileri

3. SONUÇ

Bu çalışmada; ülkemizin her geçen gün artan enerji ihtiyacının yine ülkemizde bulunan alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarına dikkat çekerek karşılanmasına katkı sağlamak amacı ile güneş panellerinde verimi artırmaya yönelik bir güneş takip sistemi tasarlanmış ve kurulmuştur.

Bu çalışma kapsamında tasarlanan sistem, panelin güneşi takvim ve saat tabanlı bir yazılım yardımı ile doğu-batı yönünde takip etmesini sağlamaktadır. Geliştirilen bilgisayar yazılımı, bulunulan konumla ilgili bilgileri veri tabanından, gün ve saat bilgilerini ise bilgisayarın takviminden alarak, bulunulan konum, gün ve saatte panelin güneşe dik olabilmesi için motora gönderilmesi gereken sinyali hesaplamakta ve bu sinyal kontrol devresi aracılığı ile motora iletilmektedir. Bu sistem, sensör gerektirmediği için donanım ve yazılım bakımından sistemi basitleştirmekte, maliyeti azaltmakta, sensörlerin montajı ve rüzgar, sıcaklık vs gibi dış faktörlerin etkisiyle hata yapması gibi zorlukları ortadan kaldırmaktadır. Ancak, bulutlu günlerde kırılan ışınları takip edememesi ve geri beslemesi bulunmadığından dolayı güneşin takibini garanti edememesi sistemin eksikleridir.

Kurulan sistemin panel performansı üzerindeki etkisini gözleyebilmek amacı ile; 03.09.2010 ve 25.11.2010 tarihlerinde sabit ve izleyici iki panelin çıkışlarındaki akım, gerilim ve güç değerleri gün boyunca ölçülmüş ve uzun ve kısa bu iki günde maksimum güç, kısa devre akım, açık devre gerilim, maksimum güç noktasındaki akım ve gerilim değerlerinin gün boyunca değişimleri elde edilmiştir.

Uzun günde sabit ve izleyici panelin öğle saatinde hemen hemen aynı çıkış gücünü verdiği, sabah ve akşam saatlerinde ise sabit panel gücünün ve akımının azaldığı görülmüştür. Sabit ve izleyici panellerin çıkış gerilimleri arasında ise büyük bir fark olmamıştır. Her ikisinde de sabah ve akşam saatlerinde gerilim, azalan sıcaklıkla rekombinasyon hızını azalması neticesi artmıştır. Bu günde izleyici panel günlük ortalama güçte %51 kadarlık iyileştirme sağlamıştır.

Kısa ve bulutlu günde, izleyici etkisinin uzun güne nispeten azaldığı görülmüştür. Akım ve gerilim değişimleri ise güneşin bulut arkasında kaldığı zamanlar dışında uzun gündeki ölçümlere benzer çıkmıştır. Kısa günde izleyicinin sağladığı iyileştirme %20.4 kadardır.

Sonuç olarak; geliştirilen ve kurulan sistem, özellikle yaz aylarında verimde önemli artış sağlama kapasitesine sahiptir. Sensör gerektirmediği için donanımın kurulması ve sürekliliğinin sağlanması bakımında avantajlıdır. Ancak geri besleme için hazırlanacak bir devre sistemin güneşi takibini garanti etmesi açısından faydalı olacaktır. Burada tek bir panel için denenen sistem çok sayıda panelin bulunduğu bir platformun güneşi takibi için geliştirilebilir.

4. Kaynakça

- [1] Kvasznicza Z, Elmer G, “Optimizing solar tracking systems for solar cells”, *The 4th Serbian-Hungarian joint symposium on intelligent systems*, 77: 269-280, 2006.
- [2] Mukund, R. Patel, Ph. D., “ Wind and solar power systems”, *Merchant Marine Academy Kings Point*, P.E. U.S New York, 139-142, 1999.
- [3] Clifford, MJ., Eastwood, D., “Design of a novel passive solar tracker”, *Solar Energy*, 77: 270, 2004.

- [4] Heredia, IL., Moreno JM., Magalhaes, PH., Cervantes, R., Laurent, O., “Inspira’s CPV sun tracking (concentrator photovoltaics)”, *Springer*, 221-51, 2007.
- [5] Canada, J., Utrillas, MP., Lozano, JAM., Pedros, R., Amo, JLG., Maj, A., “Design of a sun tracker for the automatic measurement of spectral irradiance and construction of an irradiance database in the 330-1100 nm range”, *Renewable Energy*, 32: 2053-68, 2007.
- [6] Sefa, İ., Demirtas, M., Çolak, İ., “Application of one-axis sun tracking system”, *Energy Conversion and Management*, 50: 2709-2718, 2009.

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ GÜNLERİ 2011

ELEKTRONİK KONULU BİLDİRİLER

Uydu Haberleşmesi, Gelişimi ve Üstünlükleri

Orkun DİLLİ¹ Nursel AKÇAM²

^{1,2} Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara

¹ e-posta: odilli@gazi.edu.tr

² e-posta: ynursel@gazi.edu.tr

Özetçe

Haberleşme ihtiyacı, teknolojinin sunduğu imkânlardan en etkin şekilde istifade ederek karşılanmaktadır. Teknolojideki hızlı değişme her alanı etkilediği gibi haberleşme alanını da ciddi olarak etkilemiştir. Duman ve güvercin gibi ilkel yöntemler ile haberleşen insanoğlu haberleşme teknolojisindeki hızlı değişmeler ile uydu teknolojilerini kullanarak haberleşir hale gelmiştir. Haberleşme alanında yüksek kapasite ve hızı daha ucuza elde etmenin amaçlandığı günümüzde uydu teknolojileri, çok farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, uydu, uydu haberleşmesi genel olarak açıklanmış, uydu haberleşmesinin üstünlükleri araştırılmış ve uydu haberleşmesinin gelişimi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uydu, Haberleşme, Uydu Haberleşmesi, Uydu Teknolojileri.

1. Giriş

Uydular, insanoğlu tarafından çeşitli amaçlarla yerden uzaya fırlatılan ve genellikle kapalı bir yörünge izleyerek yerin veya başka bir gezegenin çevresinde dolanan aygıtlardır. Yapılış amaçlarına göre uyduları, aşağıda verilen şekliyle sınıflandırmak mümkündür.

- Haberleşme Uyduları,
- Keşif - Gözetleme Uyduları,
- Seyrüsefer (Navigasyon) Uyduları,
- Astronomi Uyduları,
- Meteoroloji Uyduları,
- Uzaktan Algılama Uyduları,
- Arama-Kurtarma Uyduları,
- Atmosferik Çalışma Uyduları.

Haberleşme Uyduları, iletişim amacıyla uzaya gönderilen uydulardır. Telefon, radyo, televizyon, internet gibi günlük yaşamda sıkça kullandığımız teknolojiler doğrudan veya dolaylı olarak haberleşme uyduları aracılığıyla çalışırlar. İlk haberleşme uyduları yeryüzünden gelen sinyalleri yine yeryüzünde başka bir noktaya aynı frekansta güçlendirip iletmek görevini yerine getirirken, günümüzdeki uydular, uyduya gelen sinyallerin frekansını değiştirip güçlendirerek veya gelen sinyali temel banda indirip üzerindeki gürültüyü azaltıp tekrar modüle edip frekansını değiştirerek yeryüzüne gönderebilmektedirler [1].

Uydu haberleşmesinin başlangıcı ile ilgili uyduları kullanarak küresel iletişim fikri ilk olarak ünlü bilim adamı ve bilim

kurğu yazarı Arthur C. Clarke tarafından Mayıs 1945'te ortaya atılmıştır. Uydu haberleşmesi ile ilgili çalışmalar çok önceleri başlamış, fakat bu çalışmalara ait uygulamalara ancak 1954 yıllarında başlanabilmektedir.

Uydu Haberleşme Sistemleri; bir uydudan, uydunun yörüngesini, uzaydaki konumunu ve çalışmasını denetleyen bir yeryüzü istasyonundan ve uydu üzerindeki transponder (alma frekansını, gönderme frekansına çevirici) aracılığıyla gerçekleştirilen ve haberleşme trafiğinin gönderilmesini (çıkarma hattı, uplink) ve alınmasını (indirme hattı, downlink) sağlayan yer terminalleri ağından oluşur [2].

Bu çalışmada, uydu, uydu haberleşmesi genel olarak açıklanmış ve uydu haberleşmesinin gelişimi incelenmiştir. Önce; uydular, uydu alt sistemleri ve yörüngeleri incelenmiş sonra haberleşme uyduları, gelişimi ve üstünlükleri açıklanmıştır.

2. Uydular

Yukarıda verilen uydu tanımına ilave olarak, yerçekimi kanunlarının etkisinde kalarak Dünya etrafında dönen cisimlere de uydu denir. Şekil 1'de görülen uydular, kendilerinden beklenen işlevi yerine getirmek için özel olarak tasarlanırlar. Amaçlarına göre de aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler:



Şekil 1: Örnek Bir Uydu Fotoğrafı [3].

1.1. Haberleşme Uyduları

İletişim amacıyla uzaya gönderilen uydulardır. Telefon, radyo, televizyon, internet gibi günlük yaşamda sıkça kullandığımız teknolojiler doğrudan veya dolaylı olarak haberleşme uyduları aracılığıyla çalışırlar. İlk haberleşme uyduları yeryüzünden gelen sinyalleri yine yeryüzünde başka bir noktaya aynı frekansta güçlendirip iletmek görevini yerine getirirken, günümüzdeki uydular uyduya gelen sinyallerin frekansını değiştirip güçlendirerek veya gelen sinyali temel banda indirip

üzerindeki gürültüyü azaltıp tekrar modüle edip frekansını değiştirerek yeryüzüne gönderebilmektedirler.

1.2. Keşif-Gözetleme Uyduları

İstihbarat amaçlı gözetleme faaliyetleri için kullanılırlar. Bu uyduların optik sensörler ile çalışan görüntüleme uyduları, radar teknolojisiyle çalışan görüntüleme uyduları, dedektif uydular gibi türleri bulunmaktadır. Big Bird ve GeoEye-1 gibi uydular keşif-gözetleme uydularına örnek verilebilir.

1.3. Seyrüsefer (Navigasyon) Uyduları

Kendi sistemlerine uygun alıcılara birkaç metre hassasiyetle yerküre üzerindeki konumlarını (enlem, boylam ve yükseklik) belirleme imkanı sunarlar. Çoğu navigasyon sistemi konum belirlemede radyo sinyalinin hızını ve bir noktaya ne kadar sürede ulaştığı bilgisini kullanır. Sinyalin geldiği uydunun konumu, sinyalin yayın zamanı ve sinyalin uydudan alıcı arasında ne kadar sürede hareket ettiği bilindiğinde, sistem istenen noktanın yerküre üzerindeki yerini hesaplayabilirler. Alıcıların konumlarını hassas olarak hesaplayabilmeleri için en az dört uydudan gelen seyrüsefer sinyali alarak işlemleri gerekir. ABD'nin GPS, Avrupa'nın GALILEO, Rusya'nın GLONASS sistemleri seyrüsefer uyduları sistemlerine örnek verilebilir.

1.4. Astronomi Uyduları

Uzayda dolanan büyük teleskoplar olarak düşünülebilirler. Astronomik uyduların görüş alanları atmosferi oluşturan gazlar tarafından gölgelemez. Ayrıca bu uyduların kızılötesi kameraları dünyanın ısı tarafından etkilenmezler. Böylelikle bu uydular üzerindeki teleskoplar, yerküre üzerindeki aynı güçte teleskoplara göre daha uzak bölgelerin çok daha yüksek kalitede görüntülerini sağlayabilirler. Astronomi uyduları, yıldız haritaları oluşturma, kara delik gibi gizemli olayları araştırma, güneş sistemindeki gezegenlerin görüntüsünü elde etme gibi alanlarda kullanılabılır. Hubble Uzay Teleskopu astronomik uydulara örnek verilebilir.

1.5. Meteoroloji Uyduları

Yeryüzündeki herhangi bir noktada günün herhangi bir saatindeki hava ve iklim durumunu gözlemlemek için kullanılırlar. Meteoroloji uzmanları hava tahmin raporları oluştururken meteoroloji uydularından alınan görüntülerden yararlanırlar. Eumetsat tarafından işletilen Meteosat serisi uyduları meteorolojik uydulara örnek verilebilir.

1.6. Uzaktan Algılama Uyduları

Yerküre üzerindeki doğal kaynakları gözlemlemek için kullanılırlar. Hayvan göçleri, maden yatakları, tarım ürünleri, ormanlar, kaçak yapılaşma uzaktan algılama uyduları ile izlenebilmektedir.

1.7. Arama-Kurtarma Uyduları

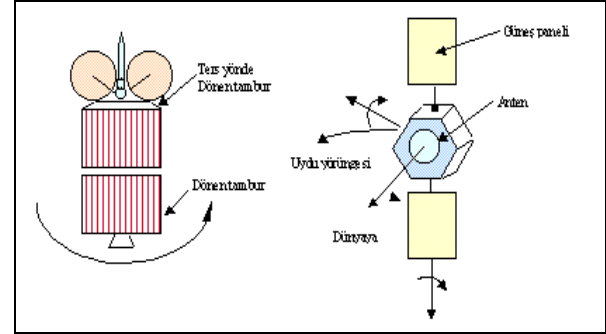
Bu uydular tehlike içindeki gemiler, hava araçları, vb. tarafından verilen acil durum sinyallerini yakalama ve bu sayede arama-kurtarma çalışmalarında yer bilgisi sağlama işlevi görürler.

1.8. Atmosferik Çalışma Uyduları

Alçak yörüngelerde atmosferik çalışma yapmak için kullanılırlar [1].

3. Uyduların Alt Sistemleri

Genel yapısı Şekil 2'de verilen uydularda genel olarak görülen alt sistemler ve bunlar ile ilgili gerekli açıklamalar aşağıda verilmiştir:



Şekil 2: Uyduların Genel Yapısı (Çift Dönmeli ve Üç Eksende Kararlı Uydular) [4].

• **Haberleşme Alt Sistemi:** Uydunun yer istasyonlarından gönderilen yukarı hat sinyallerini alma, alınan sinyalleri güçlendirme, aşağı hat antenleri üzerinden yer istasyonlarına sinyal gönderme işlevlerini yerine getiren alt sistemdir. Uydunun aktarıcısı (transponder) ve antenden oluşur.

• **İtki Alt Sistemi:** Uydunun fırlatma sonrasında roketten ayrıldığı andan yörüngesine yerleştiği ana kadar gerekli olan itkiyi ve yörüngede iken ufak sapmalar sonrasında uydunun tekrar istenen yörüngeye oturması için kullanılacak itkiyi sağlar.

• **Güç Alt Sistemi:** Uydunun enerji üreten, depolayan ve dağıtan alt sistemidir. Uydunun diğer alt sistemlerine gerekli gücü sağlayan bu sistemler genellikle güneş panelleri kullanarak güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirir.

• **Termal Alt Sistem:** Uyduların sensör, optik sistem, güç dağıtım sistemi gibi ekipmanları belirli sıcaklık aralıklarında çalışabilmektedir. Termal alt sistem uydunun elektronik ekipmanlarının uydunun farklı taraflarındaki yoğun güneş ışınlarından veya güneş görememekten kaynaklanan uç sıcaklıklardan etkilenmesini önlemekte ve uydunun içerisindeki ekipmanlara çalışabilecekleri bir ortam sağlarlar.

• **Yönelim ve Yörünge Kontrol Alt Sistemi:** Uydunun istenen işlevleri yerine getirebilmesi için doğru yörüngede olduğunun kontrol edilmesi ve uydunun antenin doğru şekilde yönlendirilmesinde görev alır.

• **Telemetri ve Telekomut Alt Sistemi:** Uydunun yaşam ömrü boyunca izlenmesi ve kontrol edilmesi işlevini yerine getirir. Telemetri ile uydunun alt sistemleri hakkında durum bilgisi edinilmekte, telekomut ile yer istasyonundan uydunun fonksiyonları, konfigürasyonu, konumu ve hızı değiştirilebilmektedir.

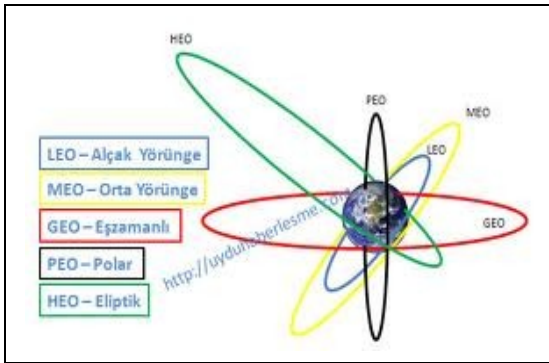
• **Yapısal Alt Sistem:** Uydunun diğer alt sistemlerinin üzerine monte edildiği ve uydunun fırlatma aracı arasında ara yüz sağlayan alt sistemdir.

• **Faydalı Yük Alt Sistemi:** Uydunun kendisinden beklenen işlevi yerine getirmesi için kullanılan alt sistemidir. Her uydunun amacına uygun olarak faydalı yük taşır. Haberleşme uydularının faydalı yükü üzerindeki uydunun aktarıcısı iken, gözetleme uydularının faydalı yükü kameralardır [1,5-6].

4. Uydü Yörüngeleri

Gökbilimde bir gökcisminin bir diğerinin kütle çekimi etkisi altında izlediği yola yörünge denilir. Dünya etrafında dönen her uydunun bir yörüngesi bulunur. Her yörünge altı faktörle tanımlanır.

- **Yörünge Eğikliği:** Yörünge'nin ekvatorla yapmış olduğu açıdır.
- **Çıkış düğümünün konumu:** Bir yörünge'nin, eğikliğini belirlemek için referans olarak alınan düzlemi kestiği iki noktaya yörünge düğümleri adı verilir. Bu iki düğüm içinden, yörüngeyi izleyen cismin referans düzlemini güneyden kuzeye doğru aştığı nokta çıkış düğümü denilir.
- **Yörünge'nin yarı büyük eksen uzunluğu:** Bir yörüngeyi tanımlayan elipsin büyük eksen uzunluğunun yarısına eşit olan değerdir.
- **Yörünge'nin dışmerkezliği:** Bir yörünge'nin dışmerkezliği ya da basıklığı, o yörüngeyi tanımlayan matematiksel eğrinin bir çemberden ne kadar farklı olduğunu belirler.
- **Enberi noktasının konumu:** Bir gök cisminin yörüngesi boyunca, etrafında dolandığı merkezi cisme en yakın olduğu noktayı merkezi cisimle birleştiren doğrunun çıkış noktası ile yapmış olduğu açıdır.
- **Ortalama anomalisi:** Bir gök cisminin herhangi bir anda tanımlanan yörünge üzerindeki konumunu belirler. Uyduların yörüngesi görevlerine uygun olarak seçilir.



Şekil 3: Uydü Yörüngeleri [7].

Uydular, Şekil 3'de görüldüğü gibi, verecekleri hizmetlere göre farklı yükseklikteki yörüngelere yerleştirilir. Uydü yörüngeleri aşağıdaki gibi sınıflandırılır:

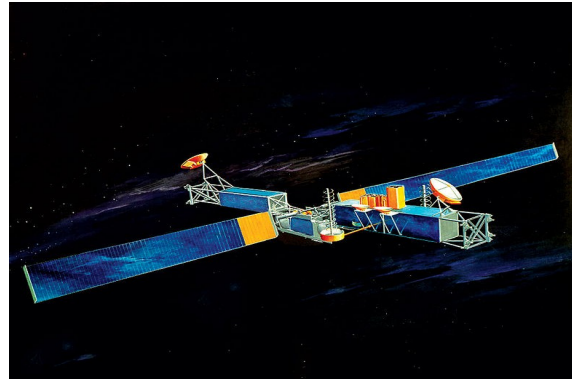
- **Alçak Yörünge (Low Earth Orbit-LEO):** Yeryüzünden 300-2000 km yükseklikte bulunan yörüngelerdir. Bu yörüngelerdeki uydular diğer yörüngedekilere göre daha net fotoğraflar çekebilmekte ve verilerini yer istasyona indirmek için daha az güce ihtiyaç duyarlar.
- **Orta Yörünge (Medium Earth Orbit -MEO):** Yeryüzünden 2000-35786 km yükseklikte bulunan yörüngelerdir. Bu yörüngeler LEO ve GEO yörüngelerinin avantaj ve dezavantajlarını dengeleme özelliğine sahiptir. Genellikle navigasyon uyduları ve haberleşme uyduları için kullanılırlar.
- **Yerredurağan Yörünge (Geostationary Earth Orbit-GEO):** Yeryüzünden 35786 km yükseklikte (0° enlemde) bulunan yörüngedir. Bu yörüngedeki uydular dünya ile yak-

laşık aynı hızda döndüklerinden yeryüzündeki bir gözlemciye göre durağan görünürler.

LEO, MEO ve GEO yörüngelerine ek olarak güney ve kuzey kutup noktalarından geçen Kutupsal Yörünge ve uydü için her gün yerküre üzerinde aynı noktadan aynı saatte geçme durumu oluşturan Güneş Eşzamanlı Yörünge bulunur.

5. Haberleşme Uyduları

Dünya üzerinde her hangi iki nokta arasında güvenilir ve geniş bantlı iletişim sağlamanın üç yolu vardır: Bunlar telsizler, kablolu hatlar ve uydulardır. Kablolu hatlar önceden planlanıp döşenmesi gerektiğinden, sabit olmayan, hareketli platformlara hizmet veremez. Telsizler ise frekansa, hava koşullarına ve güce bağlı olarak bant genişliği menzil kısıtlamasına sahiptirler. Uydü haberleşmesinde ise böyle kısıtlar yoktur. Diğer bir deyişle kara, hava ve deniz taşıtları ile her yerden güvenilir geniş bantlı iletişim sağlamanın tek yolu uydudan geçer. Özellikle, istendiği zaman, istendiği yerden, ses yanında görüntü ve diğer verilerin canlı aktarılması ve çift yönlü hızlı iletişim isteniyorsa bu ancak uydü haberleşmesi ile mümkündür. Sadece ses ve dar bantlı veri aktarımı istense bile uydular klasik telsiz iletişimine göre daha ucuz ve daha güvenilir seçenekler sunar. Uydü teknolojisinin en büyük faydalarının basında muhabere ve bilgi aktarımı gelmektedir. Uzayda konuşlu bulunan uydular vasıtasıyla televizyon ile radyo yayınları, telefon, data haberleşmesi ve hızlı internet bağlantısı gibi her türlü bilgi ve sinyal dünyanın istenilen bölgesine zaman farklılığı olmadan aktarılır [2].



Şekil 4: Haberleşme Uydusu [10].

Günümüzde uzayda dolanan uyduların yaklaşık %61'ini, Şekil 4'te görülen veya benzeri, haberleşme uyduları oluşturmaktadır. Uydü haberleşme sistemleri SATCOM (Satellite Communication) sistemi olarak isimlendirilmekte olup, uydü haberleşme sistemi alıcı ve verici yer istasyonları ile uydulardan oluşur. Uzayda oluşturulmuş haberleşme ağının yeryüzüne kurulan haberleşme ağına göre bazı üstünlükleri şöyle sıralanabilir;

- Uzak ve geniş bölgeler arasında kolay bir iletişim sağlanması,
- Daha az geçiş istasyonu ile tüm dünya ile iletişim kurulabilmesi,
- Uzak bölgelerde olan kullanıcılarla giriş yer istasyonuna gerek duyulmadan doğrudan bağlantı sağlanabilmesidir [2,8-9].

6. Uydu Haberleşmesinde Kullanılan Frekanslar

Uydu haberleşme sistemlerinde kullanılan çalışma frekansları ve bunlara ait kullanım alanları aşağıda verilen Tablo 1’de gösterilmektedir. Bu uygulamanın İkinci Dünya Savaşı’nda tespiti zorlaştırmak amacıyla, değişik frekans bantlarına verdikleri harf uygulamasından kalmış olabileceği değerlendirilmektedir.

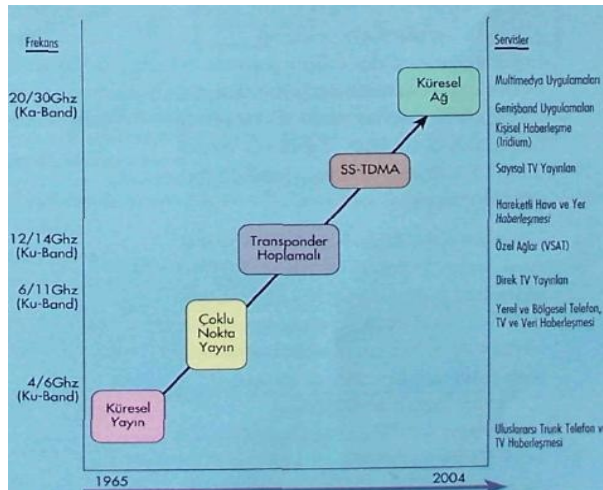
Tablo 1 : Frekans Aralıklarının Harf Olarak Gösterimi [11].

Yaklaşık Frekans Aralığı (GHz)	Harf	Kullanım Alanı
1,5–1,6	L	Mobil Uydu Hizmeti
2,0–2,7	S	Yayın Uydu Hizmeti
3,7–7,25	C	Sabit Uydu Hizmeti
7,25–8,4	X	Devlet Uyduları
10,7–18	K _u	Sabit Uydu Hizmeti
18–31	K _a	Sabit Uydu Hizmeti
44	Q	Devlet Uyduları

Frekanslar yükseldikçe hem teknolojik girdiler ve güvenlik artar; hem de frekans bandı genişler. Örneğin S bandında frekans bandı genişliği 700 MHz iken, K_a bandında frekans bandı genişliği yaklaşık 20 kat daha büyük olup 13 GHz’dir. Dolayısıyla, gerçekte yüksek frekanslar gürültü ve bozulmalara karşı daha hassas olmalarına karşın, geniş bant ihtiyaçları endüstriyi daha yüksek frekans ve frekans bantlarını kullanan teknolojileri geliştirme ve gerçekleştirme yönünde zorlamaktadır.

7. Uydu Haberleşmesinin Gelişimi

Uydu Haberleşmesinin 1960’lı yıllardan günümüze kadar olan gelişimi Şekil 5’te sunulmuştur. Uydu Haberleşme Sistemleri artık hayatın bir parçası olmuştur. Ortalama %99,5’lük yıllık aktif çalışma oranıyla, yapılan bilgi alışverişlerinin, eve kadar gelen televizyon sinyallerinin, gerçekleştirilen telefon konuşmalarının çoğunda farkında olmasak da altyapı olarak uydu sistemleri kullanır. Artan iletişim trafiği, gün geçtikçe daha fazla kanal kapasiteli ve daha hızlı haberleşme sistemlerinin kurulmasına neden olur. Uydu haberleşme sistemleri saydığımız bu ihtiyaçları karşılayabilecek özelliklere sahip teknolojisiyle gelecekte çok daha yaygın ve özel amaçlar için kullanılacağı aşikardır [4].



Şekil 5: Uydu Haberleşmesinin Gelişimi.

8. Uydu Haberleşmesinin Diğer Sistemlere Göre Üstünlükleri

Uydu aracılığıyla bir bilginin birçok noktaya birden dağıtılması, diğer seçenekler olan fiber kablo, bakır kablo veya telsiz istasyonlarına göre daha çok verimli bir yoldur. Noktadan noktaya veya tek noktadan çok noktaya erişimli olarak tanımlanabilen uydu hatlarının kablolu ve kablosuz diğer hatlara göre avantajlarının başlıcaları şunlardır:

- Uydu hattının uzunluğu, kablo bağlantıdaki aksine servis maliyetini etkilememektedir,
- Kablo hatlarının fiziksel olarak erişemeyecekleri yerlere uydularla servis sağlanabilmektedir,
- Kablo ile erişim maliyetinin sınırlayıcı olduğu durumlarda uydular devreye girebilmektedir,
- Gemi, uçak gibi araçlara uydu mobil terminalleriyle diğer kullanıcıların sahip olduğu seviyede servis verilebilmektedir,
- Uydular her bir transponderde geniş kanal kapasiteleri sunabilmektedir,
- Uydu haberleşme sistemleri süratle istenilen bölgede tesis edilebilme imkânına sahip olduğundan bir muhabere sisteminde arzu edilen elastikiyet özelliğine sahiptir,
- HF sistemler hasım tarafından kolaylıkla kestirilerek yer tespiti yapılabilir. Buna karşılık uydu terminali uzay kesimi ile irtibatı bir ince hüzmeye üzerinden sağladığı için kestirilmesi ve dolayısıyla istasyon yer tespiti çok zordur. X band sistemlerde emniyeti daha da arttırmaktadır. Dolayısıyla uydu bir muhabere sisteminde aranan emniyet özelliği yönünden üstündür,
- HF sistemler muhabere ortam kirliliğinden azami etkilenir ve dolayısıyla muhabere güçtür. Uydu muhaberesi temiz bir gönderme ortamına sahip olduğundan muhabere sistemlerinde aranan güvenilirlik açısından üstündür,
- Bugün HF teknolojisi alçak sürat veri ve durağan görüntü muhaberesine imkân sağlamaktadır. Buna karşın uydu sistemi yüksek sürat veri ve hareketli görüntü imkânına sahiptir. İlave olarak, uydu terminalleri işletmede asgari operatör müdahalesine ihtiyaç gösterir, kullanımı kolaydır,
- Her iki sistem karıştırmaya karşı hassas olmakla birlikte bu zafiyetlerini gidermek üzere yürütülen çalışmalarda uydu sistemleri kullandıkları teknikler ile frekans atlama özelliği uygulanan HF sistemlerine nazaran öndedir [2].

9. Sonuçlar

Uzayın, ülkelerin ve insanların çeşitli sahalardaki hizmetlerden istifade ettiği kritik bir çalışma alanı haline geldiğini söylemek yanlış olmayacaktır. Bu durumun farkında olan ülkeler, uzayın sunmuş olduğu imkânlardan en üst düzeyde yararlanmak için çalışmaktadır. Bunun için Gelişmiş veya gelişmekte olan ülkeler tarafından çeşitli ulusal ve uluslararası yapılanmalar kurmak sureti ile güçlerini birleştirmekte ve ortak çalışmalar yapılmaktadır.

Uydu Haberleşme Sistemleri ortalama %99,5’lük yıllık aktif çalışma oranıyla artık hayatımızın bir parçası olmuştur. Artan iletişim trafiği, gün geçtikçe daha fazla kanal kapasiteli ve

daha hızlı haberleşme sistemlerinin kurulmasına neden olmaktadır[4].

10. Teşekkür

“Uydu Haberleşmesi, Gelişimi ve Üstünlükleri” konulu akademik çalışmanın hazırlanması esnasında vermiş olduğu destekten dolayı Ahmet BULUT’a teşekkür ederiz.

11. Kaynakça

- [1] Aksoy, E. ve Bal, M., "Savunma Sistemleri Tanıtımı", *Muhabere, Elektronik ve Bilgi Sistemleri*, MEBS Savunma Sanayi, sf. 1-8, Ankara, 2009.
- [2] Aydın, Ö., "Uydu Haberleşme Sistemleri ve Savunmada Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, Temmuz 2006.
- [3] www.anlambilim.net/yapay-uydu-nedir-120464.htm
- [4] www.qsl.net/ta1kb/aselsan/uyduhabsistemi.htm
- [5] Maini, A.K., Agrawal, V., "Satellite Technologies: Principles and Applications", John Wiley and Sons.
- [6] Montenbruck, O., Gill, E., "Satellite Orbits, Models, Methods, Applications", Springer, 3rd Printing 2005
- [7] www.uyduhaberlesme.com
- [8] TÜRKSAT ve Gelisen Türkiye Üzerindeki Önemi, s.15. "Sistems", (Çevrimiçi), 12 Kasım 2001.
- [9] <http://www.satcom.com/htm>
- [10] tr.wikipedia.org/wiki/Haberleşme_uydusu
- [11] Selek, Y.K., "Dünyaya Göre Eş Zamanlı Hareket Eden İki Haberleşme Uydu Sisteminin Transponder Kanalının Girişim Etkinliklerinin İncelenmesi", Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sf 8, Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2004.

ABC Algoritması ile Tasarlanan FIR Süzgeçlerle Mitral Kapak Doppler İşaretindeki Gürültü Giderimi

Serdar Koçkanat¹Nurhan Karaboğa²Türker Koza³¹Sivas Meslek Yüksekokulu, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri³Yozgat Meslek Yüksekokulu, Bozok Üniversitesi, Yozgat¹e-posta: skockanat@cumhuriyet.edu.tr²e-posta: nurhan_k@erciyes.edu.tr ³e-posta: turker.koza@bozok.edu.tr

Özetçe

İnsan vücudu üzerinden alınan diğer birçok biyomedikal işaret gibi Mitral kapak Doppler işareti de hem elektronik sistemlerden hem de insan vücudunun yapısından kaynaklanan bozucu işaretlere sahiptir. Bu çalışmada, insan kalbinin sahip olduğu önemli kapakçılardan biri olan mitral kapak üzerinden elde edilen doppler işaretlerindeki gürültünün giderilmesi amacıyla sonlu darbe cevaplı (FIR-Finite Impulse Response) sayısal süzgeçler kullanılmıştır. Sayısal süzgeçleri tasarlamak için son zamanlarda geliştirilen basit ve etkin bir yapıya sahip olan sürü zekâsına dayalı Yapay Arı Koloni (ABC-Artificial Bee Colony) algoritması kullanılarak algoritmanın gürültü giderimi ve süzgeç tasarlama problemlerindeki etkinliği de gösterilmiştir.

1. Giriş

Kalp, üzerinde en çok çalışma yapılan organlardan biri olmasına rağmen kalp hastalıkları hala en önemli ölüm nedenlerinden biri olmayı sürdürmektedir. Kalbin sol kulakçık ve sol karıncığı arasında bulunan mitral kapak ise kalp kapakları içerisinde en fazla hasar gören kapaklardan biridir. Mitral kapak üzerinden alınacak işaretler, enstrumantasyon sistemleri ile işlenmesine rağmen istenilen seviyede gürültü giderimi yapılamamakta ve dolayısıyla işaret işleme açısından da zorluklar oluşturmaktadır. Doppler ultrasound sistemleri ile ele alınan mitral kapak işaretlerinde kan akışını temsil eden frekans ve çözünürlük bilgisi, Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD) ile işlenmektedir. Bu işlem esnasında işarete karışan gürültü, işareten elde edilen atımlılık ve dirençsel indis gibi değerlerini de değiştirmektedir. Bu nedenle daha kesin tanı ve net değerler için gürültü giderme işlemi oldukça önemli bir konu olarak ele alınmaktadır [1, 2, 3].

Herhangi bir işaret üzerinde var olan gürültüyü giderme işlemi için FIR veya sonsuz darbe cevaplı (IIR-Infinite Impulse Response) sayısal süzgeçler kullanılabilir. FIR süzgeçlerin cevapları giriş işaretinin sadece o andaki ve geçmişteki değerlerine bağlıdır. IIR süzgeçler aynı dereceden FIR süzgeçlere göre daha iyi performans gösterirken çok modlu hata yüzeyine sahip olmaları ve geri beslemeli yapılarından kaynaklanan kararsız olma durumları bu süzgeçler için tasarım aşamasında dezavantaj olabilmektedir [4, 5]. Sayısal süzgeçlerin tasarlanması aşamasında, hata yüzeylerinde küresel minimumların bulunması önemli olmaktadır. Bu hata yüzeyleri üzerinde küresel minimumlar

aranırken klasik optimizasyon metotları kullanılabileceği gibi son zamanlarda oldukça yaygın olarak kullanılan sezgisel optimizasyon metotları da kullanılabilmektedir [6].

Bu çalışmada, son birkaç yıldır birçok bilim alanında başarıyla kullanılan sürü zekâsına dayanan, basit ve etkin bir algoritma olan Yapay Arı Kolonisi Algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma ile 3. ve 6. dereceden FIR süzgeçler tasarlanarak bu süzgeçlerle, mitral kapak üzerinden elde edilen doppler işaretlerindeki gürültünün giderilmesi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar IIR süzgeçler için elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

2. Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Yapay arı kolonisi algoritması, ilk defa Karaboğa ve Baştürk tarafından geliştirilen sürü zekâsına dayanan popülasyon tabanlı ve farklı optimizasyon problemleri için uygulanabilen sezgisel bir yaklaşımdır [7, 8]. Yapay arı kolonisi algoritmasında bir koloni ve bu koloni içinde de üç grup arı bulunmaktadır. Bu arılar: işçi, gözcü ve kaşif (scout) arılardır. Bu modelde koloninin yarısı işçi diğer yarısı ise gözcü arı olarak seçilmektedir. Her bir nektar kaynağı için sadece bir işçi arı bulunmaktadır. Yani işçi arıların sayısı nektar kaynağı sayısına eşittir. Her bir çevrim üç adımdan oluşmaktadır: işçi ve gözcü arıların kaynaklara gönderilmesi, gidilen kaynakların nektar miktarlarının hesaplanması, kaşif arının belirlenerek yeni bir kaynağa rasgele konumlanması. Yiyecek kaynakları optimize edilmeye çalışılan problemin olası çözümlerine karşılık gelmektedir. Bir kaynağa ait nektar miktarı, o kaynakla ifade edilen çözümün kalite değerini ifade etmektedir. Gözcü arılar rulet tekerleği prensibine göre gidecekleri kaynakları belirlemektedirler [9]. Her kolonide rasgele araştırma yapan kaşif arılar bulunmaktadır. Bu arılar yiyecek ararken herhangi bir ön bilgi kullanmamakta, tamamen rasgele araştırma yapmaktadırlar. Dolayısıyla arama maliyetleri düşüktür ve de buldukları kaynağın ortalama kalite değeri düşüktür. Zengin nektar kaynağına sahip keşfedilmemiş kaynakları bulmaları da olasıdır. ABC algoritmasında işçi arılardan biri seçilerek kaşif arı haline gelmektedir. Bu seçme işlemi “limit” parametresine göre yapılmaktadır. Bir kaynağı ifade eden çözüm belli sayıda deneme ile geliştirilememişse bu kaynak terk edilir ve bu kaynağa gidip gelen işçi arı kaşif arı haline gelir. Kaynağın terk edilmesi için belirlenmiş deneme sayısı “limit” parametresi ile belirlenmektedir. Gürbüz bir arama sürecinde keşif ve keşfedilenden faydalanma aynı anda gerçekleşmelidir.

ABC algoritmasında gözcü ve işçi arılar keşfedilen kaynaklardan faydalanma işleminde, kaşif arılar ise keşif sürecinde görev alırlar. Gerçek arılarda taşıma hızı koloninin bir kaynağı bulması ve onu kovana getirmesi ile belirlenirken, yapay arılar durumunda bulunan çözümün kalite değeri yani uygunluğu ile belirlenir.

Diğer sosyal yiyecek arayıcıları gibi, arılar birim zamanda yuvaya getirilen yiyecek miktarını belirten enerji fonksiyonunu maksimize etmek için çalışırlar. Bir maksimizasyon probleminde de amaç fonksiyonunun $F(\theta_i)$, $\theta_i \in R_p$, maksimize edilmesi işlemi gerçekleşir. θ_i , i. kaynağın pozisyonu olmak üzere $F(\theta_i)$ bu nektar miktarına karşılık gelir ve $E(\theta_i)$ ile orantılıdır. C çevrim sayısı, S kovan etrafındaki yiyecek kaynağı sayısı olmak üzere $P(c) = \{\theta_i(c) | i = 1, 2, \dots, S\}$ tüm kaynakların pozisyon bilgilerini içeren nektar kaynağı popülasyonudur. Daha önce belirtildiği gibi gözcü arıların bir kaynağı seçmeleri $F(\theta)$ değerine bağlıdır. Nektar miktarına bağlı olarak kaynağın gözcü arı tarafından seçilme olasılığı o kadar fazla olmaktadır. θ_i pozisyonundaki bir kaynağın seçilme olasılığı,

$$p_i = \frac{F(\theta_i)}{\sum_{k=1}^S F(\theta_k)} \quad (1)$$

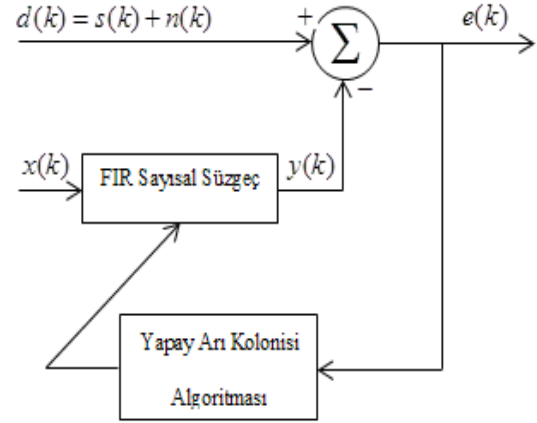
eşitliği ile belirlenmektedir. İşçi arıların dansını izleyen gözcü arı, (1) eşitliğindeki olasılık değeri ile θ_i konumundaki kaynağı seçtikten sonra, bu kaynağın komşuluğunda yeni bir kaynak belirler ve kaynağın nektarını almaya başlar. Yani θ_i civarındaki kaynaklar arasında bir kıyaslama yapar. Seçilen komşuya ait pozisyon bilgisi,

$$\theta_i(c+1) = \theta_i(c) \pm \phi_i(c) \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. $\phi_i(c)$; θ_i civarında daha fazla nektara sahip kaynağı bulmak için kullanılan, rasgele üretilen adım büyüklüğünü temsil etmektedir. $\phi_i(c)$, k i' den farklı rasgele üretilen popülasyondaki bir çözüme ait indis olmak üzere $\theta_i(c)$ ve $\theta_k(c)$ çözümlerinin bazı bölümlerinin farkının alınması ile hesaplanır. $\theta_i(c+1)$ 'e ait nektar miktarı $F(\theta_i(c+1))$, $\theta_i(c)$ konumundaki kaynağa ait nektar miktarından daha fazla ise arı kovana giderek bu bilgisini diğerleri ile paylaşır ve yeni pozisyon olarak $\theta_i(c+1)$ 'i hafızasında tutar, aksi durumda $\theta_i(c)$ 'yi hafızasında saklamaya devam eder. θ_i konumundaki nektar kaynağı "limit" parametresi sayısınca gelişmemiş ise θ_i 'deki kaynak terk edilir ve o kaynağın arısı kaşif arı haline gelerek rasgele araştırma yapar ve yeni bulduğu kaynak θ_i 'ye atanır.

3. Gürültü Giderme Problemi

Gürültü giderme işlemi literatürde çok karşılaşılan ve üzerinde en çok çalışılan konulardan biridir ve hala da güncelliğini korumaktadır. Bu çalışmada, gürültü giderme problemi için Şekil 1'de gösterilen blok yapının uygulaması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1: Gürültü Giderimi Şeması

Şekil 1'de toplayıcının girişindeki arzu edilen işaret olarak bilinen $d(k)$, $s(k)$ orijinal bilgi işareti ile $n(k)$ gürültü işaretinin toplamından oluşmuştur. Sayısal süzgeç girişindeki $x(k)$, $n(k)$ ile ilişkilidir ve gürültü işaretidir. $y(k)$, sayısal süzgeç çıkışını ve Eşitlik 3'de gösterildiği gibi $e(k)$ 'da, $d(k)$ ile $y(k)$ 'nın farkı olan hata işaretini temsil etmektedir.

$$e(k) = d(k) - y(k) \quad (3)$$

FIR süzgeç tasarımı, 4 eşitliği ile verilmiş olan ortalama karesel hatanın minimize edilmesi amaçlanmaktadır [10].

$$J = E[e(k)^2] \quad (4)$$

E , istatistiksel beklenen değer operatörüdür. Sayısal süzgecin katsayıları optimal değerine yaklaştıkça, hata fonksiyonunun gücü sıfıra doğru yansıyacaktır.

Bu çalışmada kullanılan FIR sayısal süzgeçlere ait transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$H(z) = \sum_{n=0}^N a_n z^{-n} \quad (5)$$

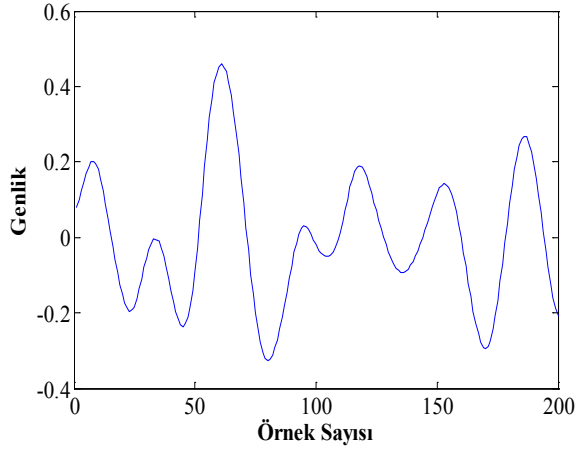
Eşitlikte, süzgecin katsayıları a_n ve derecesi de N ile temsil edilmektedir.

4. ABC ile Gürültü Giderimi Uygulaması

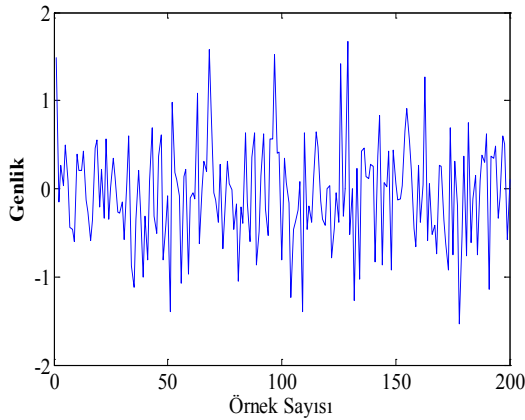
Bu çalışmada 44.1 kHz frekansında örneklenen Mitral kapak doppler işaretine eklenen 4 dB'lik toplanır beyaz Gauss gürültüsünün giderilmesine ait uygulama, ABC algoritması ile tasarlanan 3. ve 6. dereceden FIR süzgeçler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında ise elde edilen sonuçlar, Karaboğa N., Koçkanat S., Koza T. tarafından gerçekleştirilen 3. ve 6. derece IIR süzgeçler ile ortalama karesel hata ve standart sapma açısından elde edilen sonuçlarla

karşılaştırılmıştır. Gürültü giderimi işleminde kaydedilen Doppler işaretinin 200 örneği temel alınmıştır.

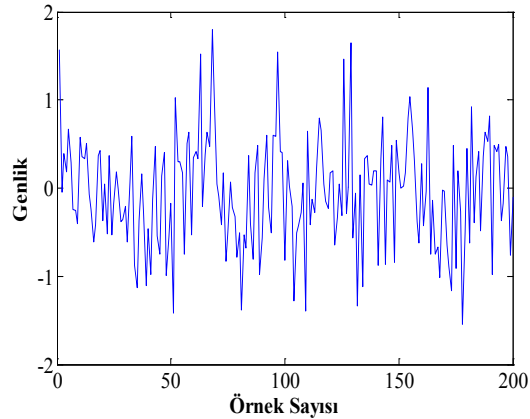
Şekil 2.a, 2.b ve 2.c'de sırasıyla Mitral Kapak Doppler işaretine ait 200 örnek, 4 dB'lık gürültü işareti ve hem işareti hem de gürültüyü barındıran gürültülü Mitral Kapak Doppler işareti gösterilmektedir.



Şekil 2.a: Mitral Kapakçık İşareti Örneği



Şekil 2.b: 4 dB'lık Gürültü İşareti



Şekil 2.c: Gürültülü Mitral Kapak Doppler İşareti

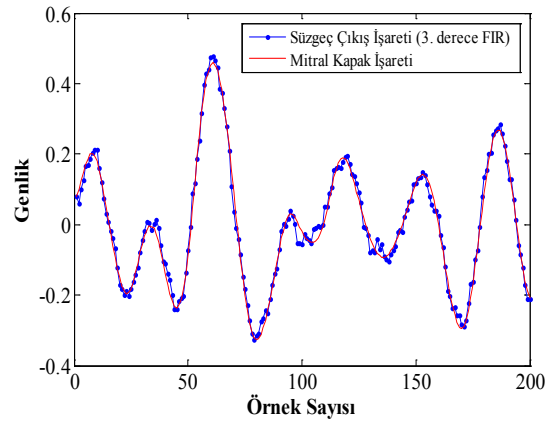
Tablo 1'de 3. ve 6. derece FIR ve IIR süzgeç tasarımı için kullanılan ABC algoritmasının kontrol parametreleri gösterilmektedir. Tablo 1'de seçilen kontrol parametreleri

literatürde Yapay Arı Kolonisi algoritması için yapılan çalışmalara göre seçilmiştir [12].

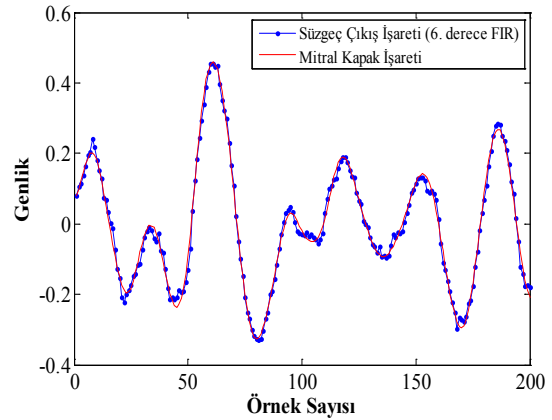
Tablo 1: Yapay Arı Kolonisi Algoritması için kontrol parametreleri

	FIR		IIR[11]	
	3. derece	6. derece	3. derece	6. derece
Koloni Sayısı	40	40	40	40
Limit	80	140	140	260
Çevrim Sayısı	500	500	500	500

Tasarlanan sayısal süzgeçler için kullanılan ABC algoritması her seferde 30 sefer koşturularak elde edilen sonuçlar verilmiştir. Süzgeçler için parametre sınırları $[-1,1]$ aralığında alınmıştır. Şekil 3.a ve 3.b sırasıyla 3. ve 6. derece FIR ile süzgeçlenen mitral kapakçık işaretini göstermektedir.



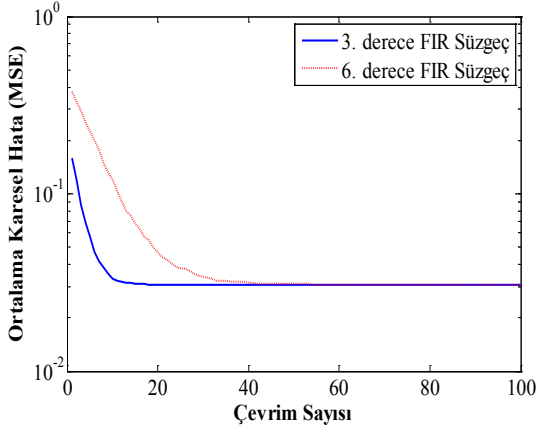
Şekil 3.a: 3. derece FIR süzgeç çıkışı



Şekil 3.b: 6. derece FIR süzgeç çıkışı

Şekil 3.a ve 3.b de sırasıyla 3. ve 6. derece FIR süzgeçlerin çıkışlarında elde edilen işaretlerle Mitral Kapak işaretleri karşılaştırılmaktadır. Şekillere bakıldığında her iki süzgecin de gürültü gideriminde başarılı olduğunu ancak 6. derece FIR süzgecin diğer süzgece göre daha kaliteli bir çıkış işareti elde ettiğini görebiliriz.

Şekil 4’de tasarlanan 3. ve 6. derece FIR süzgeçlere ait çevrim sayısına göre hata fonksiyonunun performansı gösterilmektedir. Şekil 4’de göre 3. derece süzgecin hata yakınsama hızının 6. derece süzgece göre daha hızlı olduğu görülmektedir. Böylece yakınsama hızının süzgeç derecesi ile değiştiği ve süzgeç derecesinin azalmasıyla problemin kolaylaştığı söylenebilir.



Şekil 4: FIR süzgeçlerin hata fonksiyonlarının karşılaştırılması

Tablo 2’de ABC algoritması kullanıldığında elde edilen 3. ve 6. derece FIR süzgeçlerin katsayıları verilmektedir. Tablo 3’ de tasarlanan FIR süzgeçlerin ortalama karesel hata ve standart sapma değerleri, IIR süzgeçler için elde edilen değerlerle karşılaştırılmalı olarak verilmektedir. Bu tabloya bakıldığında hem FIR hem de IIR süzgeçlerin MSE değerlerinin birbirlerine yakın olmakla birlikte 6. derece süzgecin standart sapması daha küçüktür. Bu durum ise standart sapmaya bağlı olarak yüksek dereceli süzgeçlerin daha kaliteli çıkışlar verdiğini gösterir.

Tablo 2: 3. ve 6. derece FIR süzgeç katsayıları

3. derece FIR	6. derece FIR
b	b
1.0000	1.0000
0.0269	0.0096
0.0186	0.0007
0.0127	-0.0031
	-0.0081
	-0.0141
	-0.0188

Tablo 3: Süzgeçleri için elde edilen Ortalama Kareysel Hata ve Standart Sapma

Süzgeç Türü	Süzgeç Derecesi	Ortalama Kareysel Hata	Standart Sapma
FIR	3. derece	0.0305133	0.000155276
	6. derece	0.0307509	2.48367e-005
IIR[11]	3. derece	0.0303741	0.000210899
	6. derece	0.030987	5.38757e-005

5. Sonuç

Bu çalışmada ABC algoritmasının gürültü giderimi ve süzgeç tasarlama problemlerindeki etkinliği incelenmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde, ABC algoritması ile tasarlanan 3. ve 6. derece FIR sayısal süzgeçlerle Mitral Kapak Doppler işareti üzerine eklenen 4 dB’lik gürültü giderimi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın diğer bölümünde ise 3. ve 6. derece IIR süzgeçlerle gürültü giderimi için ortalama karesel hata ve standart sapma açısından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Buna göre aynı dereceden IIR süzgeç FIR süzgece göre gürültü gidermede daha iyi sonuçlar vermiştir. Bundan sonraki çalışmalarda, süzgeçlere adaptif bir yapı kazandırılması ve farklı sezgisel optimizasyon tekniklerinin karşılaştırmalı kullanılması amaçlanmaktadır.

6. Kaynakça

- [1] Nanda, N. C., Doppler Echocardiography (2nd. Ed.), London, 1993.
- [2] Swanton, R., Swantons Cardiology: A Concise Guide to Clinical Practice, Blackwell Publishing, Vol. 7, 1993.
- [3] Uzunhisarcıklı, E., Latifoğlu, F., Koza, T., “Designation of Mitral Valve Regurgitation Using Artificial Neural Network”, International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, 2010, p.1-5.
- [4] Oppenheim, A., Willsky, A., Sinyaller ve Sistemler, Akademi Yayıncılık, 2008.
- [5] Ertürk, S., Sayısal İşaret İşleme, Birsan Yayınevi, 2011.
- [6] Sarangi, A., Mahapatra, R. K., Panigrahi, S. P., “DEPSO and PSO-QI in digital filter design”, Expert Systems with Applications, Vol. 38, p. 10966-10973, September 2011.
- [7] Karaboga, D., “An idea based on honey bee swarm for numerical optimization”, Technical Report-TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, 2005.
- [8] Karaboga, D., “Artificial Bee Colony Algorithm”, Scholarpedia: “www.scholarpedia.org/article/Artificial_bee_colony_algorithm”, 2010.
- [9] Goldberg, D. E., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley Pub. Co., 1989.
- [10] Haykin, S., Adaptive Filter Theory, Prentice Hall, USA, 2002.
- [11] Karaboğa, N., Koçkanat, S., Koza, T., “Noise Cancellation on Mitral Valve Doppler Signal Using IIR Filters Designed with Artificial Bee Colony Algorithm”, European Biotechnology Congress 2011, “Accepted Paper”, 2011.
- [12] Karaboga, D., Basturk, B., “On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm,” Appl. Soft Comput., Vol. 8 (3), p. 687–697, 2008.

Kablolu –Kablosuz Yerel Alan Ağlarında Gerçek Zamanlı Uygulamalar İçin UDP Benzetimi

Onur Gök¹

H.Engin Demiray²

^{1,2} Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli

¹e-posta: ogok@kocaeli.edu.tr

² e-posta: hedemiray@kocaeli.edu.tr

Özetçe

İnternet tabanlı gerçek zamanlı uygulamalar için genellikle, Kullanıcı Veri iletim protokolü (UDP) ulaşım katmanı protokolü olarak kullanılır. İletim katmanının protokolleri olan iletim kontrol protokolü (TCP) veya UDP’de alıcıyı gönderilen paketlerin kayıp oranı, kablosuz yerel alan uygulamalarında önemli bir sorundur. UDP’de sorunu çözmek için önerilmiş olan uygulama katmanında ileri hata düzeltme yöntemleri bulunur. TCP için de yine bağlantı bölümlene yöntemleri, akış kontrol, geriye dönük hata düzeltme yöntemleri kullanılarak paket kaybı yok edilmiş ve bekleme süreleri azaltılır. Önerilen ağ tasarımı, gerçek zamanlı uygulamalar için çok yaygın olarak kullanılan UDP protokolünün , kablosuz ağlardaki paket kayıpları ve bozulması durumunda geriye doğru hata düzeltme yapılması öngörülmüştür. Geleneksel UDP içinde kayıp olan paketlerin tekrar istenmesi , protokol dizaynı nedeniyle mümkün olamamaktadır. Bu nedenle , protokolün işleyişi ve paket başlığına eklenen bilgilerle UDP protokolünün kablosuz TCP metotlarından bağlantı bölme benzetimi sağlanarak güvenilirliği sağlanmaya çalışılmış ve zamanda paket bekleme süresi azaltılması amaçlanmıştır. UDP için paket iletimi ortamı kablolu ve kablosuz olarak ikiye ayrılmış, kablolu tarafta geleneksel UDP çalışmış, kablosuz tarafta geriye dönük hata düzeltme yöntemi ile paket kayıp oranı düşürülmeye çalışılmıştır. Protokol tasarlanırken, Paket kayıp oranının düşürülmesi yanında gerçek zamanlı uygulamalar için kullanılması dikkate alınarak bekleme süresi de geleneksel UDP ile yakın değerlerde olması göz önünde bulundurulmuştur.

1. Giriş

IEEE 802.11 WLAN protokol kümesi video konferans veya ses gibi gerçek zamanlı konuşma multimedya uygulamalarını destekleyen geniş bant kablosuz erişim için geçerli olan bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır [1] .

Daha önce de analitik [2] ve deneysel çalışmalar göstermiştir ki, yoğun çerçeve iletimi olduğunda [3] maksimum kanal verimliliği sadece% 50-60 gibi değerlerde olabilmektedir. . Ayrıca, istasyonların kablosuz erişim noktalarına (AP) olan mesafa arttıkça bu oran daha da düşmektedir. . Genellikle kablosuz kanal için bit hata oranı kablolu kanala göre daha yüksektir ve daha az bant genişliği vardır[4]. Kablolu ağlar için özel olarak tasarlanmış bir protokol ile kablosuz bağlantı yapmak bu anlamda zordur.

TCP, güvenilir, bağlantı yönelimli, çift yönlü, byte katarlı, ulaşım katmanı protokolüdür [5]. Uç kullanıcıların uygulamaları için uçtan uca akış ve tıkanıklık kontrol sağlayan

bir protokoldür [6]. İnternet trafiğinin büyük bir kısmı TCP oluşturur [7]. TCP, kablolu ağlar için tasarlanmıştır, TCP kablolu ağlarda çok verimli çalışırken, kablosuz ağlarda iyi performans verememiştir [8]. Kablosuz ağlardaki TCP uygulamalarındaki performans problemlerinin ana kaynağı, iletim hatalarıdır[9]. Paketlerdeki bazı hatalar , alt katmanlardaki ileri hata düzeltme kodları(FEC) tarafından düzeltilirken, daha fazla hata paketlerin bozulması olarak kabul edilir. Bozulan paketler TCP’nin eline geçmeden atılır. TCP, paket kayıplarını ağ tıkanıklığı olarak kabul ettiği için, tıkanıklık penceresini azaltarak tepki verir. Bu durumda, kablosuz iletim hataları, ağ tıkanıklığı ile ilişkilendirilir, böylece uygunsuz olarak tıkanıklık penceresinin küçülmesi, TCP uygulamaları için gereksiz kayba neden olur [9].

Çoğu İnternet tabanlı gerçek zamanlı multimedya hizmetleri, ulaşım protokol [5] olarak kullanıcı datagram protokolü (UDP) istihdam etmektedir. İletim kontrol protokolü (TCP) ile karşılaştırıldığında [6], UDP gecikme duyarlı uygulamalar için daha cazip bir seçimdir. Bir UDP paket, bir başlık ve yükten oluşmaktadır. UDP, paketlerin bütünlüğünü doğrulamak için bir dögüsel artıklık denetimi (CRC) kullanır, bu nedenle, paket başlığı veya yükte herhangi bir hata tespiti yapılabilir. Bir hata tespit edilirse, paket uygulama katmanına iletilmeden atılır. Kablosuz ağlar üzerinden multimedya akışında öngörülemez paket bozulması ve zayıf video / ses kalitesi olduğunda UDP, herhangi bir hata kurtarma yapmaz.

Çoğu ses ve video uygulamalarında, iletim katmanına hatalı olarak ulaşan bir paketin atılması yerine uygulamaya gönderilmesi tercih edilir. Bunun nedeni, çoğu zaman hataların bit hatasından kaynaklanması ve bu hatalarında uygulamanın kullanacağı bir hata düzeltme mekanizması ile giderilebilmesidir. Kablosuz ağlarda paket hataların çoğu ortam ve kanal hatalarından kaynaklanan tek bit hatalarıdır. Yapılan araştırmalara göre, sağlama bilgisi hataları nedeniyle, alıcı tarafındaki iletim katmanında paketlerin yaklaşık olarak %85’i atılır.[10] Hatalı paketlerin uygulama katmanına iletilmesinin bir yolu, UDP’ de bütünlük kontrolünün kullanılmamasıdır. Bu durumda ise uygulamaya özel başlıkların doğrulanmadan geçirilmesi gibi önemli bir problemle karşılaşılabilir.[10][11] .

Kablosuz UDP’de yapılan çalışmalar , ileri doğru hata düzeltme çalışmalarıdır. Hatalı ulaşan paketler uygulama katmanına hatalı olmalarına rağmen , üst katmandaki uygulama ile düzeltimi yapılmaya çalışılmaktadır. UDP-Lite[11], UDP-Lite[12], C-UDP protokol çalışmaları, gelen paketlerdeki hata , alt katmanlarda gözardı edilerek, uygulama katmanına iletilir, uygulama katmanında hata düzeltme algoritmaları yardımı ile hata düzeltilmeye çalışılır.

UDP-Lite, sağlama bilgisi kontrolünü parçalı olarak yapabilmeye imkanı vermektedir. Bu sayede UDP'ye göre daha esnek ve verimlidir. UDP-Lite protokolünde amaçlanan, UDP kullanan gerçek zamanlı uygulamalardaki çoğu tek bit hatalı paketleri, uygulama katmanına taşıyabilmektir. Bu protokolden paketler, hassas ve hassas olmayan kısımlar olarak iki kısımda değerlendirilir. UDP-Lite geleneksel UDP ile aynı başlık yapısını kullanır. Aralarındaki tek fark UDP'de yer alan "UDP Length" alanı yerine "Coverage" yer almaktadır. Bu alan, paketteki hataya karşı hassas olacak verinin kaç byte olduğunu belirtir.[10] Kısmi bütünlük kontrolü, paketin hassas olan bölümünde yapılır. Eğer bu kısımda bir hata varsa paket yok edilir. Hassas olmayan kısımda oluşacak hatanın kontrolü yapılmaz ve bu sayede veri hatalı olsa bile uygulama katmanına geçebilir. Kullanılan kodlama algoritmalarının çoğu bu hataları düzeltebilmektedir. Veri kısmında oluşan bit hatası kodlama algoritmalarında düzeltilemezse uygulamaya bağlı olarak ses veya görüntüde sorun oluşturmayacak küçük kesintiler yaşanabilir. UDP ile UDP-Lite başlık yapılarında çok fazla fark olmamasına rağmen UDP-Lite, geleneksel UDP kullanan uygulamaları desteklememektedir.

UDPLite'in performansını artırmak için farklı protokoller önerilmiştir.[11] UDPLite olarak adlandırılan protokolün amacı, UDPLite ile artırılan verimin daha da iyileştirilmesi ve geleneksel UDP ile tam uyumlu olmasıdır.[11] UDPLite protokol önerisinde, UDP başlığında herhangi bir değişiklik yapılmamaktadır ve daha da önemlisi UDP'deki bütünlük kontrol sınavı devam etmektedir. UDP ile tek farkı bütünlük sınavında hatalı olarak tespit edilen paketi atmamak yerine uygulama katmanına "hatalı paket" bilgisi ile göndermektir. Bu sayede uygulama katmanında çalışacak olan uygulama hatalı ve hatasız veriler için farklı algoritmaları çalıştırarak performansı ve kaliteyi artırabilir. UDPLite'in kullanılabilmesi için UDP paket yapısında bir değişiklik yapılmamış, ancak BSD Soket API'lerinde eklentiler yapılmıştır. Örnek olarak socket() fonksiyonunda SOCK_DGRAM_LITE adıyla yeni bir soket tipi eklenmiştir. Buna ek olarak, recvfrom() fonksiyonuna benzer recvfrom_lite fonksiyonu eklenmiştir. Bu fonksiyon sayesinde ek bir parametre ile uygulama katmanına gönderilen verinin hatalı veya hatasız olduğu bildirimi yapılabilir. [11]

C-UDP protokolünde, hata düzeltme ve kontrol işlemleri uygulama katmanına bırakılmıştır. Mac katmanında herhangi bir hata kontrolü yapılmamaktadır. Bunun yerine hata kontrolünü ve düzeltme işlemlerini uygulama katmanında hata düzeltme algoritmaları ve yazılımlara yapmaya çalışır.

Kablolu-kablosuz hibrit ağlarda TCP performansını artırma araştırmalarını 4 grupta toplayabiliriz: Bölümlü Bağlantı, Proxy-tabanlı, Veri bağı katmanı hata kontrol ve uçtan uca [12].

Bölümlü bağlantı yaklaşımında, ana istasyonda bağlantı, kablolu ile kablosuz arasında bölünür [13]. Kablosuz ağ ile güvenilir bağlantı kurulur. Bağlantının kablolu bölümü, kablosuz ağın kaptırısından korunmuş olunur. Bu yaklaşımın iki dezavantajı vardır: Uçtan uca TCP tanımına uymuyor ve ana istasyonda durumun normal sürdüğünü bildiren bir başlık ekleniyor.

Proxy tabanlı yaklaşımda, örneğin Snoop, ana istasyonda bulunan Proxy ile tek bir bağlantı kurulur. Proxy, kablosuz bağlantıyı denetler ve lokal iletimdeki kablosuz kayıpları düzeltmeye çalışır.

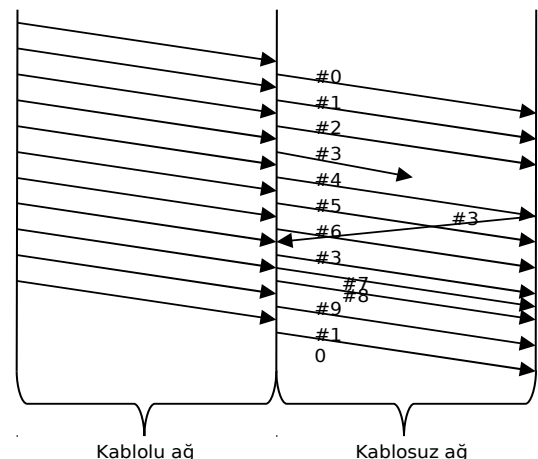
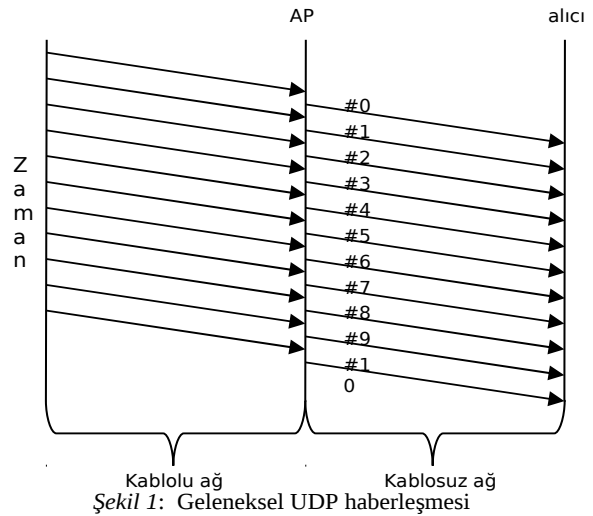
Veri bağı katmanı hata kontrol yaklaşımı, ileri hata düzeltme(FEC) ve otomatik tekrar cevabı (ARQ) kullanarak, kablosuz kayıpları azaltmaya çalışır.

Kablolu-kablosuz hibrit ağlarda, TCP performansını artırma yöntemleri iki sınıfa ayrılabilir. İlk yaklaşımda, rast gele kablosuz kayıpları tıkanıklık kayıplarından ayırt etmeye çalışılır ve farklı katmanlardaki değişikliklerle TCP kendi için düzenler. İkinci yaklaşımda, sınır bağlantı kapasitesi hesaplanır ve gönderim oranına göre ayarlanır.

Önerilen çalışmada kablosuz ağlarda TCP için önerilen Proxy tabanlı yaklaşım UDP için benzetimi yapılmıştır. UDP'nin kablolu taraftaki geleneksel iletimine devam edilmiş olup, kablosuz tarafta geriye dönük hata kontrolü yapılarak AP üzerinde tamponlama yapılarak hata düzeltme işlemi yapılmıştır. Gerçek zaman uygulamaları için kullanılan UDP protokolü için gecikme için de tüm kayıp paketlerin düzeltilmesi yerine belli bir bekleme süresi içerisinde gelen paketler için tekrar iletim modeli uygulanmıştır.

2. Uygulama

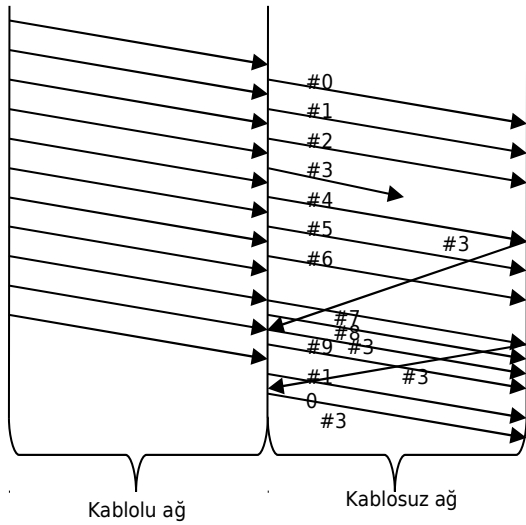
Kablolu-kablosuz ağlarda gerçek zamanlı uygulamalar için kullanılan UDP için kanal AP'ten itibaren kablolu ve kablosuz olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Kablolu tarafta geleneksel UDP'ye herhangi bir eklenti yapılmamış olup, kablosuz tarafta gönderici için (Erişim noktası (AP) ve istasyon) hatalı iletim veya paketin ulaşmaması durumunda tekrar gönderim için bir tamponlama yapılmıştır. Tamponda iletilen paketler belli bir periyoda bekletilerek seçmeli gönderim yapılması amaçlanmıştır. Seçmeli gönderim kontrolü için geriye dönük tekrar iletim mesajları ve sanal bir pencere boyutu kullanılmıştır



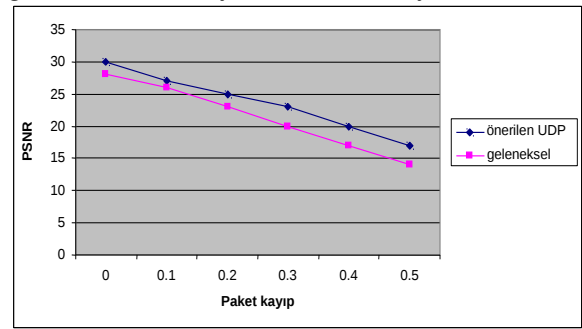
Uygulamanın testi için NS-2 ve evalvid kullanılarak tepe sinyal gürültü oranı (PSNR) değerleri ölçülüp geleneksel olarak çalışan UDP ile karşılaştırılması yapılmıştır. Belli hata oranları için ortalama değerler bulunmuştur. Uygulamada 4-8-16 şeklinden paket sayım sebebi ise testte geleneksel gönderilen paketler için UDP ile aynı zaman sonucunda iletimin sona ermesidir.

Testler için uygulanacak video <http://trace.eas.asu.edu/yuv/index.html> adresinden indirilmiştir.

Test I uygulama: Benzetimi yapmak için 1 adet kablosuz haberleşme yapmayan video sunucusu, 1 kablosuz erişim noktası, 1 adet kablosuz video alıcı yerleştirilmiştir. Video sunucusu ile kablosuz erişim noktası arası erişim hızı 10 Mbps , kablosuz ağ erişim hızı yine 10 Mbps ve kablolu ağ gecikmesi 10 milisaniye olarak tasarlanmıştır.

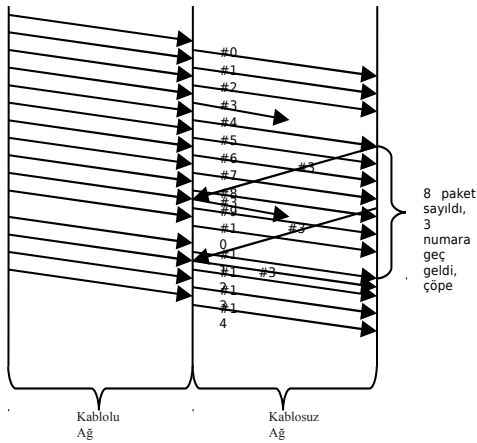


Şekil 3: Ulaşmayan paket için senaryo-2

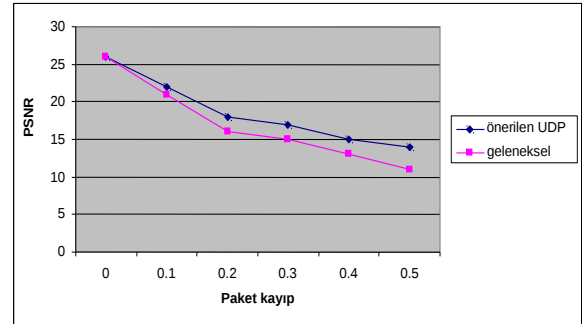


Şekil 5- Test 1 uygulama sonuçları

II. Test Uygulama: I. Test uygulamadan farklı olarak kablosuz ağa trafik amaçlı kablosuz bilgisayar eklenmiştir. Bilgisayarda 6 Mbps dosya transfer protokolü (FTP) trafiği mevcuttur.



Şekil 4: Ulaşmayan paket için senaryo 3



Şekil 6- Test 2 uygulama sonuçları

Uygulamada Ulaşmayan paketler için :

- 4: ulaşmayan paketten sonra 4 paket say, istenen paket gelmezse tekrar iste
- 8 : ulaşmayan paketten sonra 8 paket say, 8 paketi üst katmana gönder, ulaşmayan paket bu süre dışında ulaşmışsa çöpe at
- 16: tüm paketlere 0-15 arası numara ver, AP tamponu 16 paketlik

3. Sonuçlar

Test I ve Test 2 incelendiğinde önerilen çalışmanın geleneksel UDP'den daha iyi sonuçlar verdiği fakat trafik arttığında erişim noktasından(AP) kaynaklanan gecikme ile paketlerin normal gecikmeye denk düştüğü görülmektedir.

Pencere yönetiminin çerleve saydırma yerine gerçek zamanlı uygulamalar için gecikme süresi göz önünde bulundurularak zaman periyodu konulması ve paket boyutunun küçültülmesi durumları bir sonraki çalışma için değerlendirilebilir. Tamponlamanın daha etkin bir

şekilde yapılması durumunda başarımın artabileceği düşünülmektedir. Servis kalitesi sunulduğunda , AP'nin servise göre öncelikli kuyruk tanımlaması ile birlikte performansın gerçek zamanlı uygulamalar yönünde değişeceği düşünülmektedir.

4. Kaynakça

- [1] IEEE 802.11b: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Standard, 1999.
- [2] Kappes M, Garg S., Can i add a VoIP Call? ,In *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC)*, May 2003.
- [3] Garg S, Kappes M. An experimental study of throughput for UDPandVoIP traffic in IEEE 802.11b Networks. In *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, March 2003.
- [4]M. Petrovic and M. Aboelaze, "Performance of TCP/UDP under Ad Hoc IEEE802.11", presented at CoRR, 2003.
- [5].J.B. Postel, "Transmission Control Protocol," RFC 793,Eylül 1981
- [6]H.Saltzer, D.P. Reed, ve D.Clark, "End-to-end Arguments in System Design," ACM Trans. Computing Systems, Vol.2 no.4, 1984
- [7] K. Thompson, G.J. Miller ve R Wilder, "Wide-Area Internet Traffic Patterns and Characteristics" IEEE Network, Vol. 11 no. 6, Kasım 1997
- [8] K. Pentikousis, "Tcp in Wired-Cum-Wireless Environments", IEEE Communications Surveys, Fourth Quarter 2000
- [9] M. Hassan ve R. Jain, "High Performance TCP/IP Networking", Pearson Prentice Hall, 2004
- [10].L. Larzon, M. Degermark, and S. Pink, "UDP Lite for Real Time Multimedia Applications," HP Labs, Bristol, United Kingdom, Tech. Rep. HPL-IRI-1999-001, Nisan 1999.
- [11].Lam, P.P.-K., Liew, S.C., "UDP-Liter: an improved UDP protocol for real-time multimedia applications over wireless links Wireless Communication Systems. 1st International Symposium.,pp. 314-318, Aralık 2004.
- [12]S. A. Mondal, F. B. Luqman , "Improving TCP performance over wired-wireless Networks" Computer Networks, Elsevier, 2007
- [13] A. Bakre, B.R. Badrinath, " I-TCP : Indirect TCP for mobile hosts", Proceeding of The 15th International Conference on Distributed Computing Systems, Vancouver, Canada, 1995, sayfa 136-143

Morfolojik Görüntü İşleme Yöntemleri Kullanarak Geliştirilmiş Plaka Tespit Yazılımı

Yasir Gültekin¹Nursel Akçam²Funda Ergün Yardım³

1,2,3 Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara

1 yasirgultekin@gmail.com, 2 e-posta: ynursel@gazi.edu.tr, 3 e-posta: fundaergun@gazi.edu.tr,

Özetçe

Bu çalışmada giriş olarak verilen uygun bir mesafeden çekilmiş araç görüntüsünden plaka bölgesini tespit eden ve plaka bölgesini alan bir yazılım geliştirilmiştir. Önerilen yöntemde, görüntü işleme algoritmaları kullanılmıştır. Araç plakasının yerinin bulunmasında gri seviyeye dönüştürme, Histogram eşitlemesi, Eşikleme ve Smearing algoritmalarından oluşan karma bir sistem tasarlanmış ve bu algoritmalar morfolojik görüntü işleme yöntemleri ile birbirlerini tamamlayacak şekilde peş peşe entegre edilmişlerdir. Farklı uygulamalar sonucunda farklı ortamlarda önden ve arkadan çekilmiş araç resimlerinin plaka bölgelerinin bulunması ve plakaların okunmasında geliştirilen yazılımın oldukça başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

1. Giriş

Son çeyrek yüzyılda araç sayısının artması ve trafikte oluşan sorunlar, otomatik araç tanıma ve trafik akı kontrolü sistemlerine duyulan ihtiyacı arttırmıştır. Bu amaca yönelik çalışmalar temel olarak araçları özel bir noktadan geçerken tanımlamak, aracın konumunu belirlemek, tavrılarını gözlemlemek ve bu verileri kullanarak trafik denetimi sağlamaya yöneliktir.

Günümüzde trafik denetimi amaçlı, detektörleri ve radyo frekanslarını kullanan radarlar, mikrodalga detektörleri, yolun altına yerleştirilen tüpler ve halka detektörleri bulunmaktadır. Bu sistemlerde, denetimi sağlanacak yolun giriş ve çıkışlarına detektörlerin, radyo frekanslarını algılayan aygıtların yerleştirilmesi gerekir. Ancak bu donanımların kurulumu ve algılayıcıların fazlalığı bu sistemleri maliyetini artırır. Bununla beraber, bu sistemlerin iletimi de zordur. Bilgisayar tabanlı sistemler, detektör kullanan sistemlere göre çok daha etkin bir çözüm sunar. Trafik akışının gözlemleneceği noktaya bir kamera düzeneğinin kurulması yeterli olur. Bu sistemlerin kurulumu kolay, ucuz ve alınan bilgiler daha ayrıntılı olmaktadır.

Otomatik Araç Tanıma konusunda ilk gelişme optik tarayıcı sistemlerin kullanılmasıyla 1970'lerde ABD

de gerçekleştirilmiştir [1]. Daha sonraki yıllarda mikro elektronikteki gelişmeler çalışmaları yoğunlaştırmış, indüktif döngü, radyo frekansları kızılötesi ve mikrodalga sistemleri araç gözetleme ve trafik kontrolünde kullanılmıştır. Araç tanıma teknolojisinin yol ücretlendirilmesi için denemesi ilk olarak Hong Kong'da 1983- 1985 tarihleri arasında uygulanmıştır. Önce gönüllü bir araç grubu elektronik plakalarla donatılmış. Sonra bu plakalara sahip araçlar yoldan geçtiğinde araçların fotoğrafları kapalı devre TV ile alınmış ve kontrol merkezine iletilmiştir [2]. Araç Tanıma Sistemine yönelik çalışmalar özellikle Avrupa ve Japonya da devam etmektedir. 'Prometheus' denen dokuz yüz milyon dolarlık altı ülkeyi kapsayan bir proje hayata geçirilmiştir. Bu program araçları takip, elektronik ceza kesme, plaka tanıma ve araç tanımayı içermektedir. Bununla güvenliği, verimi ve konforu artırmak, ekonomik çözümleri üretmek, kirliliği azaltmak amaçlanmaktadır [3]. Japonya 'da da "Prometheus" a benzer bir program yapılmıştır. Programda yapay zekâya daha çok önem verilmiş, otomatik şoför denenmiştir. Hollanda ve Norveç'te de elektronik ücret toplamaya yönelik araç tanıma sistemleri kurulmuştur [4].

Genel olarak araç plakası tanıma işlemi;

- plaka yer tespiti
- plaka üzerindeki karakterlerin tanınması

olmak üzere iki temel adımda gerçekleştirilir. Bu çalışma birinci adımı kapsamaktadır. Yapılan çalışma araç görüntülerinden aracın plakasının yerinin bulunmasını ve bu görüntüyü gürültülerden temizlemeyi hedeflemektedir. Türkiye trafik denetleme kurumlarında kayıtlı yasal plakalar; sivil, resmi, askeri, diplomatik vs. gibi değişik tiplerde ve her tip değişik renk ve formatta olmaktadır. Bu çalışmada Türk plaka standartlarına uyan sivil plakaların tespiti amaçlanmıştır. Bu plakaların genel özelliği; beyaz zemin üzerine siyah karakterlerden oluşması, ilk iki karakterde şehir kodunu belirten rakamların olması ve ondan sonra gelen karakterlerin rastgele harf ve rakam dizisinden oluşmasıdır. Çalışmada MATLAB programı kullanılarak;

- Araç fotoğrafının elde edilmesi,
- Görüntünün işlem yapılmaya uygun hale gelmesi için çeşitli işleme algoritmalarından geçirilmesi,
- İşlenen görüntünün gürültülerden arındırılması,
- Görüntünün Türk plaka standartları çerçevesinde taranması,
- Plaka bölgesinin tespit edilmesi ve yalnızca plakanın bulunduğu bir görüntü elde edilmesi

amaçlanmıştır.

2. Yapılan çalışmalar

TC sivil araç plakalarını bulmak için geliştirilen yazılımda MATLAB programı kullanılmış ve C, C++ ile kodlanmıştır. Çalışmada günün çeşitli saatlerinde otopark ve yollarda duran araç görüntüleri kullanılmıştır. Görüntüler 144x384 piksel olarak yeniden boyutlandırılmıştır. Yazılımda uygulanan yöntemler alt başlıklarda açıklanmıştır.

2.1. Ön işlem

Ön işlemde görüntü, plaka standartlarına uygun olarak çalışabilmek için daha önce belirlenmiş olan 144x384 piksel boyutlarına ayarlanmıştır (Şekil 1). Böylelikle alınan görüntünün boyutları ne olursa olsun sabit bir plaka pikseli elde edilmiştir.



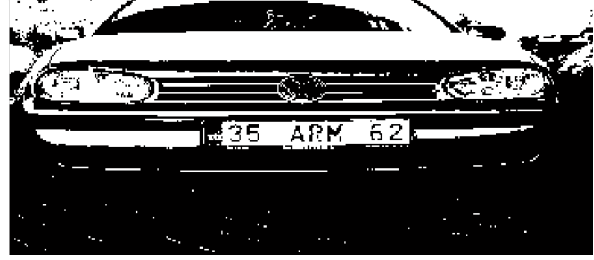
Şekil 1: Yeniden boyutlandırılmış görüntü

Yeniden boyutlandırılan üç renkli görüntü üzerine gri seviyelendirme yapılarak iki renkli bir görüntü elde edilir (Şekil 2). Bu işlem ile gereksiz ayrıntılardan kurtulmak amaçlanmıştır.



Şekil 2: Gri tona dönüştürülmüş görüntü

Ön işlemenin son aşaması olarak görüntü üzerinde histogram eşitlemesi kullanılarak görüntü ikili (binary - siyah(0) ve beyaz(1)) formata dönüştürülmüştür (Şekil 3).



Şekil 3: Siyah beyaz formata dönüştürülmüş görüntü

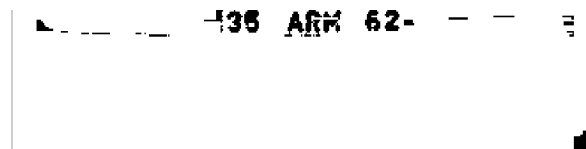
2.2. Gürültü Filtreleme

Görüntüdeki plaka olamayacak bölgeler morfolojik filtreleme yöntemlerle yok edilmiştir. Bu işlemde siyah piksellerin yerel komşuluk sayısına göre plaka bölgesindeki bir piksele komşu olup olmadığına otomatik olarak karar verilmektedir. Bu sayede yatay yönde veya dikey yönde tek komşuluğu olmayan siyah piksellerin tamamı elenmiştir. Aynı zamanda resmin çekildiği mesafe göz önüne alınarak yatayda ve dikeyde belirlenen miktardan daha fazla komşuluk sayısına sahip bölgeler de görüntüden çıkartılmıştır. Böylelikle görüntü plaka olamayacak büyük bir kısımdan arındırılmıştır (Şekil 4).



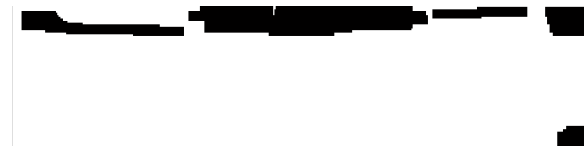
Şekil 4: Filtrelenmiş görüntü

Bu görüntüden plaka olamayacak kısımları tekrar çıkarmak için ise morfolojik yöntemler uygulanarak görüntüde sadece plaka karakterleri kalması sağlanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5: Morfolojik çıkarma uygulanmış görüntü

Morfolojik çıkarma uygulamasından sonra Smearing algoritmasıyla plaka bölgesi belirgin bir şekilde işaretlenmiştir (Şekil 6).

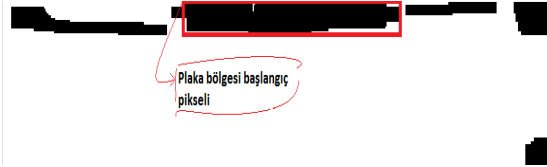


Şekil 6: Smearing algoritması uygulanmış görüntü

2.3. Maskeleme ve plaka bölge tespiti

Plaka bölgesinin tespiti için özel olarak bir maske hazırlanmıştır. Maskenin amacı tüm görüntüyü tarayarak yoğunlaşmış piksel bölgesini tespit etmektir. Oluşturulan maske, görüntünün boyutlarına göre plakanın alabileceği boyutlar düşünülerek ayarlanmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda 144x384 boyutlarında bir görüntünün 20x19 boyutlarında plakası vardır. Buna göre 20x190'lık bir maskeyi görüntü üzerinde gezdirerek içerisinde kalan piksel sayısına göre plaka olabilecek bölgenin başlangıç pikseli belirlenmiş olur (Şekil 7). Başlangıç pikselini esas alarak görüntü içerisinde 20x190'lık kısım çıkartılmıştır. Bu şekilde aracın plakası elde edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 7: Maskeleme sonucu belirlenen başlangıç pikseli



Şekil 8: Elde edilen sonuç görüntüsü – plaka

3. Uygulama Örnekleri

Bu çalışmada geliştirilen yazılım farklı araç plakaları üzerinde denenmiştir. Elde edilen sonuçlar sırası ile Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11 de gösterilmiştir.



Şekil 9: Uygulama sonucu örnek 1



Şekil 10: Uygulama sonucu örnek 2



Şekil 11: Uygulama sonucu örnek 3

4. Sonuç

Çalışma yaklaşık 80 görüntüyle test edilmiş ve % 90 a yakın başarı elde edilmiştir. Plaka bölgesinin tespit edilemediği görüntülerde başarısızlığın sebebi plaka bölgesindeki çamur, ortamın ışığı sonucu fazla parlayan plaka, ve çekim açısından kaynaklanmaktadır.

Ayrıca çalışma şu anda Dünya genelinde uygulanan standart dikdörtgen plakaya göre tasarlandığı için kare plakalarda sonuç alınamayabilmektedir. Ancak sabit bir noktadan çekim yapılarak çekim açısı problemi ortadan kaldırılabilir. Ayrıca eşik değeriyle oynanarak plakadaki parlamadan kaynaklanan başarısızlığı da en aza indirmek olasıdır.

5. Kaynakça

- [1] R. A. Hauslen, The Promise Of Automatic Vehicle Identification. IEEE Transactions on Vehicular Technology VT-Vol. 26, pp. 30-38, 1977.
- [2] J. A. L. Dawson and I. Gatling, Electronic Road Pricing In Hong Kong. Transportation Research A. Vol. 20, pp.129- 134, 1986.
- [3] W. J. Gillan, PROMETHEUS-Reducing Traffic Congestion By Advanced Technology, In Roads And Traffic 2000, International Road and Traffic Conference, Berlin, Vol. 1, pp. 111-115, 2000.
- [4] H. J. Stoelhurst and A. J. Zandbergen, The Development Of A Road Pricing System In The Netherlands, Traffic Engineering And Control, Vol. 31, pp.66-71, 1990

Fiber Bragg İzgara Kullanılarak Gazların Cins ve Yoğunluklarının Algılanması

Uğur KARAOSMANOĞLU¹, İsa NAVRUZ²

Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi
Ankara Üniversitesi, 06100, Tandoğan, Ankara

¹ e-posta: ukaraosman@gmail.com ² e-posta: inavruz@eng.ankara.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada, fiber optik sensör uygulamalarından biri olan gaz sensörleri üzerine bir araştırma yapılmıştır. Başta hidrojen ve asetilen gazları olmak üzere, çeşitli gazların cins ve yoğunluklarının optik fiber ızgaraları kullanarak algılanması için yapılan çalışmalar incelenmiştir. Paladyum kaplı fiber kullanılarak ortamdaki hidrojen gazının algılanması ve PBF, WMT, WST gibi teknikler ile Lambert-Beer yasası kullanılarak asetilen gazının nasıl ölçüldüğü gösterilmiştir. Ayrıca, ortamdaki gaz yoğunluğunun optik fiber gaz sensörünün spektrumuna etkileri ile sensör duyarlılığına etki eden tasarım parametreleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fiber Bragg İzgarası, Gaz Sensörü, Lambert-Beer Yasası, Fotonik Band Aralıklı Fiber, Dalgaboyu Modülasyon Tekniği, Dalgaboyu Tarama Tekniği.

1. Giriş

Endüstrinin gelişmesiyle birlikte, maden ocakları ve fabrikalardan karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), metan (CH₄), asetilen (C₂H₂), hidrojen sülfür (H₂S) ve amonyak (NH₃) gibi zehirli, yanıcı, boğucu ve sağlığa zararlı gazların çevreye salınım miktarlarında artış meydana gelmiştir. Söz konusu gazların cinsinin ve havadaki yoğunluk miktarının tespit edilmesi, çevre ve insan sağlığı açısından çok büyük önem arz etmektedir.

Bu zararlı gazların yanında, geleceğin alternatif enerji kaynaklarından birisi olması beklenen hidrojen gazı (H₂) hızlı yayılan bir gaz olup, ortamdaki yoğunluğunun %4'ü geçmesi durumunda kolayca patlayabilmektedir. Ayrıca hidrojen gazını kullanan endüstriyel uygulamalarda, bu gazın yoğunluğunun sürekli ölçülmesi de bir güvenlik gereğidir.

Düşük kayıplı olması, sıcaklık ve elektromanyetik girişimden etkilenmemesi nedeniyle, optik fiber teknolojisinde ve özellikle fiber optik sensör uygulamalarında son yıllarda dikkat çekici bir gelişim yaşanmaktadır. Çevresel bozucu etkenlere karşı duyarlı olması ve tek hat üzerinden çoklu sensör uygulama olanağı sunması sayesinde, başta gerilme ve sıcaklık sensörleri olmak üzere, çok farklı alanlarda fiber optik sensörler tercih edilir olmuştur. Fiber optik sensörlerin farklı uygulama alanlarından birisi de, ortamda bulunan gazların cins ve yoğunluğunun tespit edilmesidir.

Fiber optik sensör uygulamalarında kullanılan en önemli yöntemlerden birisi, fiber Bragg ızgara (Fiber Bragg Grating-

FBG) tekniğidir. Bu çalışmada, FBG tekniği kullanılarak farklı cins ve yoğunluktaki gazların ayırt edilmesi amacıyla kullanılan çeşitli teknikler incelenecektir. Genel olarak gazların cins ve yoğunluk tespitinde kullanılan teknikler, hidrojen gazı algılamasında kullanılan teknik haricinde benzerdirler.

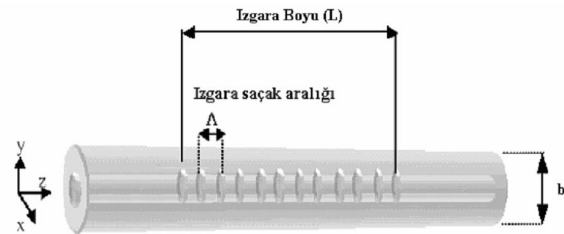
Hidrojen haricindeki diğer gazların tespitinde, gazların kızılötesi ışığı soğurma özelliklerinin dalga boyuna göre değişmesi özelliğinden faydalanılmıştır. Hidrojen gazının algılanmasında ise, paladyum kaplı fiber kullanılmakta olup, hidrojen atomlarının paladyum elementi tarafından soğurulması sonucunda, paladyum (Pd) hacminin genişlemesinin, FBG'den yansıyan sinyalin dalgaboyu spektrumunda oluşturduğu değişimin sonuçları dikkate alınmaktadır.

2. Fiber İzgaraları ile Gazların Cins ve Yoğunluklarının Algılanması

Optik iletişim ve optik algılama alanlarında oldukça önemli bir yer tutan fiber ızgarası, tek modlu bir optik fiberin özünde, Şekil 1' de görüldüğü gibi kırılma indisinin periyodik modülasyonunu içerir. Fiber ızgaraları özel dar bir dalgaboyu aralığında (Bragg dalga boyu civarında) yüksek yansıtıcılık sağlarlar. Bu dalga boyu Eş.1 deki gibi ilişkilendirilmiştir.

$$\lambda_B = 2 \cdot n_{eff} \cdot \Lambda \quad (1)$$

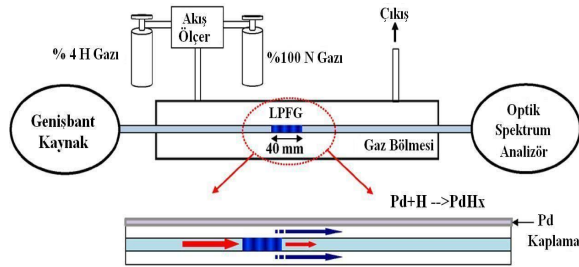
Bu eşitlikte, λ_B Bragg dalga boyuna, n_{eff} etkin kırılma indisine ve Λ ızgara adımına karşılık gelmektedir. İzgara periyodunun 100µm ve üzerinde olduğu fiber ızgaraları iletim modunda çalışırlar ve bu tip ızgaralar uzun periyotlu fiber ızgaraları (LPFG) olarak adlandırılırlar.



Şekil 1. Tekdüze bir fiber ızgarasının genel yapısı.

Hidrojen gazının algılanabilmesi için bir LPFG ve paladyum elementi kullanılabilir. Fiber özünü sarmalayan kılıfın üstüne kaplanan Pd, hidrojene maruz kalınca hidrojen atomlarını soğurarak daha geniş hacimli PdHx molekülünü oluşturur. PdHx daha geniş hacimli olduğu için hacmindeki genişleme LPFG' nin ızgara periyodunun uzamasına neden olur.

Hidrojen algılama deney düzenekğinde, Şekil 2’de görüldüğü gibi uzun periyotlu fiber ızgara (LPFG) kullanılmaktadır. LPFG’in çevresi Pd elementi ile kaplanmaktadır [1, 2]. Pd kaplı LPFG, gaz giriş ve çıkışı imkân sağlayan bir gaz bölümünün içerisinde bulunmaktadır.



Şekil 2. Hidrojen algılama sensörü için gerçekleştirilebilecek bir deneysel düzenek.

LPFG, temel öz modu ile kılıf modu arasında optik birleşmeyi sağlayarak faz eşleşmesine neden olur;

$$\lambda_{res} = \Delta n_{eff} \cdot \Lambda = (n_{eff}^{co} - n_{eff}^{cl,m}) \cdot \Lambda \quad (2)$$

Burada, n_{eff}^{ca} öz modun ve $n_{eff}^{cl,m}$ ise m. kılıf modunun efektif kırılma indisine karşılık gelmektedirler. Kılıfın efektif kırılma indisi, yansıyan dalga boyundaki kaymalardan etkilenen kılıfı çevreleyen malzemenin yansıma indisine bağlı olarak değişir.

Diğer bazı gazların cins ve yoğunluklarının belirlenmesinde, gazın farklı dalga boyuna sahip kızılötesi ışınları soğurma özelliğinden yararlanılan Fiber Bragg Izgara tekniği kullanılır. Bu çeşit gazların kızıl ötesi ışınlara duyarlılığı kullanılarak; mod-kilitlemeli fiber lazerlerle çoklu gaz sensörü [3], piezoelektrik seramik yardımıyla FBG'nin bragg dalga boyunun kaydırarak dağıtık fiber optik gaz sensörülleri [4], fotonik band aralıklı fiber (PBF) gaz sensörülleri [5], FBG'nin optik filtre olarak kullanıldığı CO algılama sensörü [6] ve dalga boyu modülasyon tekniği (WMT) ile dalga boyu tarama tekniğinin (WST) kullanıldığı gaz sensörü [7] uygulamaları üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Yukarıda belirtilen uygulamalarda, gaz içinden geçen ışın yoğunluğunu tespit etmek için Lambert-Beer yasası kullanılmaktadır.

$$I(\lambda)=I_o(\lambda). \exp[-\alpha(\lambda).c.L] \quad (3)$$

Bu eşitlikte, $I_0(\lambda)$ gaz hücresine girmeden önceki λ dalga boyuna sahip monokromatik ışık şiddeti, $\alpha(\lambda)$ gazın belirli bir dalga boyunda, birim konsantrasyon ve birim uzunluk başına düşen soğurma katsayısı, c ölçülen gazın konsantrasyonu ve L gaz ile ışığın etkileşim içinde oldukları uzunluğa karşılık gelmektedir.

Şekil 3'te, WMT ve WST teknikleri kombinasyonlu gaz sensörü düzeneği görülmektedir [7]. Bu düzenekte erbiyum katkılı fiber yükselteç (EDFA), ayarlanabilir zayıflatıcı, optik sirkülatör, iki adet fiber kuplör, InGaAs PIN fotodetektör (PD), ayarlanabilir filtre (TF), FBG dizisi ve bilgisayar kontrollü LabVIEW kartı bulunmaktadır. Bu düzenekte Fabry-Perot tipi ayarlanabilir filtre (TF) piezo-elektriksel dönüştürücü ile sürülür. Böylece, iletilen dalga boyu, gerilim (v) fonksiyonu olarak ifade edilebilir [7].

$$I(v)=I_o(v). \exp[-\alpha(v).c.L] \quad (4)$$

Modüle edilmiş gerilim işareti şöyle ifade edilebilir;

$$v(t)=v_o(t)+vm\cos(2\pi ft) \quad (5)$$

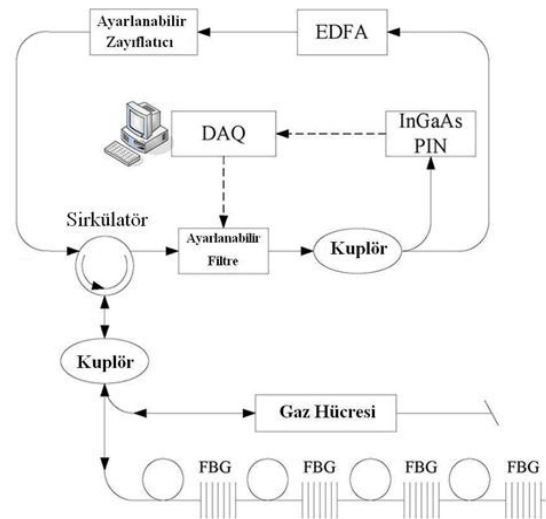
Bu eşitlikte $v_o(t)$ testere dişi sinyal zarfına karşılık gelmekte olup, $vm \cos(2\pi ft)$ ise modüle edilmiş sinyali ifade etmektedir. İletilen ışık sinyali yoğunluğu kosinüs Fourier serisine açıldığında;

$$I(t)=\sum A_n(v_o).cos(2n\pi ft) \quad (6)$$

$A_n(v_0)$ algılanan işaretin n . harmoniğine karşılık gelmektedir. Algılanan gazın konsantrasyonu çok düşük olduğunda, $A_n(v_0)$ ile gaz konsantrasyonu doğru orantılı olarak değişmektedir.

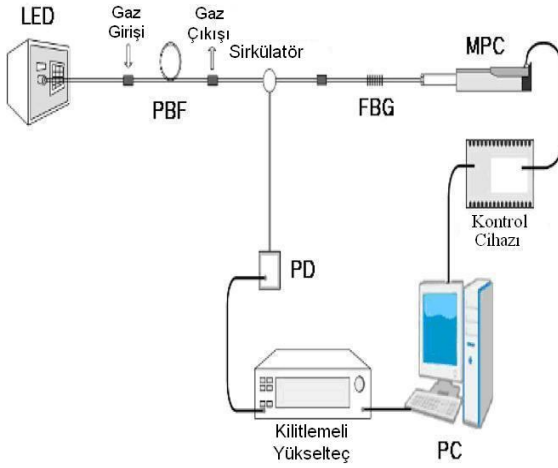
$$A_n(v_o) = \frac{2I_o cL}{\pi} \int_0^\pi -\alpha(v_o + v_m \cos \theta) \cos n\theta d\theta \quad (7)$$

Bu eşitlikte $\theta=2\pi f t$ 'ye karşılık gelmektedir. $A_n(v_0)$ 'ın birinci derece harmonikleri $v_0(t)$ için sıfıra (0) eşit olacağı için, gaz sensörü uygulamaları için sinyalin ikinci harmoniği genelde dikkate alınmaktadır [4, 5, 7].



Şekil 3. İntrakavite fiber lazer ile WMT ve WST teknikleri kombinasyonlu gaz sensörü düzeneği.

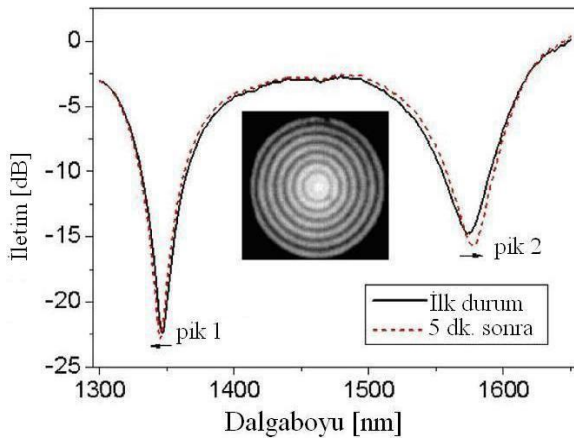
Bir başka sensör uygulaması olarak fotonik band aralıklı fiber (PBF) gaz sensörü düzeneği Şekil 4'te görülmektedir [5]. Asetilen gazının algılanmasının deneysel olarak kurgulandığı bu düzende, PBF içine gaz dolmasını müteakip fiber LED (Light-emitting diode) ile aydınlatılmaktadır. Bu ışığın bir kısmı gaz tarafından soğurulurken, fiberde iletilen kısmı, FBG'den yansıtılarak sirkülatör ve fotodiyot (PD) üzerinden geçip bilgisayar ortamında işlenmektedir.



Şekil 4. Fotonik bandgap fiber (PBF) gaz sensörü düzeneği.

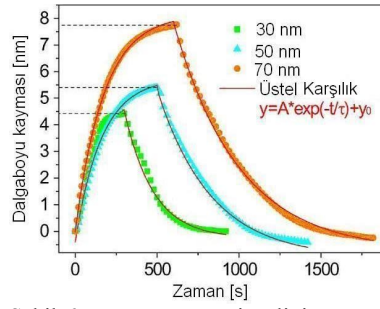
3. Deneysel Sonuçlar

Ortamda Hidrojen olduğu durumda, gaz yoğunluğu arttıkça, Şekil 5’de görüldüğü gibi LPFG iletim spektrumunun iki çukur noktasının birbirine zıt doğrultularda kaydığı gözlenmektedir [1].



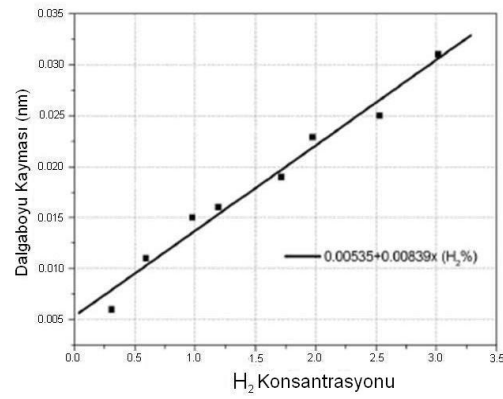
Şekil 5. İletilen gücün, Hidrojen (kesikli çizgi) ve Hidrojenli (düz çizgi) ortamlarda dalga boyuna göre değişimi.

Şekil 6, ortamda artan hidrojen gazına karşılık dalgaboyu kaymasının zamana göre değişimini göstermektedir. Şekilde başlangıçta görülen artış, ortama %4 yoğunluklu hidrojen gazının verildiği sürece karşılık gelmekte olup, ortamdaki hidrojen yoğunluğunun artmasıyla birlikte Bragg dalga boyundaki kayma miktarı da artmaktadır. Şekilde tepe noktasından sonra ortaya çıkan sönümlenme ise, ortama %100 yoğunluklu azot verildiği süreçte ilk dalga boyuna doğru meydana gelen geri kaymayı ifade etmektedir [1]. Daha kalın paladyum tabakası kullanılması durumunda dalga boyu bozunma katsayısının büyümesiyle beraber, dalga boyundaki kayma miktarı da artmaktadır.



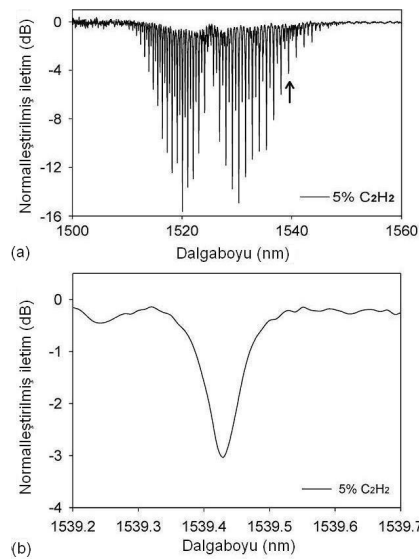
Şekil 6. Yansıyan ışın sinyalinin tepe noktasına karşılık düşen dalga boyunun kayması.

Paladyum kaplamanın kullanıldığı farklı bir uygulamada, hidrojen yoğunluğu yüzdesi ile dalga boyunun değişimi Şekil 7’de görülmektedir. Kullanılan sensörün duyarlılığı, 8.4 pm/% H₂ olarak not edilmiştir [2].



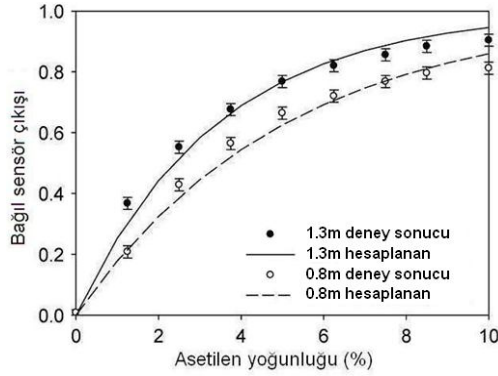
Şekil 7. Ortamda hidrojen gazı konsantrasyonunun değişmesi sonucunda dalga boyunun kayması.

Diğer bazı gazların algılanması için yapılan bir çalışmada asetilen gazının geniş band ve dar band spektrumu Şekil 8’de görülmektedir. [5] Şekilde görülen 1539,42 nm civarında %5 yoğunluklu Asetilen gazı bant kesici filtre görevi görmektedir.



Şekil 8. %5 yoğunluklu Asetilen gazının soğurma spektrumu. (a) 1510 nm ve 1545 nm arasındaki spektrumun tamamı. (b) 1539,42 nm civarındaki bir soğurma hattının genişletilmiş gösterimi.

Asetilen gazının yoğunluğunun %0'dan %10'a kadar olan değişiminin, 0.8 m ve 1.3 m uzunluğundaki PBF gaz sensörlerine verdiği yanıt Şekil 9'da görülmektedir. Deney sonucunda gözlemlenen verilerle, Lambert-Beer yasasından elde edilen veriler Şekil 9'da da görüldüğü üzere birbirine çok yakın çıkmaktadır [5]. PBF uzunluğunun artması sensör duyarlılığını artırmaktadır.



Şekil 9. PBF gaz sensörünün, Asetilen gazı yoğunluğunun değişimine verdiği yanıt.

Asetilen gazının algılanmasının deneysel olarak algılandığı Şekil 3'teki düzeneğe, 1539,02 nm dalga boyunda bir filtre görevi görmektedir [5], bir diğer çalışmada asetilen soğurma dalga boyu olarak 1532.83 nm [3] ve başka bir çalışmada [7] ise 1530 nm olarak not edilmiştir.

Asetilen haricindeki bazı gazların soğurma dalga boyları çeşitli çalışmalarda Tablo 1'deki gibi elde edilmiştir [3,7]

Tablo 1. Kızılötesi (IR) ışın dalga boyu bölgesinde gaz soğurma dalga boyları.

Gaz	Soğurma Dalga Boyları (nm)	Soğurma Dalga Boyları (nm)
Amonyak	1544	1544
Karbonmonoksit	1567	1567
Karbondioksit	1572.66	1573
Hidrojen Sülfür	1578	1578

4. Sonuç ve Yorumlar

Gaz cinsi ve yoğunluğunun algılanmasında, IR ışık dalga boyu bandı civarında, gazların farklı dalga boylarındaki ışığı soğurma özelliği gösterdiği yapılan çeşitli çalışmalarla ortaya çıkarılmıştır. Bunun sonucu olarak, IR ışık kullanılan fiber optik tabanlı gaz sensör uygulamaları çok hızlı bir şekilde artmıştır.

Bu çalışmada başta hidrojen ve asetilen gazları olmak üzere, FBG ve LPFG optik elemanları kullanılan çeşitli gaz sensörü uygulamaları incelenmiştir. Bu çalışmalarda gazların algılanmasında kullanılan teknikler ve elde edilen sonuçlar ortaya konmuştur.

Hidrojen gazı algılamada paladyum kaplama tekniği başarılı sonuçlar vermiştir. Paladyum kalınlığı arttıkça duyarlılığı artmaktadır.

Asetilen ve karbonmonoksit gibi IR ışığı soğurma özelliği olan gazların ortamdaki yoğunluğu ile gaz yoğunluğunu algılamada kullanılan optik sensörün duyarlılığı doğru orantılı olarak

değişmektedir. PBF kullanan sensör tekniğinde PBF uzunluğunun artması, sensör duyarlılığı artırmak için kullanılabilir.

Fiber gaz sensörlerin çalışma prensibi, gaz ile etkileşime giren maddenin optiksel karakteristiğinde meydana gelen değişimin yine optik teknikler kullanılarak ölçülmesi esasına dayanır. Doğadaki elementlerin ve bileşiklerin optiksel davranışları keşfedildikçe fiber ızgaraları ile farklı türden gaz sensörü uygulamalarında yeni teknikler ve yöntemler geliştirilebilir.

Kaynakça

- [1] Kim, Y. H., Kim, M. J., Rho, B. S., Park, M. S., Jang, J. H. and Lee, B. H. (2011), "Ultra Sensitive Fiber-Optic Hydrogen Sensor Based on High Order Cladding Mode", IEEE Sensors Journal, Vol. 11, No. 6, June 2011.
- [2] Aleixandra, M., Corredera, P., Hernanz, M.L., Sayago, I., Horrillo, M.C., Gutierrez, J. (2007), "Study of a Palladium Coated Bragg Grating Sensor to Detect and Measure Low Hydrogen Concentrations", 2007 Spanish Conference on Electron Devices, Jan. Issue Date: Jan 31 2007-Feb. 2 2007, Pages: 223 – 225, Madrid.
- [3] Whitenett, G., Stewart, G., Yu, H., Culshaw, B. (2004), "Investigation of a Tuneable Mode-locked Fiber Laser for Application to Multipoint Gas Spectroscopy", *Journal of Lightwave Technology*, On page(s): 813 - 819, Volume: 22 Issue: 3, March 2004.
- [4] Liu, J., Yang, H., Yue, Y. (2009), "Study on Distributed Optic Fiber Gas Sensors", Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, China, December 19-23, 2009.
- [5] Lee, K. S., Lee, Y. K. ve Jang, S. H. (2011), "A Novel Grating Modulation Technique for Photonic Bandgap Fiber Gas Sensors", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 23, No. 10, May 15, 2011.
- [6] Wang, Y. J., Wang, Y. T., Kang, Y. Y. (2006), "Study on Optical Fiber CO Gas Sensor Based on Difference Absorption", Journal of Physics: Conference Series 48 1172–1175, 2006.
- [7] Liu, K., Liu, T., Jiang, J., Peng, G. D., Zhang, H., Jia, D., Wang, Y., Jing, W. ve Zhang, Y. (2011), "Investigation of Wavelength Modulation and Wavelength Sweep Techniques in Intracavity Fiber Laser for Gas Detection", Journal of Lightwave Technology, Vol. 29, No. 1, January 1, 2011.

Yere Nüfuz Eden Radar (YNR) Görüntülerinin Elde Edilmesinde Zaman Bölgesinde Sonlu Farklar (FDTD) Metodunun Kullanılması

Alp ALPER¹ Nursel AKÇAM² Funda Ergün Yardım³

^{1,2,3} Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara

¹ alp_alper7168@yahoo.com, ² e-posta: ynursel@gazi.edu.tr, ³ e-posta: fundaergun@gazi.edu.tr,

Özetçe

Yere Nüfuz Eden Radar (YNR), dalga prensipleri kullanılarak yer altındaki nesnelerin ve tabakaların elektromanyetik teknikler ile görüntülenmesi olarak ifade edilebilir. YNR, gömülü kara mayınları tespiti, arkeoloji, adli olaylar, inşaat işleri ve jeofizik gibi geniş uygulama alanlarına sahiptir. Bu çalışmada, YNR teorisi incelenmiş ve yeraltının görüntülenmesinde kullanılan modelleme tekniklerinden birisi olan Zaman Bölgesinde Sonlu Farklar (Finite Difference Time Domain-FDTD) tekniği çalışılarak tanıtılmıştır. Bu metod kullanılarak geliştirilen yöntem ile elde edilen sonuçlar ve değişik durumlar için yapılan modellemeler sunulmuştur.

1. Giriş

Yer altına uygun özelliklere sahip anten vasıtasıyla elektromanyetik (EM) dalga gönderip, yerin altındaki hedefe çarparak yansıyan dalgayı yine uygun özelliklere sahip diğer veya aynı antenle alan ve algılanan sinyali işlemek suretiyle anlamlı bilgi haline getirerek yerin altındaki nesnelerin görüntülenmesini sağlayan radar sistemine “Yere Nüfuzlu Radar –YNR (Ground Penetrating Radar -GPR) denir [1].

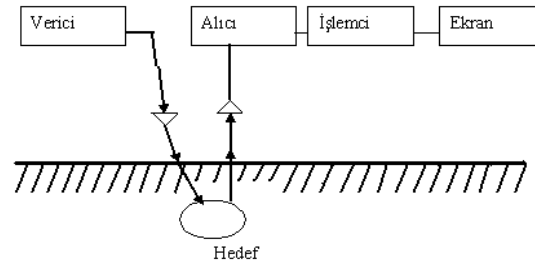
YNR sistemleri, geniş bantlı antenler kullanılarak ölçüm yapılmak istenen yere (toprağa, duvara vs.) kısa darbeleri elektromanyetik sinyaller gönderirler. Yerden yansıyan EM sinyaller gerçek zamanlı olarak algılanır ve saklanır. YNR sisteminin ölçüm yapılan zemin üstündeki konumu değiştirilerek bu ölçümler tekrarlandığında ve elde edilen yansıma sinyalleri yan yana konduğunda, ortaya zaman ve konuma bağlı olarak iki boyutlu bir resim çıkar. Böylece ölçüm yapılan yerin altında gizlenen dielektrik sabiti ve/veya iletkenliği, ortamdaki farklı olan bir nesneden kaynaklanan yansımalar bu iki boyutlu resmin içinde algılanabilir. Bu nedenle, YNR özellikle mayın tarama ve tespit sistemlerinde ve benzeri pek çok askeri ve sivil amaçlı uygulamalarda kullanılır [2].

YNR ile görüntülemeye, etkin performans elde edilmek için uygun antenler ile Hiperbolik Toplama (HT), Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar-SAR) bazlı ve hedeften gelen yansımaların kaydedilerek hiperbol şeklinde dalga şekillerinin oluşturulduğu göç ettirme (migration) algoritmalarının geliştirildiği, bunlardan yararlanılarak A tarama, B tarama ve C tarama deneylerinin monostatik ve bistatik durumlar için yapıldığı ve çeşitli derinliklerde kumun içine yerleştirilen cisimlerin görüntülenmediği ifade edilmektedir [3].

Bu çalışmada, YNR ile yerin altına elektromanyetik dalga gönderip yansıyan dalgadan yararlanarak yer altı görüntülenmiştir. FDTD yöntemiyle dalga yayılımı elde edilmiş, serbest uzayda ve dielektrik ortamlarda elde edilen dalga ortamının üst kenarından yayılımı sağlanmıştır. YNR uygulamaları ile ortama önce tek metal, daha sonra yan yana ve alt alta metaller yerleştirilerek değişik senaryolar için metallerin yerinin tespit edilebildiği gösterilmiştir.

2. Yere Nüfuz Eden Radar

YNR'nin gezegen keşfinden gömülü mayınların tespitine kadar geniş kullanım alanları bulunur. YNR'de kullanılacak frekansın modülasyon tipi, anten tipi ve polarizasyonun seçimi, hedefin şekline veya boyutuna, ortamın iletim özelliklerine, çalışma gereksinimlerine, yüzey karakteristiklerine ve maliyete olmak üzere birçok faktöre bağlıdır [1]. YNR sistemine ait genel bir blok diagram da, Şekil 1'de olduğu gibi en temel elemanlar alıcı, verici, işlemci ve ekran olur. Enerji kaynağı, genlik veya frekans modüleli dalga şekli veya gürültü sinyali olabilir.



Şekil 1. YNR sisteminin blok diagramı

YNR sisteminde yol kayıpları, toprağın cinsi, çevre gürültüsü gibi görüntü kalitesini etkileyen bazı faktörler mevcuttur.

2.1. Yol kayıpları

Toplam yol kaybı, belirli bir mesafe için aşağıdaki eşitlikle verilir;

$$L_T = L_e + L_m + L_{t1} + L_{t2} + L_s + L_a + L_{sc} \quad (1)$$

Burada;

L_e = anten etkinlik kayıpları (dB)

L_m = anten uyum kayıpları (dB)

L_{t1} = havadan malzemeye transmisyon kaybı (dB)

L_{t2} = malzemeden havaya geri transmisyon kayıpları (dB)

L_s = anten saçılma kayıpları (dB)

L_a = malzemenin zayıflama kaybı (dB)

L_{sc} = hedef saçılma kaybı (dB)'dir.

Burada iletim kayıpları (L_{t1}) ortam ve havanın karakteristik empedansına (Z_0), ortamın kayıp tanjantına ($\tan \delta$), ortamın dielektrik sabitine (ϵ) ve manyetik geçirgenliğine (μ) bağlıdır.

Anten saçılma kaybı (L_s) ise antenin kazancına (G), radar kesit alanına (RKA), anten açıklığına (A_r) ve mesafeye (R) bağlıdır.

Hedef saçılma kaybı (L_{sc}) tabakaların karakteristik empedanslarına ve RKA değerine bağlıdır.

Malzemenin zayıflatma kaybı (L_a) ise μ , ϵ , δ ve R mesafesine bağlıdır.

2.2. Çevre yankısı/kargaşa (clutter)

Hedefin saçılma karakteristiğinden bağımsız olarak YNR görüntüsünü etkileyen sinyallere çevre yankısı/kargaşa (clutter) denir. Klasik radar kargaşasından oldukça farklıdır. Klasik radarlarda, Hareketli Hedef Göstergesi (Moving Target Indicator-MTI) ile filtrelendirir. Ancak bu çözüm YNR'ye uygulanabilir değildir.

Antenden gelen sinyalin yer yüzeyindeki kırılmaları çevre yankısına sebep olabilir. Çevre yankısı da anten konfigürasyonuna göre değişir. Kırılma seviyesinin daha sabit olduğu paralel düzlemsel dipol anten çevre yankısına karşı tercih edilir [1].

Yerin karakteristik empedansındaki değişimler de çevre yankısına sebep olabilir. Ayrıca anten yan kulakçıklarındaki hedeften gelen yansımalar da, yeryüzünün üstünde bile problem oluşturabilir. Bu problem antenden gelen yan ve arka kulakçık radyasyonunu zayıflatmak iyi bir anten tasarımı ve radar zayıflatıcı malzeme ile çözülür [1].

2.3. Derinlik çözünürlüğü

Yol tabakası kalınlığı ölçümünde kullanılan yüzey altı radarlarında, derinliği hassas bir doğrulukla belirlemek için alınan dalga'nın iki ucu arasında geçen zaman ölçülür ve yayılım hızı doğru olarak bilinmek şartıyla ön yüzey yansımada geçen referans zaman kullanılır. Ancak gömülü boru ve kabloların tespitinde alınan dalga'nın bant genişliğinin bilinmesi önemlidir. Alınan sinyalin bant genişliğinde yeryüzü yayılan alanın elektriksel özelliklerine göre alçak geçiren filtre gibi davranır. Bant genişliğini bulmak için alınan sinyalin güç spektrumunu belirlemek önemlidir. Bunun bir yolu otokorelasyon fonksiyonunu bulmaktır [1].

2.4. Plan çözünürlüğü

Aynı derinlikte birden fazla tespit edilecek hedefin olması durumunda ve yeri belirlenmiş hedeflerin araştırıldığı durumlarda kullanılan çözünürlük parametresine plan çözünürlüğü denir. Bölgesel doğruluk hassasiyetinin önemli olduğu topografik keşif çalışmalarında kullanılır. Genel olarak iyi bir plan çözünürlüğü için yüksek kazançlı büyük açıklıklı bir anten gereklidir [1].

2.5. Malzeme Özellikleri

Hedef olabilecek bazı malzemelerin temel dielektrik değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çeşitli malzemelerin 100 MHz'deki tipik dielektrik özellikleri

Malzeme	İletkenlik (S/m) (σ)	Geçirgenlik (F/m) (ϵ)
Hava	0	1
Kuru Asfalt	$10^{-2} \cdot 10^{-1}$	2-4
Islak Asfalt	$10^{-3} \cdot 10^{-1}$	6-12
Kuru Kil	$10^{-1} \cdot 10^0$	2-6
Islak Kil	$10^{-1} \cdot 10^0$	5-40
Kuru Kömür	$10^{-3} \cdot 10^{-2}$	3,5
Islak Kömür	$10^{-3} \cdot 10^{-1}$	8
Kuru Beton	$10^{-3} \cdot 10^{-2}$	4-10
Islak Beton	$10^{-2} \cdot 10^{-1}$	10-20
Taze su	$10^{-6} \cdot 10^{-2}$	81
Taze su buz	$10^{-4} \cdot 10^{-3}$	4
Kaya tuzu	$10^{-4} \cdot 10^{-2}$	4-7
Kuru kum	$10^{-7} \cdot 10^{-3}$	2-6
Islak kum	$10^{-3} \cdot 10^{-2}$	10-30

3. Dielektrik Malzemelerde Elektromanyetik Dalga'nın Yayılımı

Kayıplı bir ortamda z yönünde ilerleyen bir dalga'nın zamanla değişimi;

$$E(z, t) = E_0 e^{-\alpha z} e^{j(\omega t - kz)} \quad (2)$$

olarak verilir. Burada E_0 dalga genliğini ω açısal frekansı, α zayıflama katsayısını ve k faz sabitini göstermektedir. Faz sabiti;

$$jk = \alpha + j\beta = j\omega \sqrt{\mu\epsilon' \left(1 - \frac{j\epsilon''}{\epsilon'}\right)} \quad (3)$$

olarak verilir. Eşitlik (3)'de zayıflama katsayısı,

$$\alpha = \omega \sqrt{\left[\frac{\mu\epsilon'}{2} \sqrt{1 + \frac{(\epsilon'')^2}{\epsilon'^2}} - 1\right]} \quad (4)$$

ve yeni faz sabiti,

$$\beta = \omega \sqrt{\left[\frac{\mu\epsilon'}{2} \sqrt{1 + \frac{(\epsilon'')^2}{\epsilon'^2}} + 1\right]} \quad (5)$$

olur. Önemli bir faktörde $\tan \delta$ 'dır. $\tan \delta$ 'ya ortamın kayıp tanjantı denir ve iletkenlik kayıplarından oluşur.

$$\tan \delta = \frac{\sigma' + \omega\epsilon''}{\omega\epsilon' - \sigma''} \approx \frac{\sigma'}{\omega\epsilon''} \quad (6)$$

3.1. Su ve buzun dielektrik özellikleri

500MHz üzerindeki frekanslarda, kaya ve topraktaki temel kayıp mekanizması, gözeneklerdeki mevcut su tarafından enerjinin emilmesidir. Bu durum Debbye tarafından açıklanmıştır.

$$\epsilon(\omega) = \epsilon' + j\epsilon'' = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + j\omega\tau} \quad (7)$$

(7) eşitliği Debbye formülü olarak bilinir. Burada ϵ_∞ = yüksek frekans geçirgenliği,

ϵ_s = düşük frekans geçirgenliği,

τ = suyun yavaşlama zamanı,

ifade etmektedir.

3.2. Toprak ve kayanın dielektrik özellikleri

Kayalar ölçme işlemi, çözünürlüğün önemli olmadığı derin mesafelerde önemli olmaktadır. Daha düşük frekans kullanımı (0,1-1 MHz) yere nüfuzu artırır. Tabakalı malzeme için, elektrik alanın paralel olduğu durumda tabakalı malzemenin geçirgenliği ϵ_r ;

$$\epsilon_r = (1 - p)\epsilon_m + p\epsilon_\omega \quad (8)$$

olarak verilir. Burada,

ϵ_m = matrisin geçirgenliği

ϵ_ω = suyun geçirgenliği

p = gözeneklilik (porosity) oranıdır.

Eş. 7 elektrik alanın dikey olduğu durum için ise;

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_m \epsilon_\omega}{(1 - p)\epsilon_m + p\epsilon_\omega} \quad (9)$$

olarak verilir. Burada,

$$p = \frac{c}{v^2} = -\frac{\epsilon_m}{\epsilon_m - \epsilon_\omega} \quad (10)$$

$$\frac{D_z^{n+1/2}(i, j) - D_z^{n-1/2}(i, j)}{\Delta t} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \left(\frac{H_y^n(i+1/2, j) - H_y^n(i-1/2, j)}{\Delta x} \right) - \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \left(\frac{H_x^n(i, j+1/2) - H_x^n(i, j-1/2)}{\Delta x} \right) \quad (11)$$

$$\frac{H_x^{n+1}(i, j+1/2) - H_x^n(i, j+1/2)}{\Delta t} = -\frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \frac{E_z^{n+1/2}(i, j+1) - E_z^{n+1/2}(i, j)}{\Delta x} \quad (12)$$

$$\frac{H_y^{n+1}(i+1/2, j) - H_y^n(i+1/2, j)}{\Delta t} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \frac{E_z^{n+1/2}(i+1, j) - E_z^{n+1/2}(i, j)}{\Delta x} \quad (13)$$

eşitlikleri elde edilir [5].

5.1. İletken ve dielektrik ortamlarda 2 boyutlu FDTD

Dielektrik ortamlarda ortamın dielektrik sabitinin ϵ_r olduğunu kabul edersek Eş. 11, 12 ve 13 denklemlerinin sağ tarafı $1/\sqrt{\epsilon_r}$ katsayısı ile çarpılarak yeniden düzenlenir. Dielektrik parametresi ise zayıflatıcı bir katsayı olarak EM dalga yayılımını olumsuz etkileyecektir [6].

5.2. Emici sınır koşulları (Absorbing Boundary Conditions-ABC)

ABC problem olarak seçilen uzaydan yansıyan $\vec{E}$ ve $\vec{H}$ alanları için gereklidir. Normalde $\vec{E}$ alanını hesaplarken $\vec{H}$ 'ı çevreleyen değerlerin bilinmesi gerekir. Bu FDTD metodunun temel kabulüdür. Ancak problem uzayının uç noktasından sonra, bu değer olmayacaktır. Bununla birlikte problem uzayının dışında kaynak olmaması bizim için avantajdır. Bu nedenle problem uzayının ucundaki alanlar dışa doğru yayılmalıdır. Bu iki gerçek kullanılarak uçtaki

olmaktadır. Toprak; hava, parçacık ve sudan oluşur. Bu nedenle hesaplama prosedürü; frekans, suyun hacmi, havanın hacmi ve iletkenliği gibi çeşitli parametreleri ele almayı gerektirir. YNR sistemi ile toprağın özellikleri belirlenebilir. Çünkü YNR sürekli bir yüzey altı kaydı sağlar ve böylece toprak sınıflandırılabilir, karakterize edilebilir ve haritalanabilir [1].

4. Modelleme Tekniği

Genel olarak YNR sistemlerinin modellenmesinde kullanılan modelleme metodları;

- Alınan sinyal seviyesi ve tespit olasılığı,
- Temel iletim hattı zaman bölgesi modeli,
- Anten ışınlama ve gömülü hedef etkileşim modeli,
- FDTD modeli

olup, bu çalışmada FDTD metodu kullanılmıştır. FDTD Metodu ilk olarak Kane S.Yee tarafından 1966 yılında başlatılmıştır. Yee, Maxwell denklemlerini sonlu differansiyel denklemlere dönüştürerek, uzayın bir noktasındaki elektrik ve manyetik alan bileşenlerinden birinin bilinmek şartıyla, sonlu fark eşitlikleriyle diğerlerinin de hesaplanabileceğini göstermiştir [4].

5. FDTD Simülasyonu

İki boyut için Maxwell denklemleri FDTD içinde düzenlenirse;

değer bir sonraki değer kullanılarak tahmin edilmeye çalışılır. $k=0$ olduğu yerde, uçta sınır koşulu ararken, serbest uzayda FDTD algoritması adımında;

$$\text{mesafe} = c_0 \Delta t = \frac{c_0 \Delta x}{2c_0} = \frac{\Delta x}{2} \quad (14)$$

olur. Bu eşitlik basitçe, bir dalganın diğer bir hücreye geçmesi için iki zaman adımı gerektiğini gösterir. Kabul edilebilir sınır koşulu ise,

$$E_x^{(0)} = E_x^{(n-2)}(1) \quad (15)$$

biçimindedir [3].

5.3. Mükemmel uyumlu tabaka (Perfect Matched Layer-PML)

Dalga iki boyutta dışa doğru yayılırken, izin verilen uzayın sınırına gelir. Eğer hiçbir şey yapılmazsa yansımalar olur. Bu yansımaların hangisinin gerçek dalga, hangisinin ise işe yaramaz olduğu anlaşılamaz. Bu nedenle ABC, FDTD

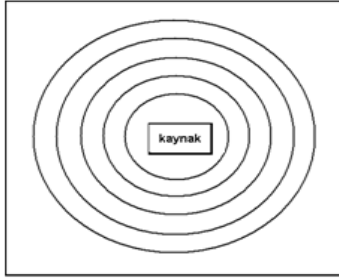
kullanılırken önemli olup, bu yöntemlerden en esnek ve etkin olanlardan birisi PML metodudur.

6. Uygulama ve Simülasyon Sonuçları

Bu çalışmada simülasyon için MATLAB programı kullanılmıştır. Değişik senaryolar için frekans 300MHz alınarak sonuçlar elde edilmiştir.

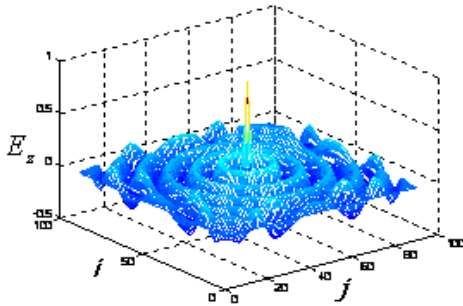
6.1. Serbest Uzayda EM Dalga Yayılımı

Şekil 2’de görülen, kare şeklinde düşünülen serbest uzayın tam orta noktasına yerleştirilmiş, bir Gauss darbesi olan EM dalga kaynağının yaydığı sinyaller simüle edilmiştir.



Şekil 2. Merkezde bir EM dalga kaynağının olması durumu

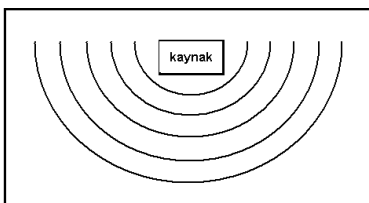
Öncelikle işlem adımı (işlem süresi) $t_0=120$ alınıp Elektrik alanın z-bileşeni E_z hesaplanmış, ancak boyutların yeterli olmaması nedeniyle sinyallerin kenarlarda bozulduğu görülmüştür. Bu nedenle işlem süresi artırılarak $t_0=500$ ve karenin boyutları 500X500 olacak şekilde alınıp, elektrik alan şiddeti z-bileşeni, E_z Şekil 3’de görüldüğü gibi elde edilmiştir.



Şekil 3. Elektrik Alan Şiddetinin z-bileşeni E_z

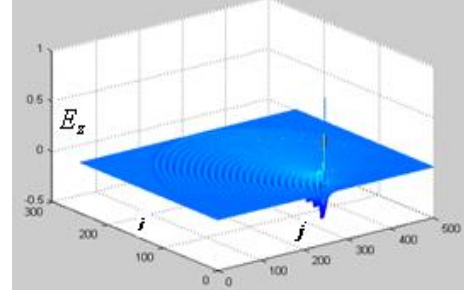
6.2 Kaynağı Üst Kenara Taşınması

Bu senaryo için EM dalga kaynağı üst kenarın orta noktasına taşınmıştır (Şekil 4). Burada amaç kaynağın (tepe genlikli sinüs sinyaline sahip kaynak kullanılmıştır.) üstten aşağıya doğru yayılımını sağlamak ve hedef tespiti için uygun ortamı simüle etmektir.



Şekil 4. Yayılan EM dalganın kaynağının üst kenara taşınması

Boyutlar ise 250X500 olacak şekilde düzenlenmiş ve sonraki senaryolar için bu boyutlar kullanılmıştır. Kaynağın altındaki serbest uzay, EM dalga için yayılım ortamıdır. Burada ortamın boyutlarının çok büyük olması yüzünden sınır koşulları hesaba katılmamıştır. Bu durum için, elektrik alan şiddeti z-bileşeni, E_z Şekil 5’de gösterilmiştir.

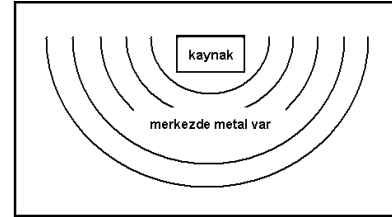


Şekil 5. Elektrik Alan Şiddetinin z-bileşeni E_z

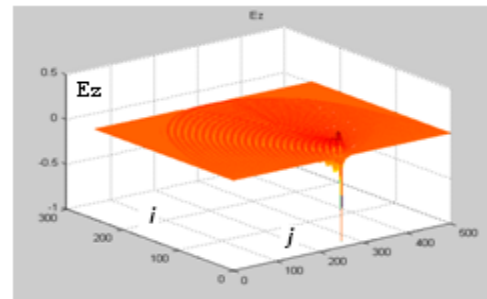
Elektrik alanın üst kenarın ortasından kaynağın alt yüzeyinde kabul edilen ortama doğru yayılmakta olduğu görülmektedir.

6.2. Ortama Metal Konması

Dikdörtgen olarak düşünülen serbest uzayın orta noktasına metal yerleştirilmiştir (Şekil 6). Bu durumda EM dalganın yansıması beklenmektedir (Şekil 7).



Şekil 6. Ortama metal konması durumu

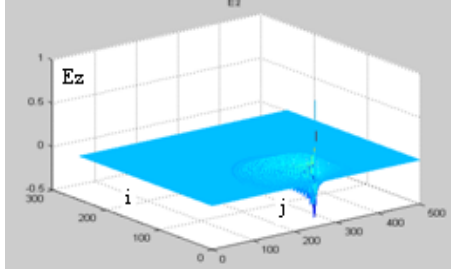


Şekil 7. Elektrik Alan Şiddetinin z-bileşeni E_z

6.3. Dielektrik Katman Altında EM Dalganın Yayılımı

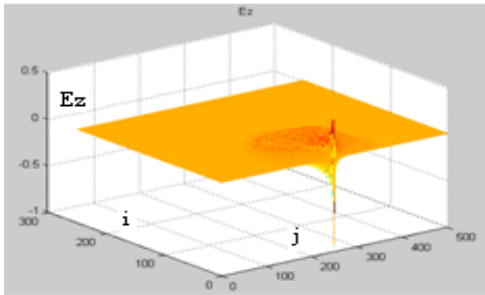
Buraya kadar elde edilen sonuçlar serbest uzayda dielektrik sabitinin $\epsilon_r=1$ olduğu durumlar için geçerli olduğundan dielektrik sabitinin 1’den fazla olduğu durumlar, örneğin toprak altı veya kum altı durumların simülasyonu bu bölümde incelenmiştir. $\epsilon_r=4$ seçilmiştir. Bu durumda

$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{1}{4}$ olur. Metal yani yansıma olmadığı durum için elde edilen Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Elektrik Alan Şiddetinin z-bileşeni E_z

Burada ortamın toprak olması nedeniyle sinyalin zayıflaması beklenmektedir. Sinyaldeki ikinci terimler 0.5 yerine 0.25 katsayısı ile çarpıldığından sinyal zayıflamıştır. Bu durum Şekil 9'da da görülmektedir.

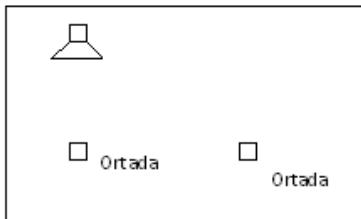


Şekil 9. Elektrik Alan Şiddetinin z-bileşeni E_z

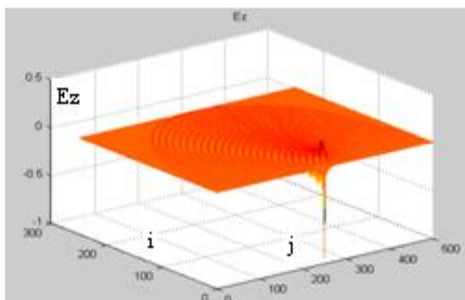
6.4. Yan Yana İki Metalin Görüntülenmesi

Bu durum için iki metal serbest uzayın orta bölgesine konmuştur (Şekil 10). Durumu simüle etmek amacıyla ikinci metalden de yansıma olup, olmadığının gözlemlenmesi amaçlanmıştır.

Serbest uzay ortamında iki metal yan yana konularak, elektrik alan şiddetinin z-bileşeni, E_z Şekil 11 görüldüğü gibi elde edilmiştir..



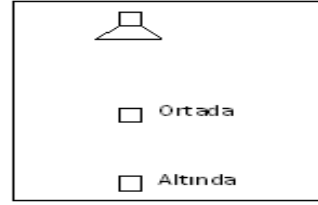
Şekil 10. Yan yana iki metalin olduğu durum



Şekil 11. Elektrik Alan Şiddetinin z-bileşeni E_z

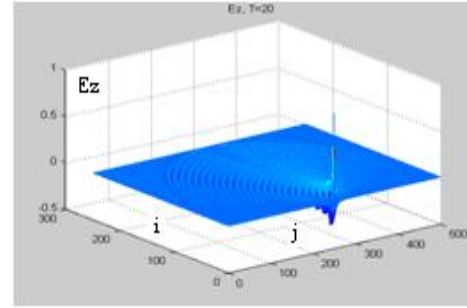
6.5. Alt Alta İki Metalin Görüntülenmesi

Burada iki metal serbest uzayın orta bölgesine alt alta konmuştur. Bu durumun senaryosu Şekil 12'de sunulmuştur.

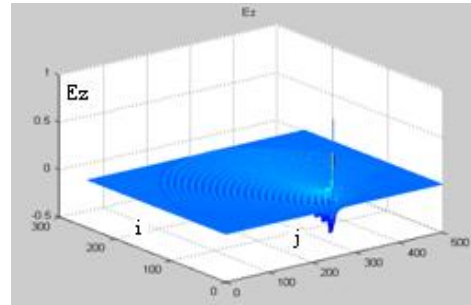


Şekil 12. Alt alta iki metalin olduğu durum

Bu durumu da ikinci metalden de yansıma olup, olmadığının gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Yine iki metalin yansıma olduğu durumda (Şekil 13) ve yansıma olmadığı durumda (Şekil 14) elektrik alanları farkı hesaplatılarak sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 13. Ortaya alt alta konan iki metalden yansıyan E_z elektrik alan üç boyutlu görüntüsü



Şekil 14. Ortaya alt alta konan iki metalden yansısız E_z elektrik alanının üç boyutlu görüntüsü

7. Sonuç Ve Öneriler

Bu çalışmada YNR ve FDTD yöntemleri araştırılmıştır. YNR radarları ile yerin altına elektromanyetik dalga gönderip yansıyan dalgadan yararlanarak yer altı görüntülenmiştir. İki tekniğin birleştirilmesi amaçlanmış ve çalışmada FDTD denklemlerinden yararlanılarak EM dalga yayılımı yüksek bir frekans için elde edilmiş; ancak boyutların yeterince fazla olmaması nedeniyle kenar yansımaları oluşmuştur. Yansımaları ortadan kaldırmak için, boyutlar ve işlem süresi artırılmış ve daha iyi bir yayılım elde edilmiştir. EM dalga kaynağı önce üst taşınmış ve sinyalin bozulmadan üst bölgeden alt bölgeye çalışma ortamına yayıldığı görülmüştür. Bu noktada çalışma bölgesine metal konmuş ve elektrik alan

görüntülerinde yansıma olduğu görülmüştür. Elektrik alanındaki bu yansımadan yararlanılarak $\vec{E}$ elektrik alanının farkı $= \vec{E}$ (yansımalı durum) - $\vec{E}$ (yansıma olmadığı durum) değeri hesaplatılmıştır. Bu farktan yararlanılarak metalin konumunun görüntülenebildiği gözlemlenmiştir. Bu uygulama daha sonra yan yana ve alt alta iki metal için aynı algoritma mantığıyla tekrarlanmış ve aynı şekilde yan yana ve alt alta iki metal konumlarında gözlemlenmiştir.

Çalışmanın devamında serbest uzay yerine dielektrik ortam ele alınmış ve dielektrik sabiti değiştirilerek elektrik alan terimlerin katsayı 2'ye bölünmüş ve beklendiği gibi sinyalin zayıfladığı ve derinlere inemediği görülmüştür. Burada derinlere inmek için frekansın azalması gerekir, ancak bu durumda çözünürlük zayıf olacaktır. Pratik uygulamalarda mayın veya patlayıcı düzeneklerin fazla derine konmadığı dikkate alınır, uygulamanın pratik çözümlere en azından algoritma mantığı seviyesinde katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Çalışmada kaynak olarak kullanılan sinyal;

$$\cos(2*\pi*f*\Delta t*(n+1))$$

şeklinde belirlenmiştir. Bu da çözünürlüğün iyi olmasını sağlamıştır.

8. Kaynakça

1. Daniels, D. J., "Ground Penetrating Radar 2nd ed.", *The Institution of Electrical Engineers*, 1-246 (2004).
2. Mayın Tespit Sistemleri (MTS) Geliştirilmesi Projesi GPR Simülasyonu Sonuç Raporu", *Bilkent Üniversitesi MTS Proje Grubu*, 1-5 (1999).
3. Yiğit, E., "Elektromagnetik Alan Ölçümlerinde Yeryüzündeki Nesnelerin Tespit Edilmesi ve Yere Nüfuz Eden Radar (YNR) Görüntülerinin Elde Edilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, 1-83 (2007).
4. Yee, K. S., "Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell Equations in Isotropic Media", *IEEE Transactions on Antennas and Propagations*, 302-307 (1966).
5. Sullivan, D., "Electromagnetic Simulation Using The FDTD Method", *IEEE Press*, New York, 1-109, (2000).
6. Taflov, A., "Computational Electromagnetics", *Artech House*, 65-66 (1995).

Akım ve Gerilim Takipçileri ile Tasarlanmış Evrensel Tip Çok Çıkışlı Filtre

Halil Alpaslan ¹Erkan Yüce ²^{1,2} Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, 20017
Kınıklı / DENİZLİ¹ e-posta: alpaslanster@gmail.com² e-posta: erkanyuce@yahoo.com

Özetçe

Bu çalışmada akım-modlu çok çıkışlı evrensel tip filtre devresi önerilmiştir. Önerilen devrede birim kazançlı hücreler olarak bilinen iki tane akım takipçisi, bir tane gerilim takipçisi ve iki tane bir ucu topraklı kondansatör kullanılmıştır. Devreye harici olarak direnç bağlamak yerine birim kazançlı hücrelerin x -terminallerindeki iç dirençlerinden yararlanılmıştır. Simülasyon sonuçları mevcut teorik bilgi ile uyumlarını göstermek için sunulmuştur.

1. Giriş

Yüksek çevrim kazancı gerektiğinde gerilim modlu devreler, akım modlu devrelere tercih edilebilir. Bunun yanı sıra tasarım kolaylığı, basitlik tercih ediliyorsa akım modlu devreler, gerilim modlu devrelere nazaran tercih edilebilir [1]. Akım modlu devreler olarak bilinen Akım Taşıyıcılar (CC); ilk olarak 1968’de birinci kuşak akım taşıyıcılar [2], sonrasında 1970’de ikinci kuşak akım taşıyıcılar [3] ve 1995’de üçüncü kuşak akım taşıyıcılar [4] olmak üzere üç gruba ayrılabilirler.

Akım taşıyıcılar, gerilim modlu eşlenikleri olan işlemsel kuvvetlendiricilere göre daha iyi bant genişliği, daha iyi doğruluk, tasarım kolaylığı gibi avantajlara sahiptirler. Bu avantajlarının yanı sıra akım taşıyıcılar, ideal olmayan akım kazancı (α) ve ideal olmayan gerilim kazancı (β) sahiptirler. İdeal olmayan bu iki etkiden dolayı, tasarlanan devrelerin bant genişliği, dinamik aralık, çıkış genliklerindeki azami değişim hızı gibi özellik değerlerinde sınırlamalar olmaktadır. Bu sınırlamaları azaltmak için Birim Kazançlı Hücreler olarak bilinen akım takipçileri ve gerilim takipçileri ile tasarım ön plana çıkmıştır [5].

Birim kazançlı hücrelerin kullanımı, devre tasarımını daha da basitleştirir. Şu ana kadar yapılan çalışmalar arasında akım takipçileri ve gerilim takipçileri kullanılarak tasarlanmış pek çok akım modlu filtre tasarımı mevcuttur. Bir tane akım takipçisi ve altı adet pasif devre elemanı kullanarak, akım modlu düşük giriş empedanslı tüm-geçiren ve çentik filtre çıkışı veren

devre [6], birden fazla gerilim takipçisi, akım takipçisi ve sekiz adet pasif devre elemanı kullanılarak hem akım modlu hem de gerilim modlu olarak tasarlanmış alçak-geçiren, bant-geçiren, yüksek-geçiren ve çentik filtre çıkışları veren devre [7], birden fazla birim kazançlı hücre ve sekiz adet pasif devre elemanı kullanılarak alçak-geçiren, bant-geçiren, yüksek-geçiren, tüm-geçiren ve çentik filtre çıkışları veren devre [8], üç tane birim kazançlı hücre ve birinci devrede dört adet, ikinci devrede beş adet pasif devre elemanı kullanılarak tasarlanmış evrensel tip çok çıkışlı filtre devreleri [9], beş tane birim kazançlı hücre, üç ve üçten fazla pasif devre elemanı kullanılarak tasarlanmış üç giriş ve tek çıkışlı evrensel tip filtre devreleri [10-11] ve tek giriş çok çıkışlı evrensel tip filtre devreleri [12] literatürde sunulmuş devrelere örnek olarak verilebilir.

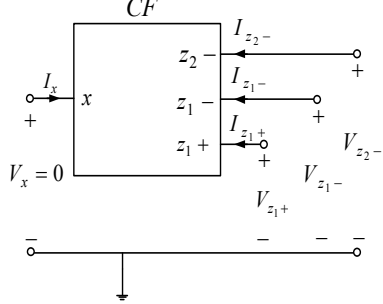
Bu çalışmada iki tane akım takipçisi, bir tane gerilim takipçisi ve minimum sayıda pasif devre elemanı kullanılarak iki girişli çok çıkışlı evrensel tip filtre tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan filtre devresi, entegre devre fabrikasyonuna uygundur ve yüzen tip harici olarak bağlanmış pasif devre elemanı içermemekte yalnızca bir ucu topraklı iki tane kondansatör içermektedir. Ayrıca tasarlanmış filtre devresinin çıkışları, V_c kontrol gerilimi ile kontrol edilebilmektedir.

Bu özelliklere ek olarak devre, harici olarak bağlı herhangi bir direnç elemanı içermemektedir. Harici dirençlerin yerine pasif devre elemanı gibi, birim kazançlı hücrelerin x -uçlarından gözlenen iç parazitik dirençler kullanılmıştır.

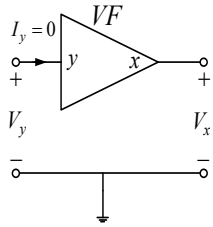
2. Birim Kazançlı Hücreler

Akım takipçileri (CF) ve gerilim takipçileri (VF) birim kazançlı hücreler olarak bilinirler ve bir akım taşıyıcısından kolayca elde edilebilirler [13]. Şekil 1’de verilmiş olan akım takipçisinin giriş gerilim değeri V_x ve Şekil 2’de görülen gerilim

takipçisinin giriş akım değeri I_y sıfıra eşittir. Ayrıca akım takipçilerinin giriş dirençleri düşük “idealde sıfır”, çıkış dirençleri yüksek “idealde sonsuz” değere sahiptir. Buna paralel olarak bir gerilim takipçisinin giriş direnci yüksek “idealde sonsuz”, çıkış direnci düşük “idealde sıfır” değere sahiptir.



Şekil 1. Akım takipçisi sembolü



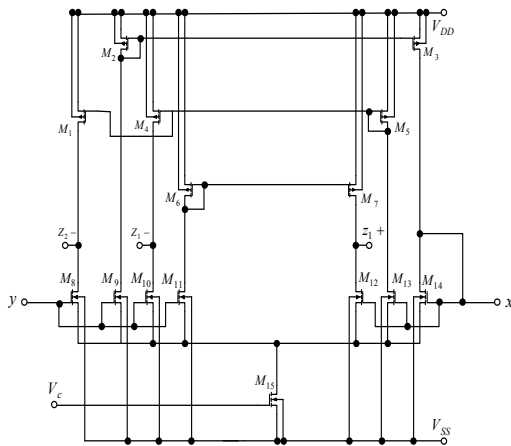
Şekil 2. Gerilim takipçisi

$$I_{z+} = \alpha I_x, I_{z-} = -\gamma I_x, V_x = 0 \quad (1.a)$$

$$V_x = \beta V_y, I_y = 0 \quad (1.b)$$

α ve γ ideal olmayan akım kazançları, β ideal olmayan gerilim kazancı, V_x , V_y ve V_z sırasıyla x -terminali, y -terminali ve z -terminali gerilimleri, I_x x -terminali akımı, I_y y -terminali akımı, I_{z+} akım takipçisinin pozitif çıkış terminalinin akımı, I_{z-} ise negatif çıkış terminallerinin akımlarını gösterir. Denklem (1.a) akım takipçisinin uç denklemlerini ve denklem (1.b) gerilim takipçisinin uç denklemlerini belirtmektedir.

3. Önerilen Filtre Devresi



Şekil 3. Akım taşıyıcı içyapısı [14]

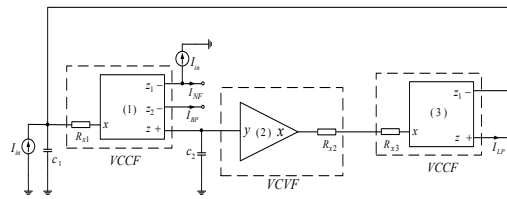
Önerilen devrede, Şekil 3’de verilmiş olan iç yapı kullanılmıştır. Bu içyapı için geçiş iletkenlik değerleri $g_{M8} \approx g_{M9} \approx g_{M10} \approx g_{M11} \approx g_{M12} \approx g_{M13} \approx g_{M14} \approx g_{MD}$ olmak üzere, x -ucu direnci denklem (2) de verilmiştir.

$$R_x \approx \frac{1}{g_{MD}} \quad (2)$$

Tablo 1. Transistör boyutları

	TRANSİSTÖR	W (μM)	L (μM)
PMOS	M ₁ , M ₂ , M ₃ , M ₄ , M ₅ , M ₆ , M ₇	80	1
NMOS	M ₈ , M ₉ , M ₁₀ , M ₁₁ , M ₁₂ , M ₁₃ , M ₁₄	40	1
	M ₁₅	75	1

Şekil 4’ de, önerilen evrensel tip çok çıkışlı filtre devresinin sembolik gösterimi verilmiştir. Bu devrede verilmiş içyapıdaki y -ucunun topraklanması ile elde edilmiş iki tane gerilim kontrollü akım takipçisi (VCCF), yine kullanılan içyapıdaki z -uçlarının topraklanması ile elde edilmiş bir tane gerilim kontrollü gerilim takipçisi (VCVF) kullanılmıştır. Çentik filtre, bant-geçiren filtre, alçak geçiren filtre çıkışları ayrıca bu çıkışların birleştirilmesi ile tüm geçiren filtre, yüksek geçiren filtre çıkışları elde edilmiştir. Bu çıkışlar için; R_{x1} bir numaralı gerilim kontrollü akım takipçisinin x -terminal direnci, R_{x2} gerilim kontrollü gerilim takipçisinin x -terminal direnci, R_{x3} üç numaralı gerilim kontrollü akım takipçisinin x -terminal direnci ve ideal olmayan kazançlar (“ $i=1, 3$ ” akım takipçilerinin numaralarını, “ $j=2$ ” gerilim takipçisinin numarasını ve “ $k=1, 2$ ” akım takipçilerinin negatif çıkış veren uçlarını göstermek üzere) α_i , β_j , γ_{ik} dahil edilerek elde edilmiş denklemler aşağıda verilmiştir.



Şekil 4. Önerilen filtre devresi

$$D(s) = s^2 R_{x1} (R_{x2} + R_{x3}) C_1 C_2 + s (R_{x2} + R_{x3}) C_2 + \alpha_1 \beta_2 \gamma_{31} \quad (3)$$

olmak üzere,

$$\frac{I_{NF}}{I_{in}} = - \frac{s^2 R_{x1} (R_{x2} + R_{x3}) C_1 C_2}{D(s)} - \frac{s (R_{x2} + R_{x3}) C_2 (1 - \gamma_{11}) + \alpha_1 \beta_2 \gamma_{31}}{D(s)} \quad (4.a)$$

$$\frac{I_{BP}}{I_{in}} = \frac{s (R_{x2} + R_{x3}) C_2 \gamma_{12}}{D(s)} \quad (4.b)$$

$$\frac{I_{LP}}{I_{in}} = \frac{\alpha_1 \alpha_3 \beta_2}{D(s)} \quad (4.c)$$

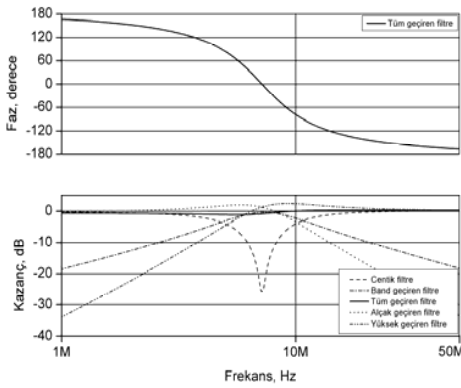
denklem (3) göz önünde bulundurularak w_0 ve Q parametreleri şu şekilde hesaplanır:

$$w_0 = \sqrt{\frac{\alpha_1 \beta_2 \gamma_{31}}{R_{x1}(R_{x2} + R_{x3})C_1 C_2}} \quad (5)$$

$$Q = \sqrt{\frac{\alpha_1 \beta_2 \gamma_{31} R_{x1} C_1}{(R_{x2} + R_{x3})C_2}} \quad (6)$$

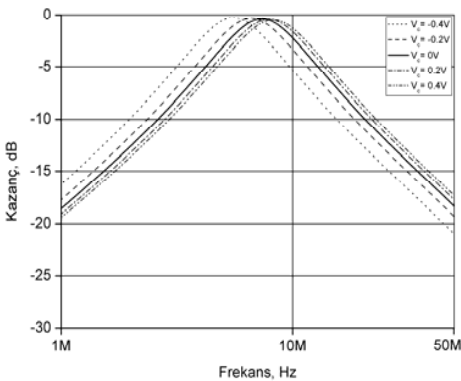
4. Simülasyon Sonuçları

Önerilen filtre devresi için besleme kaynaklarının gerilimleri $V_{DD} = -V_{SS} = 1.5V$ olarak ayarlanmıştır. Akım taşıyıcısının x -ucu direnç değerleri $V_c = 0V$ kontrol gerilim için $R_{x1} = R_{x2} = R_{x3} = 287\Omega$ ve kullanılan kapasitör değerleri $C_1 = 90pF$, $C_2 = 30pF$ 'tır. Standart $0.25\mu m$ CMOS teknolojisine göre bu değerler doğrultusunda yapılan simülasyon sonucunda devrenin ürettiği: çentik filtre, bant-geçiren filtre, alçak-geçiren filtre, yüksek-geçiren filtre ve tüm-geçiren filtre çıkışları Şekil 5'de verilmiştir.



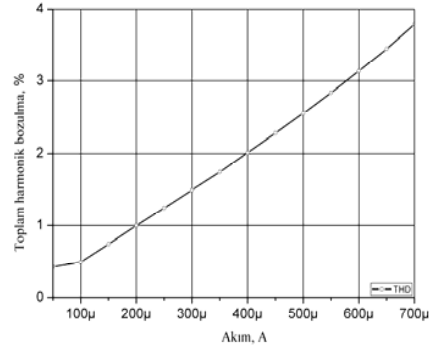
Şekil 5. Filtre çıkışları

Evrensel tip filtre devresinin V_c kontrol gerilimine göre kontrol edilebilir olduğu Şekil 6'da gösterilmiştir.



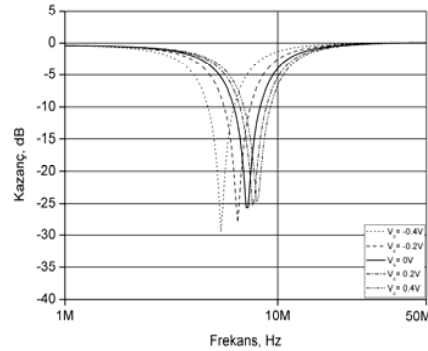
Şekil 6. V_c değişimine göre kazanç grafiği

x -ucu direnç değerleri $R_{x1} = R_{x2} = R_{x3} = 287\Omega$, kontrol gerilimi $V_c = 0V$, kapasitör değerleri $C_1 = 90pF$ ve $C_2 = 30pF$ iken, girişine uygulanan $f_0 = 7.54MHz$ frekanslı bir sinüs sinyalinin genliği göz önüne alınarak, bant-geçiren filtre çıkışına $R = 1k\Omega$ değerinde bağlanan yük üzerinden geçen akıma göre devrenin ürettiği toplam harmonik bozulma grafiği Şekil 7'de verilmiştir. Grafikten görüleceği gibi toplam harmonik bozulma giriş genlik değeri $700\mu A$ iken dahi %4'ün altındadır.



Şekil 7. Giriş akımına göre THD değişimi

Şekil 8'de V_c kontrol gerilimi değeri değişimine göre çentik filtre çıkış grafiği verilmiştir.



Şekil 8. Çentik filtre çıkışı

5. Sonuç

Önerilen filtre devresi, entegre devre fabrikasyonu için elverişli olup yapılan simülasyon sonuçları ile teorik bilgi içeriği birbirine uygundur. Evrensel tip filtre devresine harici olarak pasif devre elemanlarından direnç/dirençler bağlanmadığı için minimum sayıda pasif devre elemanı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 7'den görüleceği gibi, devrenin ürettiği toplam harmonik bozulma değeri oldukça düşüktür. Bu özelliğin yanı sıra önerilen devre, V_c kontrol gerilimi ile kontrol edilebilmekte dolayısıyla farklı frekanslarda çalıştırılabilmektedir.

6. Kaynakça

- [1]. Schmid, H. "Why the terms 'current mode' and 'voltage mode' neither divide nor qualify circuits", *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2:29-32, USA, 26-29 May 2002.
- [2]. Smith, K.C. ve Sedra, A.S. "The current conveyor – a new circuit building block", *Proc. IEEE*, 56(8): 1368-1369, 1968.
- [3]. Sedra, A. ve Smith, K.C. "A second-generation current conveyor and its applications", *IEEE Transactions on Circuit Theory*, 17(1):132-134, 1970.
- [4]. Fabre, A. "Third generation current conveyor : a new helpful active element", *Electronic Letters*, 31 (5):338-339, 1995.
- [5]. Weng, R.-M., Lai, J.-R. ve Lee, M.-H. "New universal biquad filters only two unity-gain cells", *International J. Electronics*, 87(1):57-61, 2000.
- [6]. Ergun, E. ve Ulutas, M. "Low input impedance current-mode allpass and notch filter employing single current follower", *14th international conference on MIXDES Design of Integrated Circuits and Systems*, 638-640, Poland, 21-23 June 2007.
- [7]. Gupta, S. S. ve Senani, R. "New voltage-mode/current-mode universal biquad filter using unity-gain cells", *International Journal of Electronics*, 93(11):769-775, 2006.
- [8]. Chun-Ming, C., Tai-Shan, L., Tai-Yung, Y., En-Shang, L., Cheng-Hao, T. ve Chun-Li, H. "Novel Universal current-mode filters using unity-gain cells", *International Journal of Electronics*, 88(1): 23-30, 2001.
- [9]. Ro-Min, W. ve Maw-Huei, L. "Novel universal biquad filters using only three followers", *International Journal of Electronics*, 82(6):621-628, 1997.
- [10]. Chih-Lung, L., R-Min, W., Sheng-Yu, P., Maw-Huei, L. ve Te-Son, K. "A new three-input and one-output current-mode universal filter using unity-gain cells", *IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems*, 245-247, 24-27 Nov 1998.
- [11]. Abuelma'atti, M. T. ve Al-Qahtani, M. A. "Current-mode universal filters using unity-gain cells", *Electronic Letters*, 32(12):1077-1079, 1996.
- [12]. Alzahr, H.A. ve Ismail, M. "Current-mode universal filter using unity gain cells", *Electronic Letters*, 35(25):2198-2200, 1999.
- [13]. Ferri, G. ve Guerrini, G.C. "Low voltage, low power CMOS current conveyors", Kluwer Academic Publishers, 1.edition, 2003.
- [14]. Chaisricharoen, R., Chipipop, B. ve Sirinaovakul, B. "CMOS CCCII: Structures, characteristics and considerations", *International Journal of Electronics and Communications (AEU)*, 64:540-557, 2010.

Yalnızca Topraklanmış Pasif Elemanlı Yeni Evrensel Yüzen Tip İmmitans Fonksiyon Simülatörleri

Halil Alpaslan ¹

Erkan YÜCE ²

^{1,2} Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 20017
Kınıklı / Denizli

¹ e-posta: alpaslanster@gmail.com

² e-posta: erkanyuce@yahoo.com

Özetçe

Akım kontrollü akım taşıyıcılar (CCCIIs); bir ucu topraklı ya da yüzen tip akım kontrollü frekansa bağımlı direnç (FDNR), kapasite çarpanı, bobin simülatörü ve empedans çevirici gibi elemanların tasarımında sıkça kullanılmaktadır. Bu aktif elemanlar tek çıkışlı veya çok çıkışlı biçimlerde de tasarlanabilmektedir. Bu çalışmada, iki çıkışlı akım kontrollü akım taşıyıcılar (DO-CCCIIs) kullanılarak pasif eleman seçimine bağlı yüzen tip negatif/pozitif bobin simülatörü, kapasite çarpanı ve FDNR devrelerini sağlayan iki tane devre önerilmiştir. Önerilen bobin tasarımı, ikinci dereceden bant söndüren süzgeç devresine yerleştirilerek SPICE simülasyonu ile performansı gösterilmiştir.

1. Giriş

Yüksek mertebeden immitans fonksiyonu simülatörü [1], tek akım taşıyıcısı kullanarak gerçekleştirilen immitans fonksiyon simülatörü [2], yüzen tip immitans fonksiyon simülatörü [3], negatif immitans fonksiyon simülatörü [4] evrensel tip immitans fonksiyon simülatörü [5], yüksek dereceli immitans fonksiyon simülatörü [6] gibi çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Yüzen tip bobin ve kapasite simülatörleri [7], elektronik ayarlanabilir kapasite çarpıcı ve frekansa bağımlı negatif direnç simülatörü [8], genelleştirilmiş empedans çevirici [9], dirençsiz yüzen tip immitans fonksiyon simülatörleri [10] gibi pek çok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Literatür araştırması yapıldığında, birinci, ikinci ve üçüncü kuşak akım taşıyıcıları ile gerçekleştirilen immitans fonksiyonu simülatör uygulamalarının pek çoğunun elektronik olarak ayarlamadan yoksun çalışmalar olduğu görülür. Ancak, çeşitli elektronik

olarak ayarlanabilir akım kontrollü akım taşıyıcı (CCCIIs) [11] tabanlı devreler tasarlanmıştır [12-13].

Akım-modlu aktif elemanlar gerilim-modlu eşdeğerleri ile karşılaştırıldığında; daha iyi doğrusallık, geniş bant aralığı, düşük güç tüketimi, basitleştirilmiş devre sistemleri, daha iyi dinamik aralık gibi özelliklere sahiptir [14-15].

Bu çalışmada, üç tane iki çıkışlı CCCII (DO-CCCIIs) kullanılarak iki tane yüzen tip immitans fonksiyon simülatör devresi önerilmiştir. Önerilen her iki simülatör devresi, daha önceden sunulan bir ucu topraklı pasif elemanlardan türetilmiştir. Her iki simülatör devresinde pasif elemanların eşleştirilme şartına gerek olmadığından ve yalnızca topraklanmış pasif elemanların kullanılmış olmasından dolayı tümleşik devre uygulamalarında imalatı oldukça kolaydır.

Önerilen simülatörlerden birinci immitans fonksiyon simülatörü; iki paralel admittansın toplama ve çıkarma işlemlerini yapabilirken, ikincisi de iki seri empedansın toplama ve çıkarma işlemini yapabilmektedir. Daha önce yayınlanmış topraklı evrensel immitans fonksiyon simülatörlerinin tersine; önerilen her iki devre, tüm değerlerinin bağımsız olarak ayarlanması ile yüzen tip özelliğine sahip $\mp L$, $\mp C$ ve $\mp R$ elemanlarını da gerçekleştirebilmektedir. SPICE programı kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları bu teoriyi doğrulamaktadır.

2. Devre Tanımlamaları

Çok yönlü aktif bir eleman olarak DO-CCCIIs, tüm uç akımları DO-CCCIIs ye doğru olmak üzere şu eşitliklerle ifade edilebilir: $I_y = 0, I_{z-} = -I_x$,

$I_{z+} = I_x$ ve $V_x = R_x I_x + V_y$. X ucunun iç direnci R_x , harici olarak bias akımları uygulanması ile elektronik olarak ayarlanabilir. Bipolar tasarım için, oda sıcaklığında termal gerilim $V_T \cong 26\text{mV}$ ve bias akımı I_0 olmak üzere $R_x = V_T / (2I_0)$ [11] dir. Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiş olan önerilen devreler sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4’te verilmiş sembolik eşdeğerleriyle gösterilmiştir. Şekil 1’de verilmiş olan ilk geliştirilen topoloji için kısa devre admitans matrisi şu şekildedir:

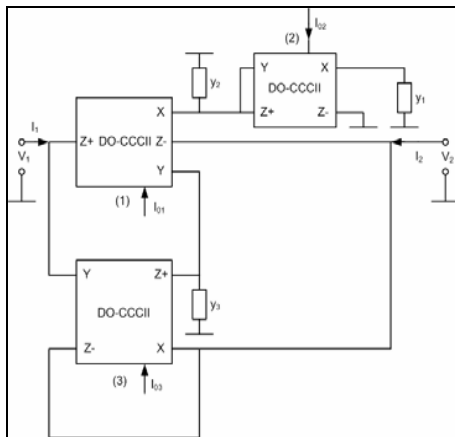
$$[Y_1] = \frac{1}{R_{x3}} \frac{y_1 - y_2}{y_3} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} = (Y_a + Y_b) \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Burada, $Y_a = y_1 / (R_{x3} y_3)$, $Y_b = -y_2 / (R_{x3} y_3)$, R_{x1} ve R_{x2} büyük bias akımlarının uygulanması ile yeteri kadar küçük seçilir. Örnek olarak, $y_1 = 0$ olarak seçilsin. Bu durumda:

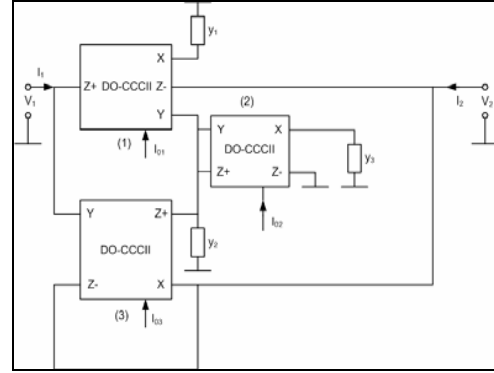
- Eğer $y_2 = G_2$ ve $y_3 = sC_3$ ise, negatif kayıpsız yüzen tip bobin elde edilir.
- Eğer $y_2 = sC_2$ ve $y_3 = G_3$ ise, negatif kayıpsız yüzen tip kapasitans çarpıcı elde edilir.
- Eğer $y_2 = G_2$ ve $y_3 = G_3$ ise, negatif yüzen tip direnç elde edilir.

Verilmiş olan durumlar (i – iii) da, eğer y_1 ve y_2 yer değiştirirse, sırasıyla pozitif sentetik bobin, kapasite çarpıcı ve direnç elde edilebilir. Eğer Şekil 1’de verilmiş olan topolojideki ikinci DO-CCCII’nın $Z+$ ve $Z-$ uçları yer değiştirilirse kısa devre admitans matrisi aşağıdaki forma dönüşür:

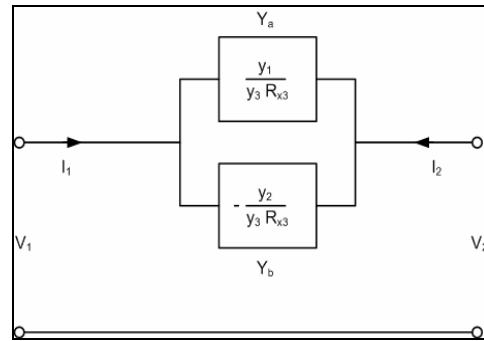
$$[Y_1] = \frac{1}{R_{x3}} \frac{y_1 + y_2}{y_3} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} = (Y_a - Y_b) \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$



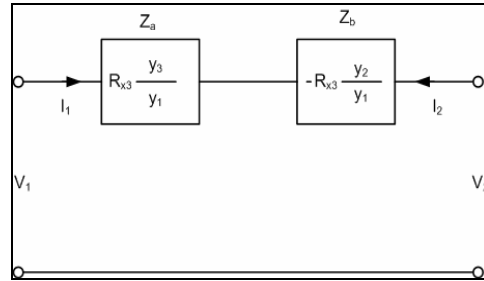
Şekil 1. Yalnızca topraklanmış pasif elemanlardan oluşan önerilen birinci devre topolojisi.



Şekil 2. Yalnızca topraklanmış pasif elemanlardan oluşan önerilen ikinci devre topolojisi.



Şekil 3. Şekil 1’deki topolojinin sembolik gösterimi.



Şekil 4. Şekil 2’deki topolojinin sembolik gösterimi.

Şekil 2’de verilmiş olan devre aşağıdaki kısa devre admitans matrisine karşılık gelir:

$$[Y_2] = \frac{1}{R_{x3}} \frac{y_1}{y_3 - y_2} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{Z_a + Z_b} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Burada $Z_a = R_{x3} y_3 / y_1$ ve $Z_b = -R_{x3} y_2 / y_1$ dir.

Eğer Şekil 2’deki ikinci DO-CCCII’nın $Z+$ ve $Z-$ uçları yer değiştirilirse, kısa devre admitans matrisi aşağıdaki şekle dönüşür:

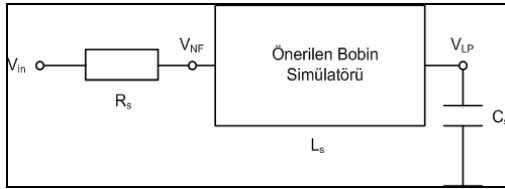
$$[Y_2] = \frac{1}{R_{x3}} \frac{y_1}{y_3 + y_2} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{Z_a - Z_b} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Örneğin, Eşitlik (3)'teki $y_2=0$ olarak seçilirse. Bu durumda

- Eğer $y_1 = G_2$ ve $y_3 = sC_3$ ise, pozitif kayıpsız yüzen tip sentetik bobin elde edilir.
- Eğer $y_1 = sC_2$ ve $y_3 = G_3$ ise, pozitif kayıpsız yüzen tip kapasitans elde edilir.
- Eğer $y_1 = G_2$ ve $y_3 = G_3$ ise, pozitif yüzen tip direnç elde edilir.

3. Uygulamalar

Devre uygulamalarında örnek olarak Şekil 1'de verilen devre topolojisi kullanılmıştır. Bu uygulamalardan bir tanesi Şekil 5'te gösterilen gerilim-modlu süzgeç uygulamasıdır.



Şekil 5. Gerilim-modlu bant geçiren süzgeç.

Şekil 5'te verilen süzgeç devresi analiz edildiğinde alçak geçiren, bant söndüren, yüksek geçiren ve bant geçiren süzgeç transfer fonksiyonları aşağıdaki gibi elde edilir:

$$H_{LP} = \frac{1}{s^2 L_s C_s + s C_s R_s + 1} \quad (5a)$$

$$H_{NF} = \frac{s^2 L_s C_s + 1}{s^2 L_s C_s + s C_s R_s + 1} \quad (5b)$$

$$H_{HP} = H_{NF} - H_{LP} = \frac{s^2 L_s C_s}{s^2 L_s C_s + s C_s R_s + 1} \quad (5c)$$

$$H_{BP} = 1 - H_{NF} = \frac{s C_s R_s}{s^2 L_s C_s + s C_s R_s + 1} \quad (5d)$$

Şekil 1'de verilmiş olan önerilmiş topoloji, Şekil 5'te verilen bobin simülasyonunun yerine kullanıldığı durumda $L_s = 1/(C_3 R_{x3} R_1) - 1/(C_3 R_{x3} R_2)$ dır. Açısal rezonans frekansı (w_0) ve kalite faktörü (Q), Eşitlik (5a - 5d)'den aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$w_0 = \frac{1}{\sqrt{L_s C_s}} \quad (6a)$$

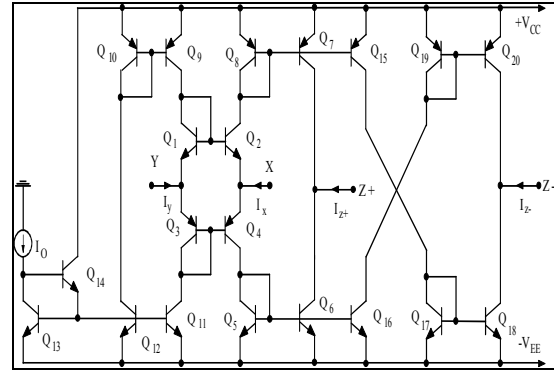
$$Q = \frac{w_0 L_s}{R_s} \quad (6b)$$

Eşitlik (6a) ve (6b) den Q ve w_0 'ı karıştırmaksızın R_s boyunca dikey olarak ayarlanabilir.

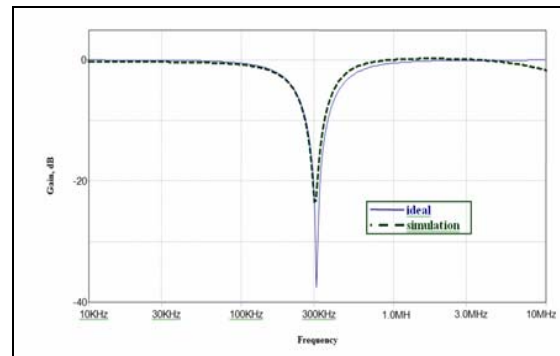
4. Simülasyon Sonuçları

Şekil 5'teki süzgeç devresinin simülasyonu, önerilen ilk devredeki DO-CCCII'lar ve $\mp 2.5V$ DC kaynak beslemeli Şekil 6'da verilmiş olan şematik uygulama kullanılarak yapılmıştır.

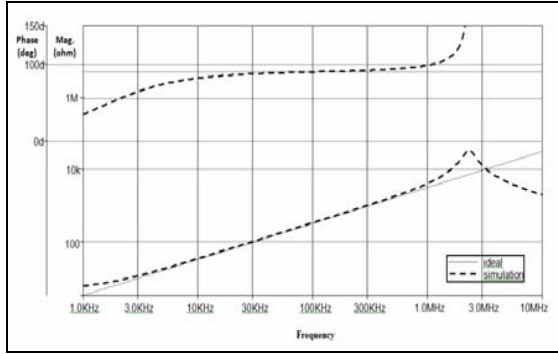
$f_0 = 318.3kHz$ ve $Q = 1$, $C_s = 0.5nF$, $R_1 = 0.5k\Omega$ ve bunlara ek olarak Şekil 1'deki devrenin iç dirençlerini $R_{x1} = R_{x2} = 26\Omega$, $R_{x3} = 1k\Omega$ ve $L_s = 0.5mH$ olarak elde etmek için $I_{01} = I_{02} = 500\mu A$ ve $I_{03} = 13\mu A$ olarak seçilmiştir. Ayrıca, $C_s = 0.5nF$ ve $R_s = 1k\Omega$ olarak alınmıştır. İdeal ve simülasyon sonucu Şekil 7'de verilmiştir. $L_s = 0.5mH$ olduğu durumda Şekil 1'deki yüzen tip bobin için faz ve genlik cevapları Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 6. BJT transistörler kullanılarak elde edilmiş DO-CCCII'nın iç yapısı.



Şekil 7. Bant söndüren süzgeç için ideal değerler ve simülasyon sonuçları.



Şekil 8. Şekil 1’de verilmiş olan yüzen tip bobin için faz ve genlik cevapları

Verilmiş olan simülasyon sonuçları beklenildiği gibi teoriyi iyi bir şekilde doğrulamaktadır. Bununla birlikte, konfigürasyonlarda belirtilen DO-CCCII’ların parazitik empedans ve ideal olmayan kazanç etkilerinden dolayı ideal ve simülasyon sonuçları arasında bir miktar fark olduğu görülmektedir.

5. Sonuç

Önerilen her iki devrede yalnızca bir ucu topraklanmış pasif elemanlarla oluşturulur ve pasif elemanların eşleştirilmesine ihtiyaç duyulmaz. Bu nedenle, tümleşik devre teknolojisine adapte etmek kolaydır. Gerçekleştirilen devrelerdeki bobinlerin, kapasitelerin ve dirençlerin değerleri üçüncü DO-CCCII’ların iç dirençleri ile elektronik olarak kontrol edilebilir. Elektronik olarak kontrol edilebilme özelliği sayesinde farklı I_0 akımları ile devreler farklı frekanslarda çalıştırılabilmektedir. Simülasyon sonuçlarından ve verilen denklemlerden görüleceği gibi önerilen devre topolojileri teorik bilgiyi desteklemektedir.

6. Kaynakça

- [1]. Liu S.-I. ve Yang C.Y., “Higher-order immittance function synthesis using CCCII’s”, *Electronics Letters*, 32(25):2295-2296, 1996.
- [2]. Wang, H.-Y. ve Lee, C.-T., “Immittance function simulator using a single current conveyor”, *Electronic Letters*, 33(7):574-576, 1997.
- [3]. Ozoguz, S. ve Acar, C., “On the realization of floating immittance function simulators using current conveyors”, *Int. J. Electronics*, 85(4):463-475, 1998.

- [4]. Abuelma’atti, M.T. ve Tasadduq, N.A., “New negative immittance function simulators using current conveyors”, *Microelectronics Journal*, 30(9):911-915, 1999..
- [5]. Çiçekoğlu, O., Toker, A. ve Kuntman, H., “Universal immittance function simulators using current conveyors”, *Computers & Elect. Eng.*, 27(3):227-238, 2001.
- [6]. Horng, J.-W., Hou, C.L., Chang C.-M., Yang H. ve Shyu W.-T., “Higher-order immittance functions using current conveyors”, doi : 10.1007/s10470-009-9298-6, 2009.
- [7]. Yuce, E., “On the realization of floating simulators using only grounded passive components”, *Analog Integr. Circ. Sig. Process*, 49(2):161-166, 2006.
- [8]. Abuelma’atti, M.T. ve Tasadduq, N.A., “Electronically tunable capacitance multiplier and frequency-dependent negative-resistance simulator using the current-controlled current conveyor”, *Microelectronics Journal*, 30(9):869-873, 1999.
- [9]. Khan I. ve Zaidi M. “A novel generalized impedance converter using single second generation current conveyor”, *Active and Passive Elec. Comp.*, 26(2):91-94, 2003.
- [10]. Yuce, E., Minaei, S. ve Cicekoglu, O., “Resistorless floating immittance function simulators employing current controlled conveyors and a grounded capacitor”, *Electrical Engineering*, 88(6):519-525, 2006.
- [11]. Fabre, A., Saaid, O., Wiest, F. ve Boucheron, C., “High frequency applications based on a new current controlled conveyor”, *Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, IEEE Transactions on*, 43(2):82-91, 1996.
- [12]. Minaei S. ve Türköz S., “Current-mode electronically tunable universal filter using only plus-type current controlled conveyors and grounded capacitors”, *ETRI Journal*, 30:292-296, 2004.
- [13]. Minaei, S., Cicekoglu, O., Kuntman, H. ve Turkoz, S., “New current-mode lowpass, bandpass and highpass filters employing CCCII’s”, *Circuits and Systems, 2001. MWSCAS 2001. Proceedings of the 44th IEEE 2001 Midwest Symposium on*, 08/14/2001 - 08/17/2001, Dayton, OH, USA 1:106-109, 2001..
- [14]. Toumazou, C., Lidgey, FJ ve Haigh DG. “*Analog IC design: the current-mode approach*”, ISBN: 978-0863412974 London: Peter Peregrinus, 1993.
- [15]. Ferri, G., Guerrini N.C., “*Low-voltage low-power CMOS current conveyors*”, ISBN: 978-1402074868 London : Kluwer Academic Publishers, 2003.

Merkezden Beslemeli Yarım Dalga Boyu Dipol Antenin Besleme Boşluk Miktarı Değişiminin HFSS ile Analizi

Mehmet Sönmez¹

Ayhan Akbal²

^{1,2}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ

¹e-posta: msonmeztr@gmail.com.tr

²e-posta: ayhanakbal@gmail.com.tr

Özetçe

Yapılan çalışmada merkezden beslemeli yarım dalga boyu dipol antenin parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Parametre değişiklikleri, dipol antenin besleme boşluk miktarının artırılmasıyla ışıma direncinin değişimi ve anten kazancının değişimi üzerine olmuştur. Ayrıca yapılan çalışmada etkin uzunlukla ilgili teorik açıklamalar yapılarak besleme boşluk miktarının değişimiyle etkin uzunluğun değişip değişmediği de gözlenmiştir. Bazı temel anten parametreleri açıklanarak ışıma örüntüleri matlab programında çizdirilmiş olup teorik açıklamalar yapılmıştır. Çalışmada yapılan tasarımların tümü Yüksek Frekans Yapı Simülatörü (HFSS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

1. Giriş

Son zamanlarda kablosuz haberleşme hızlı bir şekilde gelişme göstererek günümüz insanların iletişim ihtiyacını karşılamak için üzerinde çalışılan en önemli konulardan birisi haline gelmektedir [1]. Kablosuz şekilde veri alıp göndermek için veri boyutuna da bağlı olarak geliştirilen antenler önemli mühendislik hesaplamalarıyla tasarlanarak kablosuz haberleşme sistemlerinin önemli bir parçası konumunda kullanıma sunulmaktadır. Tasarımı yapılan bu antenlerin ve kullanılacak diğer mikrodalga elemanların düşük maliyetle üretilmelerinin yanında yüksek verimlilik göstermeleri her zaman tercih edilen bir unsur olmaktadır [1].

Yaygın olarak kullanılan en basit antenlerin başında dipol antenler gelmektedir. Dipol antenler içerisinde en fazla kullanılan anten tipi yarım dalga boyu dipol antendir. Bu anten tipinin en çok kullanılmasıdaki ve bilinmesindeki neden ışıma direncinin yaklaşık olarak 73Ω olmasıdır [2]. Yaklaşık olarak karakteristik empedansı 75Ω veya 50Ω olan bazı iletim hatlarında hattın empedans eşleşmesini özellikle kolaylaştırmaktadır [2].

Teorik olarak merkezi beslenen bir dipolün besleme noktası boşluğu dalga boyundan oldukça küçük olmalıdır [3]. Eğer bu boşluk değiştirilirse anten özellikleri de değişecektir [3]. Bu özelliklerin başında anten ışıma direnci, maksimum ışıma yoğunluğu ve ışıyan güç gibi parametrik özellikler gelmektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde bu değişen parametreler içerisinde üzerinde en çok durulan ışıma direncinin değişimi olmuştur.

Besleme tekniği ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan birisi merkezden beslenen bir yarım dalga boyu dipol antenin eksen boyunca besleme noktasının değişimi ile ilgili yapılan çalışmadır [4].

Schelkunoff'un moment yöntemi kullanılarak yarım dalga boyu dipol antenin ışıma direncinin analizi ile ilgili çalışmalar

yapılmıştır [5]. Yapılan bu çalışmada z-ekseni boyunca yerleştirilmiş merkezden beslemeli bir dipol antenin ışıma direnci teorik olarak moment yönteminin kullanılmasıyla elde edilerek bu sonuçlar bilinen değerlerle karşılaştırılmıştır [5].

Tam dalga boyunda bir dipol antenin besleme boşluğunun değiştirilmesi ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir [6]. Yapılan bu çalışmada merkezden beslemeli dipol antenin besleme boşluğunun değişimiyle kazancının ve ışıma direncinin nasıl değiştiği açıklanmıştır [6].

Yapılan bu çalışmada yarım dalga boyu dipol antenin besleme boşluğunun uzunluğu değiştirilerek bazı anten parametrelerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Yapılan çalışmada HFSS programı kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçlarından ışıma direnci teorik olarak bulunmuştur.

2. Tasarım

HFSS programı sonlu elemanlar yöntemini kullanan yüksek frekanslarda çözüm yapan bir simülasyon programıdır. Programda tasarımı yapılacak olan anten ve kullanılmak istenen ortam için parametre ayarları yapılır. Anten için kullanılacak malzemenin parametre ayarları yapıldıktan sonra kullanılacak olan besleme şekli için port ayarları yapılır. Burada kullanılan besleme şekline göre kullanılacak olan port tümsel port olarak geçmektedir. Tümsel port seçilirken port direncinin ayarlanması da bu esnada gerçekleştirilir.

Yapıdan, ışıyan dalgayı emecek ve geri yansımaları önleyecek bir ışıma kutusu oluşturularak uzak alan parametrelerinin hesaplanması için gerekli ayarlamalar yapılmaktadır. Işıma kutusunun boyutları ayarlanırken dikkat edilmesi gereken en önemli konu ışıma alanı yönündeki uzunluğun ilgili frekansın çeyrek dalga boyu uzunluğunda olması gerektiğidir [7].

Simülasyon gerçekleştirilmeden önce doğrulama testi yapılarak simülasyondan önce hata oluşturabilecek bir durum söz konusu ise düzeltilir. Kullanıcı tarafından verilen parametrelerle anten analiz edilir ve analiz sonuçları iki boyutlu ve üç boyutlu olarak gözlenebilir.

Bu çalışmada HFSS programının parametre hesaplamalarından faydalanılarak yarım dalga boyu dipol antenin besleme boşluğu değiştirilerek bazı anten parametreleri üzerindeki değişimlere değinilmiştir. Besleme boşluğunun değiştirilmesi tümsel portun uygulandığı düzlemin boyutları değiştirilerek ve dipol antenin her bir silindirik şeklinin eksenler üzerinde başlama noktaları değiştirilerek gerçekleştirilmiştir.

3. Temel Anten Parametreleri

Antenlerin çalışmaları hakkında ayrıntılı bir şekilde bilgi sahibi olabilmek için temel anten parametreleri ile ilgili çalışmalar yapmak gerekir. Kısaca bu parametreleri anten ışıma eğrileri, yönelticilik, kazanç, verim, giriş empedansı, anten faktörü, huzme verimliliği, polarizasyon, ışıma direnci, huzme genişliği diye sıralayabiliriz [8].

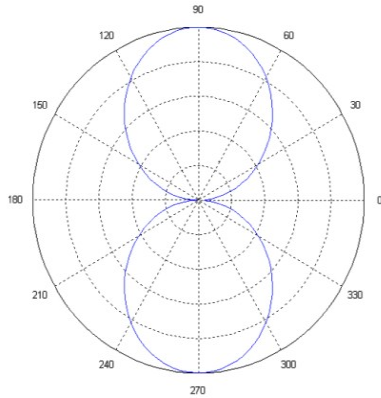
3.1. Anten Işıma Örüntüsü

Doğrusal bir dipolün E-düzlemi ışıma örüntüsü (1) denklemi kullanılarak çıkarılabilir.

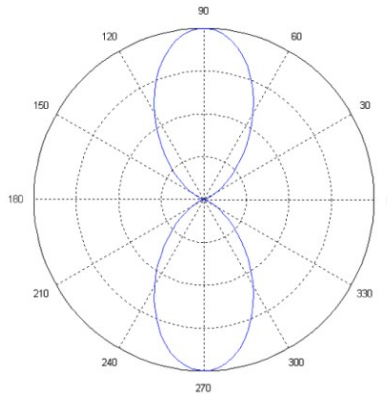
$$F(\theta) = \frac{\cos(\beta h \cos \theta) - \cos \beta h}{\sin \theta}$$

(1)

$F(\theta)$, doğrusal bir dipol antenin E-düzlemi örüntü fonksiyonunu ifade etmektedir. Işıma örüntüsü çizdirilecek olan antenin boyuna göre βh değeri farklı değerler almaktadır. Yarım dalga boyu dipol anten için $\beta h = \pi/2$ değerini alırken tam dalga boyu dipol anten için $\beta h = \pi$ değerini almaktadır. Yarım dalga boyu dipol anten için ve tam dalga boyu dipol anten için (1) denkleminin kullanılmasıyla elde edilen temel E-düzlem örüntüleri sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 1: Yarım dalga boyu dipol anten için E-düzlem örüntüsü



Şekil 2: Tam dalga boyu dipol anten için E-düzlem örüntüsü

3.2. Işıma Direnci

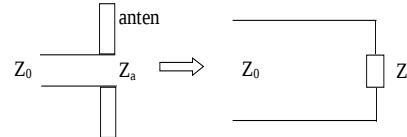
İletim hattının sonunda anten beslemesinin yapıldığı yerde akımın üzerinden aktığı bir yük bulunmakta olup bu yük giriş empedansı olarak adlandırılmaktadır [9]. Bu giriş empedansı ayrıca anten terminalindeki gerilimin akıma oranı diye de

tanımlanabilir [9]. Matematiksel olarak giriş empedansı denklem (2)’de olduğu gibi yazılabilir.

$$Z_a = \frac{V_{in}}{I_{in}} = R_a + jX_a$$

(2)

V_{in} , I_{in} ve X_a sırasıyla anten girişindeki akım, anten girişindeki gerilim ve antenin giriş reaktansdır. Şekil 3, antenin giriş empedans modelini göstermekte olup Z_0 , iletim hattının karakteristik empedansını ifade etmektedir.



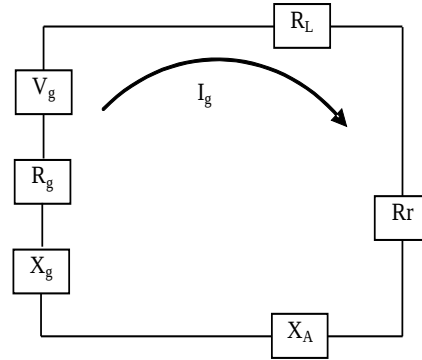
Şekil 3: Anten giriş empedans modeli.

Giriş empedansı karmaşık bir sayı olmak üzere iki reel bileşenden oluşmaktadır [9]. Denklem (3)’te bu bileşenlerin arasındaki eşitlik gösterilmektedir.

$$R_a = R_r + R_L$$

(3)

Denklem (3)’te R_r ışıma direnci ve R_L ise antenin kayıp direncidir. Verici durumundaki bir antenin Thevenin eşdeğer devresi Şekil 4’te gösterildiği gibidir.



Şekil 4: Anten Thevenin eşdeğer modeli.

Şekil 4’te V_g , R_g , X_g sırasıyla kaynak geriliminin tepe değeri, kaynak empedansının direnci, kaynak empedansının reaktansdır. Denklem (4), ışıma gücünü göstermektedir.

$$P_r = \frac{1}{2} |I_g|^2 R_r$$

(4)

Denklem (1)’de verilen örüntü fonksiyonu da kullanılarak yarım dalga boyu dipol anten için uzak alandaki elektrik alan fazörü denklem (5)’te olduğu gibi yazılabilir.

$$E_\theta = \eta_0 H_\phi = \frac{j60 I_m}{R} e^{-j\beta R} \left\{ -\frac{\cos[(\pi/2) \cos \theta]}{\sin \theta} \right\}$$

(5)

(5) denkleminde R antenden uzaklığı, β faz sabitini göstermekte olup E_θ ve H_ϕ ise sırasıyla dipol anten için elektrik alan ve manyetik alan ifadeleridir. Zamanda-ortalama Poynting vektörünün genliği ise (6) denkleminde gösterildiği gibidir [10].

$$P_{ort}(\theta) = \frac{1}{2} E_\theta H_\phi^* = \frac{15I_m^2}{\pi R^2} \left\{ \frac{\cos[(\pi/2)\cos\theta]}{\sin\theta} \right\} \quad (6)$$

Yarım dalga dipol antenden yayılan toplam güç zamanda-ortalama Poynting vektörünün integralinin büyük bir küre yüzeyinde alınmasıyla denklem (7) deki gibi elde edilebilir [10].

$$P_r = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi P_{ort}(\theta) R^2 \sin\theta d\theta d\phi \quad (7)$$

(6) denklemi de kullanılarak denklem (7) çözülmek istenirse eşitlik (8) elde edilmiş olur.

$$P_r = 36.54 I_m^2 \quad (8)$$

(3) denklemi kullanarak kayıpları da ihmal ettiğimizde yarım dalga boyu dipol antenin ışıma direncinin 73.1Ω olduğu görülmektedir [10].

4. Etkin Uzunluk

Verici durumdaki doğrusal bir anten için etkin uzunluk, akım dağılımının momentlerinin toplamı olan giriş akımının anten üzerindeki bütün noktalarda eşit akımın dağılımı gibi tanımlanabilir [3]. Alıcı durumundaki doğrusal bir anten için ise etkin uzunluk, antenin açık terminal uçları arasındaki gerilimin gelen elektrik alan şiddetine oranı olarak tanımlanabilir ve Schekonoff'un doğrusal bir antenin etkin uzunluğu için verdiği ifade denklem (9)'da görüldüğü gibidir [3].

$$|S|^2 = \frac{4R_i A_{eff}}{\eta} \quad (9)$$

A_{eff} değerinin ifadesi denklem (10)'da olduğu gibi yazılabilir.

$$G = \frac{4\pi A_{eff}}{\lambda^2} \quad (10)$$

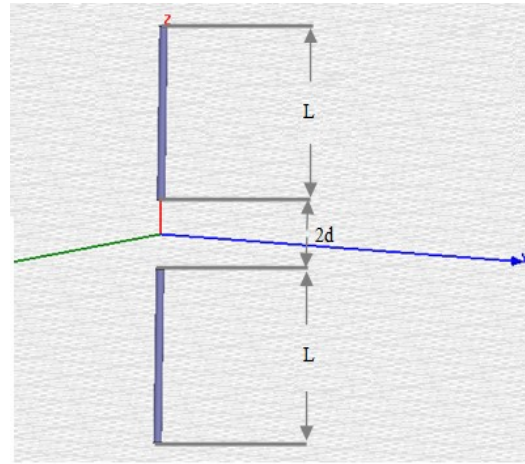
Eşitlik (9) ve eşitlik (10) kullanılarak denklem (11) elde edilebilir.

$$|S|^2 = \frac{GR_i \lambda^2}{\pi \eta} \quad (11)$$

İdeal durumlar için veya kayıpların çok önemsenmediği durumlarda $R_i = R_r$ olarak alınabilir. (11) denkleminde;
 R_i = Anteninin giriş direnci
 η = Boş uzay empedansı
 G = Anten kazancı
 λ = Çalışılan dalga boyu
 S = Etkin uzunluk

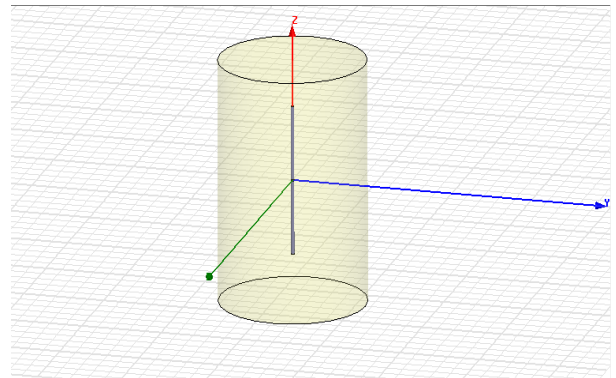
5. Yarım Dalga Boyu Dipol Antenin HFSS ile Analizi

HFSS simülasyon programında analizi yapılacak olan yarım dalga boyu dipol anten boyutları ST2261A anten deney setinde bulunan $\lambda/2$ dipol antenin boyutları referans alınarak oluşturulmuştur. Deney setinde bulunan yarım dalga boyu dipolün uzunluğu 17.2 cm, yarıçapı 2mm ve besleme boşluğu 2mm'dir. Deney setinde bulunan dipol antenin çalışma frekansı yaklaşık olarak 750 MHz olarak belirlenmiştir. Şekil 5'te merkezi beslemeli yarım dalga boyundaki bir dipol anten görülmektedir.



Şekil 5: Yarım dalga boyu dipol anten

Bu tasarım boyutları kullanılarak HFSS'te hazırlanmış dipol anten Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6: HFSS programında hazırlanmış dipol anten

Şekil 6'da görülen anten için simülasyon sonuçları Tablo 1'de görüldüğü gibidir.

Tablo 1: Dipol anten için simülasyon sonuçları

d/λ	S[m]	G	$R_r [\Omega]$
0.0025	0.1268	1.627	73.2

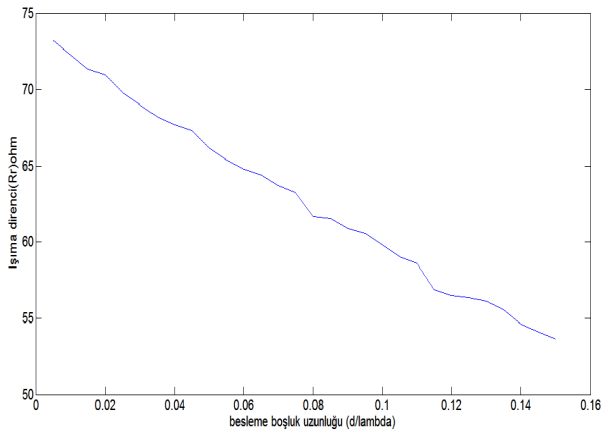
Tablo 1’de de görüldüğü gibi dipol antenin ışıma direnci teorik olarak bulunan değere yakın bir değer çıkmıştır. Ayrıca incelenecek olursa kazancın (G) da teorik değerlerle yakın olduğu görülmektedir. Bu tabloda elde edilen sayısal sonuçlar besleme aralığı 2mm (0.005 λ) olan yarım dalga boyu dipol anten içindir.

Besleme aralığı değiştirilerek elde edilen simülasyon sonuçları Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2 Besleme aralığı değişen anten için sonuçlar

d/λ	S[m]	G	$R_r [\Omega]$
0.05	0.1264	1.79	66.17
0.1	0.1266	2.00	59.32
0.15	0.1265	2.22	53.43

Dipol antenin ışıma direnci ve besleme boşluğu arasındaki değişim grafiksel olarak Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7: R_r - d/λ değişim grafiği

Şekil 7’den de görüldüğü gibi besleme boşluk uzunluğu arttıkça ışıma direnci azalmaktadır.

6. Sonuçlar

Yapılan çalışmada merkezden beslenen yarım dalga boyu uzunluğundaki bir antenin ışıma direncinin besleme noktası boşluğunun artmasıyla azaldığı görülmüştür. Ayrıca besleme noktası boşluğunun artmasıyla kazancın da arttığı görülmüştür. Etkin uzunluk değerinin besleme noktası boşluğunun değişimine göre yaklaşık olarak aynı değerde kaldığı izlenmiştir. İleride yapılacak olan çalışmalarda HFSS programı kullanılarak anten parametrelerinin değişimleri incelenerek mobil haberleşme sistemleri için tasarımlar gerçekleştirilebilir.

4. Kaynakça

1. Y. Z. Yin, J. P. Ma, Y. J. Zhao, H. L. Zheng, and Y. M. Guo, "Wideband Printed Dipole Antenna for Wireless LAN, " *IEEE Antennas Propagat. Soc.*, vol. 2B, pp.568–571, Jul. 2005.
2. Balanis, C. A., *Antenna Theory Analysis and Design*, 3rd Edition, Wiley&Sons, New York, 2005.
3. S. P. Kosta, M. D. Singh, R. P. Agarwal, "Theoretical investigations on the centre-fed full-wave dipole antenna with feed-points displaced along the axis of the dipole, " *India, IEE-IERE Proc.*, vol. 8, pp.56-59, june 1970
4. S. P. Kosta, "Radiation resistance of a center fed dipole antenna with feed points displaced transverse to dipole axis, " *Proceedings of the IEEE*, vol. 55, pp. 1742-1743, oct. 1967
5. N.K. Agrawal, S.P. Kosta, M. Chaudhuri, A. Singh, "Solution of a dipole antenna with displaced feed points by Schelkunoff's method of moments " *Proceedings of the IEEE*, vol. 59, pp. 105-107, jan. 1971
6. B.S. Rao, Verma, Devendra, "Theoretical analysis of a centre-fed dipole antenna with feed points displaced arbitrarily and immersed in a weakly ionised plasma " *India, IEE-IERE Proc.*, vol.11, pp. 213-225, sept.-oct. 1973
7. Mr. Satheesh BV, Srivatsan, Dr.S.Raghavan and D. Sriram Kumar," Antenna Gain Determination using a Microwave CAD Tool-HFSS", *IEEE Microwave 2008*, Vol 2008, PP 916-919, Nov 2008
8. Milligan, T. A., *Modern Antenna Design*, IEEE Wiley-Interscience, Hoboken, 2005
9. Yi Huang, Kevin Boyle, *Antennas from Theory to Practice*, John Wiley & Sons Ltd, 2008
10. David K.Cheng, *Field and Wave Electromagnetics* Second Edition-Pearson Edition, 2004

Yüksek Derece Modlu Kompakt Uzak-Multimod-Polarizasyon Dairesel Mikroşerit Anten Dizinleri ile IEEE802.11n MIMO-OFDM WLAN Sistemlerin Spektral ve Güç Verimliliği

Asuman Yavanoğlu¹Özgür Ertuğ²^{1,2} Telekomünikasyon ve Sinyal İşleme Laboratuvarı
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Gazi Üniversitesi, Ankara¹e-posta: asavascihabes@gazi.edu.tr²e-posta: ertug@gazi.edu.tr

Özetçe

Kablosuz haberleşme sistemlerinde özellikle gelişen servislerle çoğul-ortam data iletimi için iç-ortam WLAN (Wireless Local Area Network) sistemlerinde yüksek veri hızı ve yüksek iletim kalitesine ihtiyaç duyulmaktadır. IEEE 802.11n standardına uyumlu MIMO-OFDM WLAN sistemlerinde yüksek erişim kalitesine ulaşmak için kullanılan antenlerde elemanlar arası korelasyon düşük olması ve boyut-performans ilişkisi açısından kompakt anten dizinlerinin kullanılması büyük önem taşır. Bu çalışmada IEEE802.11n MIMO-OFDM WLAN haberleşme sistemlerinde uzay-multimod-polarizasyon çeşitliliğini hibrit olarak içeren kompakt multimod bindirilmiş mikroşerit anten dizinlerinin (UMP-SCP-ULA) alt-optimal MIMO detektörler ile ergodik spektral verimlilik ve BER analizleri yapılarak veri hızı ve kompaktlık açısından kazançları ortaya konmuştur.

1. Giriş

Haberleşme alanında son yıllarda yaşanan yoğun rekabet sonucu iletişimde kullanılan kanallarda kapasite ve kalitenin artırılması yönünde yoğun çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda ana temalardan biri de iletim data hızını ve erişim kalitesini artırırken bandgenişliği ve iletim gücünü arttırmadan güç verimliliği sağlayan MIMO (Multiple Input-Multiple Output) çoklu anten sistemleridir. Antenlerin multimod ışıma alanları yaratacak şekilde beslenmesi ve bu antenlerin tekil veya dizin halinde MIMO sistemleri oluşturacak şekilde kullanılması ise son senelerde üzerinde oldukça yoğun şekilde araştırma yapılan bir konu olmuştur[1,2,3].

Bugüne kadar klasik anten dizinleriyle oluşturulan MIMO uzay-zaman sistemleri mobil cihazlarda kullanıma isteğiyle daha düşük aralıklarda yerleştirilmeye başlanmış ve bu durum da alınan sinyaller arası ilişkiyi artırarak çeşitlilik kazancını azaltmış, dolayısıyla erişilebilecek kapasite ve kaliteyi düşürmüştür. Polarizasyon çeşitliliği daha düşük sayıda anten ve dolayısıyla alanla çapraz polar ayrımı iyi olduğu koşullarda bu probleme bir çözüm olarak getirilmeye çalışılmıştır.

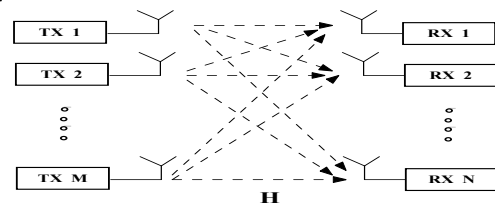
Bir MIMO sistemin belirli bandgenişliği içinde ihmal edilebilir oranda hatayla gönderebileceği data hızının gönderici ve alıcıdaki anten sayılarının minimumu ile verildiği bilinmektedir[4]. Bunun yanısıra MIMO sistemlerde kullanılan anten yapılarında uzaysal iltintı değerini azaltarak sistem kapasitesi ve kalitesini çoğullama ve çeşitlilik kazancı ile arttırmak mümkündür. Ayrıca MIMO sistemlerde anten

yapılarının uzaysal çeşitlilik yanında multimod ve polarizasyon çeşitliliği sağlaması ile kompakt bir yapı içinde MIMO uzaysal çoğullama sistemleri elde edilebilmektedir. Daha önce tekli multimod antenlerin MIMO haberleşme için tasarlanması ve kullanılması yönünde literatürde çalışmalar mevcuttur ancak özellikle hücresel haberleşme için uygun olan multimod mikroşerit antenlerin dizin halinde tasarlanması ve uzay-multimod-polarizasyon çeşitliliği ile MIMO haberleşme için kullanılması yönünde herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

Bu çalışmada, MIMO-OFDM WLAN sistemleri için uzaysal çoğullama ile spektral verimlilik ve iletim hızı artışı incelenmiştir. OFDM tabanlı MIMO haberleşme için 5.8GHz üst ISM bandında IEEE802.11n standardına uyumlu MIMO-OFDM kablosuz yerel alan ağı sistemlerinde erişim noktası, dizüstü bilgisayarlar ve kişisel sayısal asitanelarda (PDA) kullanılmak üzere [5]'de önerdiğimiz uzay-multimod-polarizasyon çeşitliliğini sağlayan mikroşerit dual-mod bindirilmiş dairesel yama anten dizinlerinin (SMP-SCP-ULA) literatürde yer alan dipol (DP-ULA) ve temel-modda çalışan dairesel mikroşerit anten dizinleri (CP-ULA) ile modal kombinasyonlardaki korelasyon analizleri yapılmış, yüksek derecede modda ışıma yapan SMP-SCP-ULA dizinlere ait ergodik spektral verimlilik, BER ve kompaktlık analizi incelemeleri sunulmuştur.

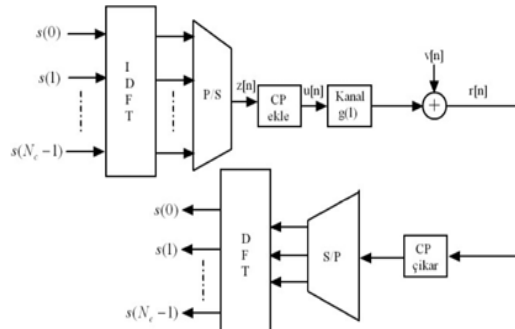
2. IEEE802.11n WLAN Sistemler ve Sistem/Kanal Modeli

OFDM, WLAN sistemler için kullanılan frekans bölmeli çoklu erişimin spektral verimlilik açısından alttaşıyıcıların dikgenlik özellikleri ile kısmi olarak örtüşmesine izin veren bir çoğullama metodudur. Genişband kanalı alt-taşıyıcılarda düz-sönümlemeli hale getirerek paralel iletim sayesinde frekans seçici sönümlemeyi üstünlüğü sayesinde son 10 yılda WLAN sistemler için öngörülen hava arayüzü metodu olmuştur. M adet gönderici ve N adet alıcı antenden oluşan bir MIMO haberleşme sisteminin şematik gösterimi Şekil.1.'deki gibidir.



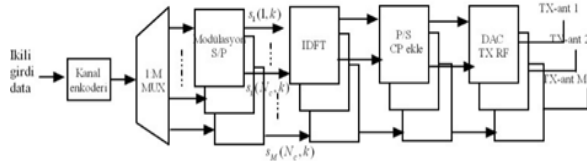
Şekil.1 : MIMO haberleşme sistemi

OFDM sistemlerde alttaşıyıcı gönderimi için kullanılan dikdörtgen darbeler modülasyon için IDFT' nin kullanılmasına olanak sağlarken ayrıca bu sistemlerde modülasyon ve P/S dönüşünden sonra gönderilecek olan dizinlere ISI (Inter-symbol interference) engellemek amacıyla kanalın gecikme aralığından daha büyük bir cyclic prefix (CP) eklenerek alt-taşıyıcı sembolleri girişimsiz olarak gönderilmektedir. Alt-taşıyıcı kullanımı ile OFDM'de genişband çok-gönderim-yollu sönümlemeli kanal N_c adet düz sönümlemeli paralel kanallar olarak kullanılmaktadır. N_c adet alttaşıyıcılı bir OFDM sistemin temelband blok yapısı Şekil 2.'deki gibidir.

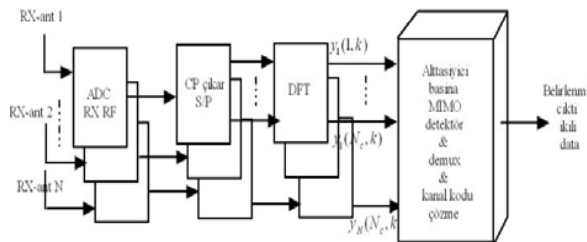


Şekil.2: OFDM Blok Yapısı

Paralel gönderici antenler üzerinden M adet modüle edilmiş sinyal gönderen ve alıcıda N adet anten ile sinyalleri ararak bunları ikili veri haline dönüştüren bir MIMO-OFDM sisteme ait gönderici ve alıcı blok diyagramları sırasıyla Şekil.3 ve Şekil.4 te gösterilmiştir.



Şekil.3: MIMO-OFDM gönderici blok yapısı



Şekil.4: MIMO-OFDM Alıcı Blok Yapısı

Bu durumda MIMO-OFDM sistem genişband çok-gönderim-yollu sönümleme kanalları üzerinden alt-taşıyıcı başına bir darbant düz sönümlemeli MIMO kanala dönüşmekte ve alttaşıyıcı başına alınan sinyal vektörü

$$\mathbf{y}(i, k) = \mathbf{H}(i) \mathbf{s}(i, k) + \mathbf{n}(i, k) \quad (1)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada $\mathbf{H}(i)$ i ve k sırasıyla alttaşıyıcı ve sembol indislerini ifade ederken i. alttaşıyıcı için $N \times M$ boyutlu kanal matrisi, $\mathbf{s}(i, k)$ i. alttaşıyıcı için modüle

edilmiş gönderilen semboller vektörü ve $\mathbf{n}(i, k)$ i. alttaşıyıcı ve k. sembol indisi için σ_n^2 varyanslı i.i.d. gürültü vektörünü simgelemektedir.

IEEE 802.11n standart kanal modellemesine uyumlu Kümelenme-Tabanlı Kronecker-Model (KTKM)' de ilintili Ricean kanal yapısı[3]:

$$\mathbf{H} = \sqrt{\frac{1}{1+K}} \mathbf{H}_{NLOS} + \sqrt{\frac{K}{1+K}} \mathbf{H}_{LOS} \quad (2)$$

ile ifade edilir. Burada K Ricean K-faktör ve $\mathbf{H}_{LOS}$ ile $\mathbf{H}_{NLOS}$ ise sırasıyla (LOS: Line-of-sight) ve (NLOS.: nonlinear-of-sight) komponentlerdir. NLOS kanal matrisi Kronecker modeline uygun biçimde:

$$\mathbf{H}_{NLOS} = \mathbf{R}_{RX}^{1/2} \mathbf{G}_{meg}^{1/2} \mathbf{H}_w \mathbf{R}_{TX}^{1/2} \mathbf{G}_{meg}^{1/2} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, $\mathbf{R}_{TX}$ ve $\mathbf{R}_{RX}$ sırasıyla gönderici ve alıcı uzaysal ilinti matrislerini tanımlarken,

mean effective gain matrisinin elemanları olan $\mathbf{G}_{meg}$ antenin m.modu tarafından alınan ortalama gücün, aynı ortamdaki izotropik referans anten tarafından alınan ortalama güce oranı olarak tanımlanır ve (53)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$G_{meg}^{(m)} = \int_{-\pi}^{\pi} E_{m,\theta}(\varphi) PAS(\varphi; \varphi_c, \sigma_c^2) d\varphi \quad (4)$$

Burada $E_{m,\theta}(\varphi)$ dairesel mikroşerit antenin uzak alan

ışınma örüntüsü ifadesidir ve $PAS(\varphi; \varphi_c, \sigma_c^2)$ tanımı azimuth açısındaki değişimlerin yansıtıcı tarafından oluşan sub-path'lere ait genel bir ifadesidir ve truncated Laplace dağılımlı power azimuth spectrum ile modellenmiş biçimde tanımı aşağıdaki gibidir:

$$PAS(\varphi; \varphi_c, \sigma_c^2) = \frac{e^{-\left| \frac{\sqrt{2}(\varphi - \varphi_c)}{\sigma_c} \right|}}{\sqrt{2}\sigma_c \left(1 - e^{-\frac{\sqrt{2}\pi}{\sigma_c}} \right)} \quad (5)$$

LOS bileşen dizin tepkilerinin bir fonksiyonu olarak:

$$\mathbf{H}_{LOS} = \mathbf{a}(\Omega_{LOS,r}) \cdot \mathbf{a}(\Omega_{LOS,t})^H \quad (6)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $\Omega_{LOS,r}$ ve $\Omega_{LOS,t}$ sırasıyla almaç ve göndericideki AoA (Geliş açısı)/AoD (Gönderim açısı) açılarını simgelerken $\mathbf{a}(\Omega)$ ifadesi Ω açısının azimut ve yükselme açılarına ($\Omega = (\varphi, \theta)$) bağlı dizin tepkisidir.

3. Önerilen yüksek-derece-modlu Uzay-Multimod-Polarizasyon Dairesel Mikroşerit Anten (UMP-SCP-ULA) yapısı ve MIMO detektörler

3.1. Temel Anten Özellikleri

MIMO-OFDM WLAN uygulaması için tasarlanan multimode stacked dairesel mikroşerit antende (SCP), dairesel mikroşerit anten yarıçapı ilgili mod sayısı ile aynı oranda arttığı için kompakt yapıya ulaşmak amacıyla stacked yapıdaki üst anten TM_{11} modu ile, alt anten ise TM_{21} modu ile yayılım yapacak şekilde seçilmiştir. Anten yarıçapı:

$$a = \frac{\chi_m \lambda}{2\pi \sqrt{\epsilon_r}} \quad (7)$$

ile belirlenmektedir. Burada χ_m ifadesi $J_m(x)$ ikinci-çeşit m. derece Bessel fonksiyonunun türevinin birinci sıfırını göstermektedir ve Tablo 1.' de belirtildiği gibi mod derecesi arttıkça değeri artmaktadır:

Tablo 1 χ_m ifadesinin modlara göre değişimi

	TM_{01}	TM_{11}	TM_{21}	TM_{31}	TM_{41}
χ_m	3.82	1.84	3.04	4.18	5.29

Bunun yanında, m. modda yayılım yapan dairesel mikroşerit yama antenlerin uzak-alan ışıma örüntüleri aşağıdaki ifadeler ile verilmektedir [3]:

$$\vec{E}_m = \frac{e^{-jk_f r}}{r} \left(E_{m,\theta} \vec{\theta} + E_{m,\phi} \vec{\phi} \right) \quad (8)$$

$$E_{m,\theta} = \frac{j^m V_m^0 k_f a}{2} [J_{m+1}(z) - J_{m-1}(z)] \cos(m(\phi - \phi_0)) \quad (9)$$

$$E_{m,\phi} = \frac{j^m V_m^0 k_f a}{2} [J_{m+1}(z) + J_{m-1}(z)] \cos(\theta) \sin(m(\phi - \phi_0)) \quad (10)$$

Burada, $k_f = 2\pi / \lambda$ dalga sayısını, $J_m(x)$ ikinci dereceden mod sayısı m' e ait Bessel fonksiyonu ifade ederken, a patch yarıçapını, V_m^0 m. moda ait giriş peak voltajını, ϕ_0 dairesel patch beslemeye ait referans azimuth besleme açısını ifade etmektedir ve $z = k_f a \sin(\theta)$ ' dir. Belirtilen uzak-alan ışıma örüntüleri ifadeleri ile, indoor ortamlarda $\theta = \frac{\pi}{2}$ ' de izin verilen elevation ihmal edilmesi ile

ışıma örüntü ifadesinde sadece -component dikkate alınmaktadır. Tüm anten dizilerine ait modal ve uzaysal normalize kompleks korelasyon katsayıları:

$$\rho = \frac{\int_{-\pi}^{\pi} E_1(\phi) E_2^*(\phi) PAS(\phi, \phi_c, \sigma_c^2) \exp(-jk_f d(n_2 - n_1) \sin(\phi)) d\phi}{\sqrt{\int_{-\pi}^{\pi} |E_1(\phi)|^2 PAS(\phi, \phi_c, \sigma_c^2) d\phi} \sqrt{\int_{-\pi}^{\pi} |E_2(\phi)|^2 PAS(\phi, \phi_c, \sigma_c^2) d\phi}} \quad (11)$$

ifadesi ile tanımlanan ϕ_c , mean azimuth açısı ve σ_c^2 açısall yayılım' ı (angular spread) simgeleyecek biçimde istatistiksel-yansıtıcı indoor propagasyon ortamlarında tek yansıtıcı durum için hesaplanmıştır.

İki kutuplu dairesel mikroşerit yama anten yapısı için aynı antende iki farklı kutuptaki elektrik alan yayılımları arasındaki ilinti hesaplanırken (11)'de yer alan d mesafesi sıfır alınmaktadır. Farklı kutuplar arasındaki ilinti hesaplanırken

integral ifadesi hem θ hem de ϕ ' ye bağlı gibi görünse de iç ortam uygulamaları için tasarlanan antenin yatay konumunda değişiklik olmamaktadır. Değişim sadece ϕ ' ye bağlı kalmaktadır. Bu nedenle farklı kutuplar arasındaki ilinti değerleri hesaplanırken çizgi integral kullanılmaktadır. Bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda yönlü yayılımlar arasındaki ilintiyi bulmak için (11) ifadesinde $E_1(\phi) \cdot E_2^*(\phi)$,

$|E_1(\phi)|^2, |E_2(\phi)|^2$ ifadeleri yerine (12)'de verilen ifadeler kullanılmıştır [41,42].

$$E_1(\phi) E_2^*(\phi) = E_\theta(\phi) E_\theta^*(\phi) + XPD \cdot E_\phi(\phi) E_\phi^*(\phi)$$

$$|E_1(\phi)|^2 = |E_\theta(\phi)|^2 + XPD \cdot |E_\phi(\phi)|^2$$

$$|E_2(\phi)|^2 = |E_\theta(\phi)|^2 + XPD \cdot |E_\phi(\phi)|^2 \quad (12)$$

(12)'de yer alan XPD değeri, çapraz kutuplanma ayırıştırmasını göstermektedir ve temelde eş ve çapraz kutuplanma arasındaki dB cinsinden oran olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada aynı antende yayılan farklı kutuplar arasındaki ayırışma olarak tanımlanmıştır ve tasarlanan anten yapısında bu değer düşük olduğu için ihmal edilmektedir. Bu durumda (12) ifadesi aşağıdaki gibi yeniden elde edilir:

$$E_1(\phi) E_2^*(\phi) = E_\theta(\phi) E_\theta^*(\phi)$$

$$|E_1(\phi)|^2 = |E_\theta(\phi)|^2$$

$$|E_2(\phi)|^2 = |E_\phi(\phi)|^2 \quad (13)$$

Uzay-multimod-kutuplanma çeşitliliğini içeren dairesel mikroşerit antenin korelasyon değişimleri DP-ULA ve CP-ULA ile karşılaştırmalı olarak Şekil. 5'te sunulmuştur.

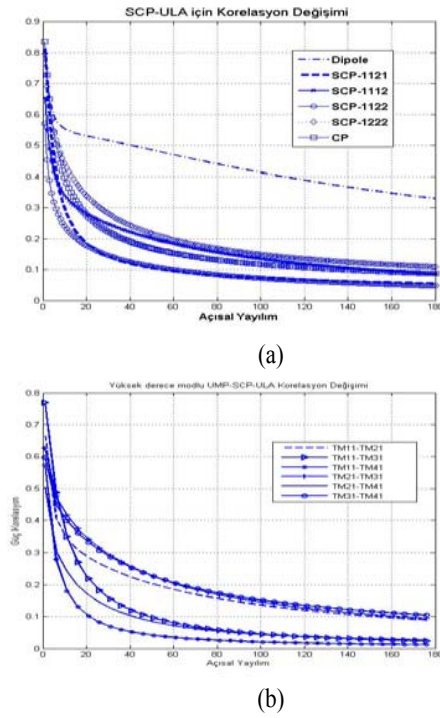
3.2. En Büyük Olabilirlik (Maximum-Likelihood, ML) Detektör

MIMO-OFDM WLAN sisteminde optimum sezici olan ML almaç ile ergodik kapasite ifadesi (14) ile tanımlanır ve taşıyıcı sayısı N_c ' den bağımsızdır.

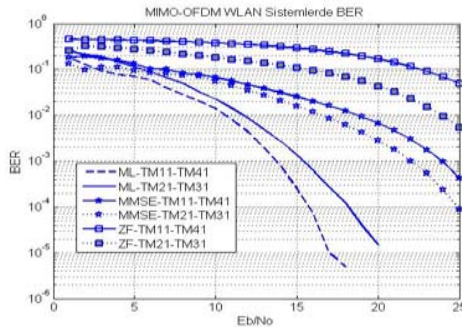
$$C_e^{(ML)} = E \left\{ \frac{1}{N_c} \sum_{i=1}^{N_c} \log_2 \left(\det \left(\mathbf{I}_N + \frac{SNR}{M} \mathbf{H}_c \mathbf{H}_c^H \right) \right) \right\} \quad (14)$$

ML detektör modülasyon derecesi ile spektral verimlilik artışı sağlayan optimum MIMO almaç olmasına karşın özellikle yüksek-seviye modülasyonlar açısından yüksek sayısal karmaşıklığa sahip olması ve IEEE802.11n standardında yüksek spektral verimlilik için kullanılan 64/128/256-QAM modülasyonları ile yüksek boyutlu anten dizinleri için işlem karmaşıklığı daha düşük buna karşılık spektral verimliliği de ML' den daha düşük olan lineer alt-optimal ZF ve MMSE MIMO detektörler uygun almaç alternatifleri olarak ortaya çıkmaktadır.

Şekil 6.'da açısall yayılımdaki artışa karşın yüksek derece modlarda ışıma yapan UMP-SCP-ULA'nın ergodik spektral verimlilik değişimini gösterilmiştir. Dizi uzunluğundaki artış ile birlikte erişilebilir ergodik kapasite ve veri hızı da artmaktadır. SCP-ULA'nın DP-ULA ve CP-ULA'ya göre kompaktlık kazancı Tablo.2'de verilmiştir.UMP-SCP-ULA ile ulaşılabilir veri hızı (Mbits/s) 20^0 açısall yayılım için Tablo.3.'te sunulmuştur.



Şekil 5: Tek yansıtıcı iletim ortamı için (a):uzay-multimod SCP (b): uzay-multimod-kutuplanma SCP korelasyon değişimi (2x2 dizin, K=5dB LOS kanal)



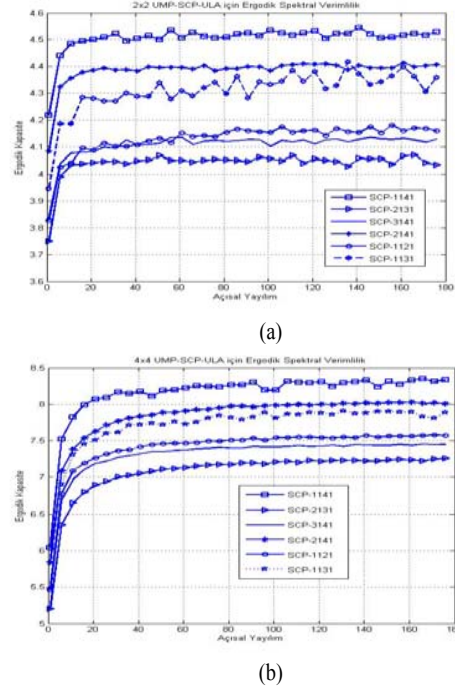
Şekil 7. MIMO detektörler ile SMP-SCP-ULA için AS=200 de 2x2 dizi için alıcı anten başına SNR'a karşılık BER analizi

Tablo 2. 4x4 SCP-ULA için DP ve CP-ULA'ya göre kompaktlık kazancı

Anten / Dizin	TM ₁₁ -TM ₄₁	TM ₂₁ -TM ₃₁
DP-ULA	%7.5	%26.9
CP-ULA	%13	%31.2

Tablo 3. ML detektör ile UMP-SCP ile erişilebilir en yüksek veri hızları (Mbps/s)

Dizin	DP	CP	SCP	UMP-SCP (TM ₁₁ -TM ₄₁)	UMP-SCP (TM ₂₁ -TM ₃₁)
2x2	168	173	178	180	161.6
4x4	276	296	300	320	274



Şekil 6: yüksek-dereceden modlarda ışıma yapan (TM₁₁-TM₄₁ ve TM₂₁-TM₃₁) SMP-SCP-ULA için ML detektör kullanılarak açılal yayılıma karşın ergodik spektral verimlilik değişimi. (K=10dB LOS kanal) (a):2x2;(b):4x4

4. Sonuçlar

Bu çalışmada IEEE802.11n MIMO-OFDM WLAN sistemlerde kullanılmak üzere önerilen UMP-SCP-ULA anten dizinleri yüksek erişim kapasitesi ve yüksek veri hızı sağlamanın yanı sıra kompakt yapıya sahip olması ve fiziksel olarak sınırlı uygulamalarda kullanılması bakımından yeni nesil kablosuz haberleşme sistemlerinde uygun bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Tek-kutuplu ve çift kutuplu SCP antenlerde TM₁₁-TM₂₁'den daha yüksek derece modlu antenlerin kullanılması durumu hem kapasite hem de BER açısından incelenmiştir.

5. Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) EEEAG-108E025 Projesi ile desteklenmiştir.

6. Kaynakça

- [1] Winters J.. "On the capacity of radio communication systems with diversity in a rayleigh fading environment". IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 5, pp. 871-878, June 1987.
- [2] Foschini G. J., Gans M.. "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas. Wireless Personal Communications", vol. 6, pp. 311-355, March 1998.
- [3] Forenza A., Heath R. W.. "Benefit of pattern diversity via two-element array of circular patch antennas in indoor clustered MIMO channels." IEEE Transactions on Communications, vol. 54, no. 5, pp. 943-954, May 2006.
- [4] Telatar E.. "Capacity of multi-antenna Gaussian channels". European Trans. on Telecomm. ETT, vol. 10, pp. 585-596, Nov. 1999.
- [5] Ocalan, A., Savaschabes, A., Gorgec, I., Ertug, O., Yazgan, E. "Compact space-multimode diversity stacked circular microstrip antenna array for 802.11n MIMO-OFDM WLANs" LAPC2009, Loughborough, 2009

Yere Nüfuz Eden İmpulse Radar için Pulse Üretici Tasarımı

Ahmet YILDIRIM¹

Ercan YALDIZ²

Selçuk Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya
e-posta: ¹tr.ahmetyildirim@gmail.com.tr, ²eryaldiz@gmail.com

Özetçe

Bu çalışmada, çok geniş bantlı uygulamalar için kullanılan pulse üretici incelenmiştir. Geniş bant tanımı ve uygulamaları kısaca verilmiştir. Ani toparlanmalı diyot (SRD) kullanılan bir pulse üreticinin çalışma detayları anlatılmıştır. SRD, sonu kısa-devreli saplama ve anahtarlama transistörünün birlikte kullanıldığı bir pulse üretici devresinin Advanced Design System (ADS) programıyla yapılan simülasyonu sonucunda 15V üzerinde genliğe ve 1 ns altında genişliğe sahip kısa pulse işareti elde edilmiştir.

1. Giriş

Ultra wide band (UWB) uygulamaları farklı frekans aralıklarındadır. Çizelge 1.1’de UWB uygulama türlerine göre frekans aralıkları verilmiştir[1]. Çok geniş bantlı yere nüfuz eden radar (YNR) uygulamalarında pulse üretici için iki tasarım ilkesi vardır. Pulse genişliği ve pulse genliğidir. Pulse genişliği yüksek çözünürlük sağlayıp küçük cisimlerin tespit edilmesini sağlarken, pulse genliği ise daha derindeki cisimlerin tespit edilmesini sağlar. Örneğin yüksek frekansta topraktan yansıma çok olacağı için derindeki cisimlerin tespiti için düşük frekans bileşenlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan dolayı farklı engellere nüfuz ederek geçtikleri ortamlardan farklı ortam bilgileri toplayabilirler[2].

Çizelge 1.1 UWB uygulama türüne göre frekans aralığı

Uygulama Türü	Frekans Aralığı
Haberleşme Sistemleri	3.1 GHz -10,6 GHz
GPR, Radar, Tıbbi Görüntüleme Sistemleri	<960 MHz veya 3,1 GHz -10,6 GHz
Duvar Ötesi Görüntüleme Sistemler	<960 MHz veya 1.99 GHz -10,6 GHz
Yüzey Tarama Sistemleri	1.99 GHz -10,6 GHz
Araçsal Radar Sistemleri	24 GHz – 29 GHz

UWB işaretler tipik olarak 500 MHz’den büyük bağıl bant genişliğine sahip veya %20’den büyük bağıl bant genişliğine sahip sinyallerdir. Bağıl bant genişliği ifadesi;

$$BW_R = \frac{f_u - f_l}{f_c} \quad (1.1)$$

bağıntısı ile tanımlanabilir. Burada f_u 10 dB üst kesim frekansı, f_l 10 dB alt kesim frekansı ve f_c merkez frekansıdır.

Merkez frekansı f_c ise;

$$f_c = \frac{f_u + f_l}{2} \quad (1.2)$$

şeklinde tanımlanır. Büyük bant genişliğine sahip işaretlerin

spektral güç yoğunluğu (PSD) çok düşük olmasından yetkisiz sistemler tarafından algılanamazlar. Büyük mutlak bant genişliği mesafe ve konum belirleme uygulamalarında çok yüksek çözünürlükte bilgi sağladığından karmaşık algoritmalara gerek kalmaksızın yüksek doğrulukta kestirim yapılabilmesine imkân sağlar. Örneğin yüksek frekans bileşenleri yüksek güçte yansıyan işaretlerin elde edilmesini sağlarken, alçak frekans bileşenleri ise özellikle radar ve konum belirleme uygulamalarında duvar ve zemine nüfuz etmesi istenilen seviyededir.

UWB teknolojisini kullanan sistemler geniş bir frekans spektrum aralığına yayılmış olmalarından dolayı mevcut haberleşme sistemleri ile olası bozucu girişimleri engellemek veya en aza indirmek için, FCC tarafından 2002 yılında UWB uygulamaları için eşdeğer izotropik ışıma gücü (EIRP) sınır değerlerinin spektral dağılımı belirlenmiştir ve Çizelge 1.2’de gösterilmiştir.

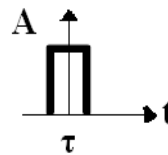
Çizelge 1.2 FCC tarafından belirlenen frekans aralıklarına göre EIRP değerleri

Frekans (MHz)	Bina İçi EIRP (dBm)	Bina Dışı EIRP (dBm)
<960	-41.3	-41.3
960-1610	-75.3	-75.3
1610-1990	-53.3	-63.3
1990-3100	-51.3	-61.3
3100-10600	-41.3	-41.3
>10600	-51.3	-61.3

2. UWB Pulse ve Devresi

2.1. Temel Pulse Tanımı

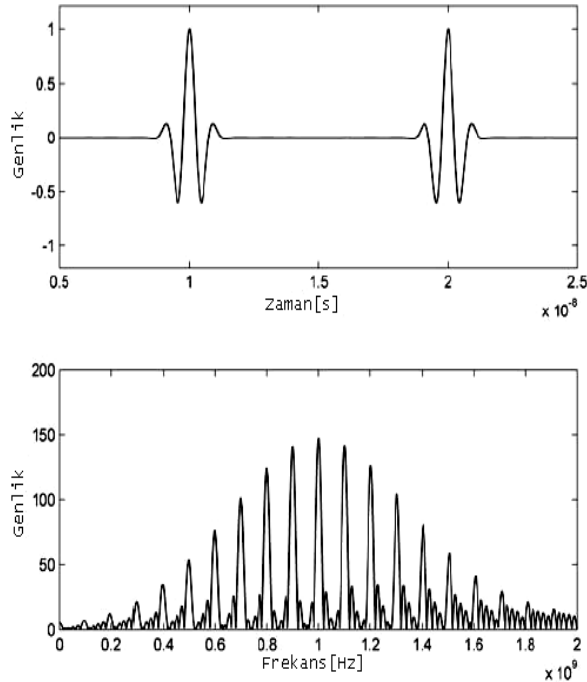
İdeal bir pozitif pulse 0 (sıfır) yükselme zamanı ile bir yükselen kenara sahip, sabit bir voltaj genliği, akımı veya güç seviyelerindeki 0 (sıfır) saniyede düşme zamanı ile düşen kenar olarak tanımlanabilir. Şekil 2.1’de örnek verilmiştir.



Şekil 2.1 İdeal pozitif pulse

2.2. Örnek UWB Pulse

UWB pulse örnek olarak Gaussian genlik biçiminde ve 1 GHz merkez frekanslı ardışık pulselerden yapılmıştır. Pulse tekrarlama aralığı (PRI) 10 ns'dir. Pulse katarı da Şekil 2.2'de gösterilmiştir. 800 MHz bant genişliğine sahip -4dB ve 1 GHz merkez spektrum hattı pulse katarı spektrumunda gösterilmektedir. Çizgiler arasındaki mesafeler; 1/PRI verir, o da 100 MHz'dir [3].



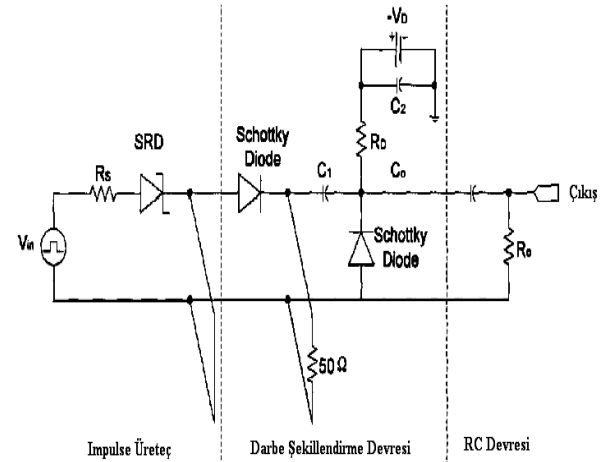
Şekil 2.2 UWB pulse katarı ve genlik spectrumu

2.3. SRD ile Pulse Üretimi

SRD malzemesinin kullanım amacı, düşük piko saniye aralığında ultra hızlı anahtarlama hızına sahip olmasıdır. SRD ileri ön gerilim altındayken, normal PN diyot gibi davranır. Bunun yanında, ters ön gerilim altındayken SRD, normal bir PN diyottan çok farklı davranır. Ters ön gerilim altında, SRD hala yüksek akım iletimini çok kısa zaman periyodunda sürdürebilir, sonra iletim yapmaz. Bu yüzden SRD'nin bu özelliği onu pulse üretimi için bir anahtar fonksiyonu olarak kullanılmasını sağlar. Genel olarak, ters ön gerilim altında iletimde ve iletimde olmadığı bölgeler arasında SRD'nin geçiş zamanı 100ps'den daha azdır[4]. Bu SRD'yi çok hızlı anahtarlama hızına sahip bir anahtar yapmaktadır.

Şekil 2.3'de verilen örnek SRD devresinde, bir kare dalga sinyali basamak fonksiyonuna çeviren SRD'yi sürer. Genel olarak, kısa-devre sonlu saplama (stub) ile şöntlenip basamak fonksiyonunu yansıtır tam bir zaman gecikmesi sağlanır. Yansıtılmış ve mevcut basamak fonksiyonunun birleştirilmesiyle bir impulse oluşturulur. İmpulse, içinde schottky diyotların, dirençlerin ve kapasitörlerin bulunduğu pulse şekillendirme devresini besler. Bu devre 2 görevi vardır: (i) empedans uygunlaştırma ve (ii) pulse genişlik sıkıştırması. Son olarak, bir basit RC devresi türev alıcı olarak çalışır ve Gaussian pulse, monocycle pulse dönüştürür. SRD pulse üretici son derecede kısa zamanlı monocycle pulse (500ps'den az) üretebilme yeteneğindedir. Bununla beraber, harici kare

dalganın tekrarlama frekansı değişiyorsa, boyu ayarlanabilen kısa devre saplama gereklidir. [5]



Şekil 2.3 SRD Devre şeması

3. Önerilen İmpulse Üretici

SRD diyot ve anahtarlama transistörlü Şekil 3.1'deki devre ile 15V genlik seviyesinde impulse üretilmiştir. Devre iki kısımdan oluşmaktadır. Giriş kısmı Şekil 3.2 ile impulse tetiklenmiştir. Şekil 3.3'de Mikroşerit hat ile pulse genişliği ayarlanarak, SRD tarafından pulse şekillendirilip gerilim seviyesi yükseltilmiştir. Devreye Şekil 3.4'de verilen kare dalga ile 2N2369 geçiş frekansı yüksek transistör Şekil 3.5'de verilen gerilim ile tetiklenerek, Şekil 3.6'daki çıkış gerilimi MSS20-046 Schottky diode verilmiş, Şekil 3.7'deki verilen gerilim çıkışı mikroşerit hat (RT5880 baskı devre kartı değerleri) ile frekans aralığı uygunlaştırılarak MMD805 SRD üzerinden Şekil 3.8'de verilen gibi diyot için basamak fonksiyon üretilmiştir. Devre ADS 2011 versiyonu ile simüle edilmiş sonuç olarak Şekil 3.9'da verilen V_{out} gerilim ve zaman grafiği elde edilmiştir. Grafikler Ekler'de sunulmuştur.

4. Sonuçlar ve Tartışma

YNR için impulse üretim yönteminde farklı bir yaklaşıma gidilerek. Çok geniş bantlı 1 ns'den düşük saniyelerde, 15V gerilim seviyesinde impulse üretilmiştir.

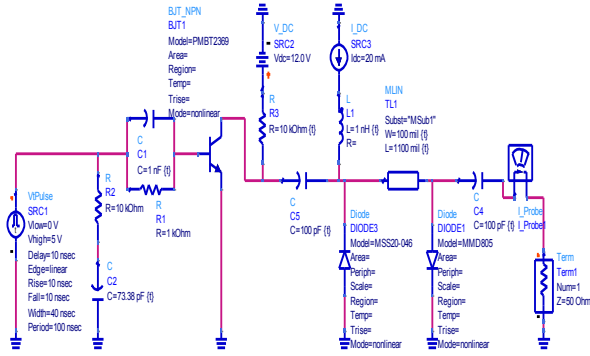
İmpulse üretimi için yeni bir yaklaşıma gidilmiş olup SRD ile anahtarlama transistörü birlikte kullanılmıştır. Yere nüfuz eden radarlarda kullanım için yüksek genlikli olması yansıyan sinyali elde etmek için büyük fayda sağlayabilir.

5. Kaynakça

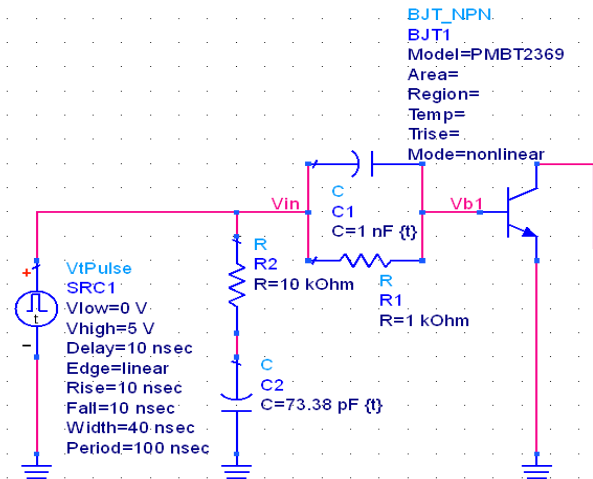
- [1] Oğuz, Y. , 2008, *Aşırı geniş bantlı sistemlerde dalga biçimi oluşturma ve anten sisteminin bozucu etkisinin azaltılması*, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 11-20.
- [2] Türk A.S., Ertuğrul M., Aydınlik S., Şahinkaya D.S.A., "Dielektrik Cisimlerin Tespiti için Geniş Frekans Bantlı Yere Nüfuz Eden Radar Tasarımı", TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Bilişim Teknolojileri Araştırma Enstitüsü PK: 21, 41470 Gebze, Kocaeli.

- [3] Hamran, E.S. 2009, Radar Performance of Ultra Wide Waveforms, FFI and University of Oslo Norway.
- [4] Kit H.C., 2005, *Ultra-Wideband Pulse Generator*, Chinese University of Hong Kong, Chinese, 1-64
- [5] Ruengwaree, A., Ghose A., Weide, J. and Kopma, G. 2006, Ultra-fast Pulse Transmitter for UWB Microwave radar, *Proceedings of the 36th European Microwave Conference*, Germany, 1-4.

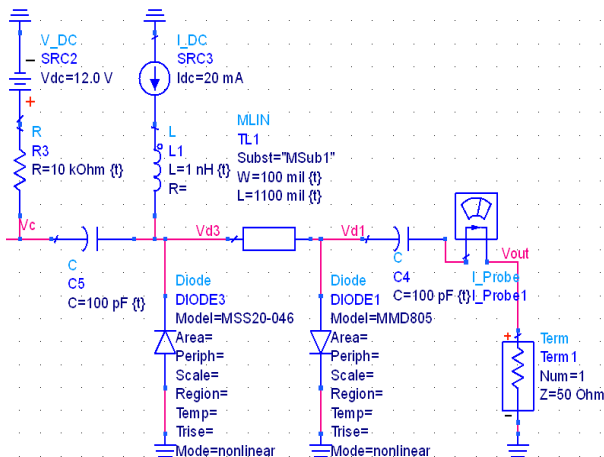
6. Ekler



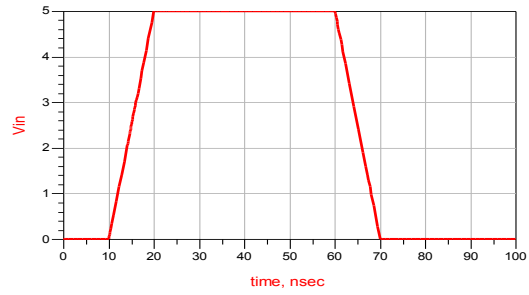
Şekil 3.1 İmpulse üretici



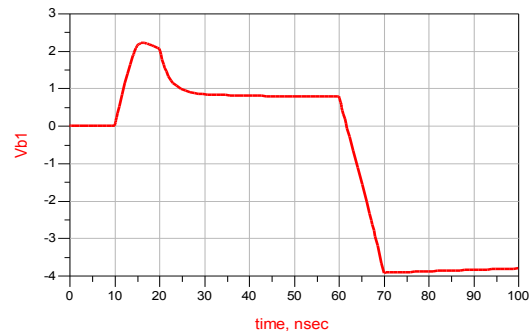
Şekil 3.2 İmpulse tetikleyici



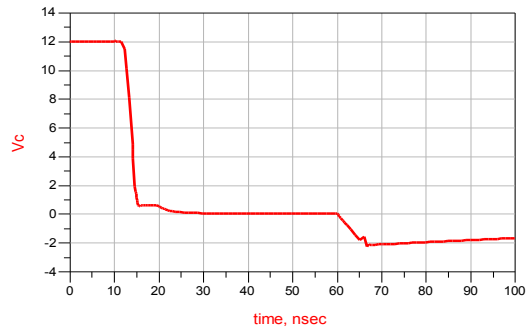
Şekil 3.3 İmpulse şekillendirici



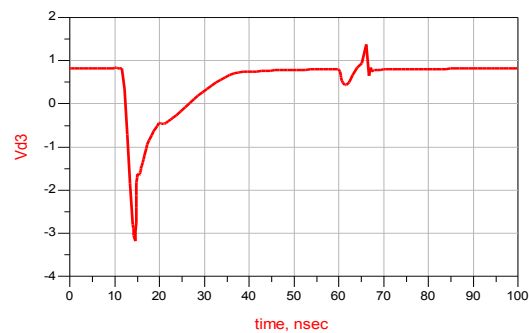
Şekil 3.4 Giriş gerilimi



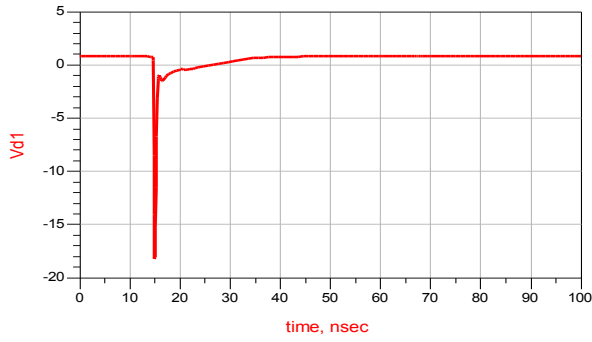
Şekil 3.5 Transistör giriş gerilimi



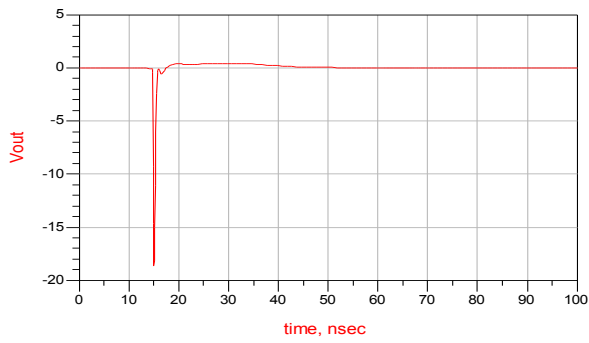
Şekil 3.6 Transistör çıkış gerilimi



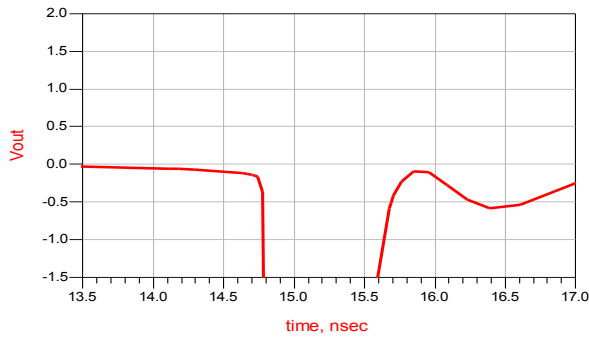
Şekil 3.7 Shottky diode çıkış gerilimi



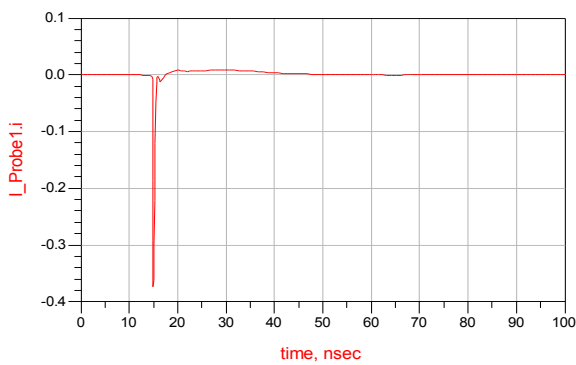
Şekil 3.8 SRD diyot çıkış gerilimi



Şekil 3.9 a) Üreteç çıkış gerilimi



Şekil 3.9 b) Üreteç çıkış gerilimi



Şekil 3.10 Üreteç çıkış akımı

TERMAL GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİNDE GÖRÜNTÜ SİMÜLASYONU

Ayhan Canpolat¹T. Selcen Navruz²¹Türk Silahlı Kuvvetleri, Ankara²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara¹e-posta: acanpolat2009@hotmail.com²e-posta: selcen@gazi.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada, termal görüntüleme sistemi performansının atmosferik ortamdan nasıl etkilendiği ve bu etkinin termal görüntüye nasıl yansıdığına inceleme yapılmıştır. Mesafe, sis, yağmur ve kar gibi atmosferik etkenlerin görüntüler üzerindeki etkilerini gösteren bir yazılım geliştirilmiş ve bu yazılım gerekli arayüz tasarlanarak eğitim amaçlı kullanılmaya uygun hale getirilmiştir. Burada hedef, termal kamera kullanacak kişilerin, atmosferik etkilerin görüntüde sebep olduğu değişiklikler hakkında bilgilendirilmesidir.

Yapılan incelemelerde mesafe arttıkça hedef detaylarının kaybedildiği ve özellikle karlı havada görüş mesafesinin çok ciddi oranda azaldığı belirlenmiştir. Buna ilave olarak yağmurlu ve sisli hava koşullarının görüntülerin bulanıklaşmasına, karlı hava koşullarının ise görüntülerde çok fazla gürültü oluşmasına neden olduğu tespit edilmiştir.

1. Giriş

Sıcaklığı mutlak sıfırın (0 Kelvin, -273 °C) üzerindeki tüm cisimler kızılötesi enerji yayar. Bu enerjiyi algılamayı sağlayan sistemler termal görüntüleme sistemleridir. Termal görüntüleme sistemleri özellikle savunma alanında sıkça kullanıldığı gibi astronomi, meteoroloji, sağlık, arkeoloji, yangın, enerji tasarrufu, gıda endüstrisi, gece araç kullanımı, arama ve kurtarma alanlarında da kullanılmaktadır.

Termal görüntüleme sistemleri hedeften yayılan kızılötesi enerjiyi, atmosferik ortamdan geçmesi sonrası algılayarak termal dedektör vasıtasıyla elektrik sinyali çevirip görüntü işleme algoritmaları ile arka plandan ayırarak görüntü elde etmektedir. Burada kullanılan termal görüntüleme sistemi önemlidir ancak, diğer önemli olan atmosferik ortamdan geçen kızılötesi enerjinin ne kadarının termal görüntüleme sistemine ulaştığıdır.

Cisimlerden yayılan radyasyonun atmosferde azalması geçirgenlik ile mesafe arasında üstel bir bağlantıya dayanan Beer kanunu kullanılarak hesaplanabilir [1]. Atmosferik etkenlerden dolayı her 1 km için geçirgenlik 0,40 ile 0,90 arasında değişir. 1 km'den daha uzun mesafelerdeki geçirgenlik bu konuda geliştirilmiş bilgisayar programları olan LOWTRAN veya MODTRAN ile hesaplanabilir [2].

Atmosferde kızıl ötesi enerjide; atmosferik emilim [3], saçılım [4] ve kırılım [5] kaynaklı kayıplar meydana gelmektedir. Bu üç faktör kızılötesi enerjinin hedeften termal görüntüleme sistemine ulaşmadan zayıflamasına ve görüntüde sinyal genliğinin düşmesi nedeni ile bulanıklaşmaya neden olmaktadır.

Bu çalışmada, atmosferik geçirgenliğin termal görüntüleme sistemlerinden elde edilen görüntüye olan etkileri incelenmiştir. Bu nedenle ilk önce termal kamera olarak kullanılan bir sistemden farklı hava koşullarında termal görüntüler elde edilerek atmosferik geçirgenliğin termal

görüntü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Burada sis, kar ve yağmurun termal görüntüyü nasıl etkilediği üzerinde incelemeler yapılarak bu etkiyi matlab yazılım programının görüntü işleme araçları kullanılarak nasıl elde edileceği üzerinde çalışılmıştır.

Bir termal kamerada atmosferik geçirgenliğin etkisini incelemek için termal kameradan görüntü alınması aşamasında dikkat edilecek konular bulunmaktadır. Bu nedenle termal kameradaki dedektörün çalışma band aralığının belirlenmesi, görüntü almadan önce dedektörün dış etkilerden etkilenmemesi için dedektöre termal enerjiyi aktaran germanyum merceğin önüne dedektör piksellerinin aynı termal enerjiye aynı tepkiyi vermesini sağlayacak siyah cisim ile dedektörün kalibre edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada atmosferik pencerenin 8-12 µm dalga boyunda ve 7.6-10.5 µm dalga boylarında daha iyi tepkiselliği olan bir termal kamera kullanılmıştır. Bu nedenle atmosferik geçirgenlik katsayılarını kendi iç yazılımları sayesinde programa girilen veriler doğrultusunda oluşturan MODTRAN programından elde edilen atmosferik geçirgenlik katsayısı değerleri belirtilen dalga boyuna özel olarak alınmıştır.

Dedektörün kalibre edilmesi için kullanılan siyah cisim, üzerinde bulunan tüm radyasyonu emmesi nedeni ile mükemmel bir radyatör olarak tanımlanabilir. Burada siyah cismin her yerinin aynı sıcaklıkta olması önemlidir [6].

2. Atmosferik Etkenlerin Termal Görüntülere Etkileri

Bu çalışmada termal kameradan görüntüleme birimine aktarılan görüntü, görüntüleme birimi üzerinde bulunan video çıkışı yerinden alınarak capture kart vasıtasıyla bilgisayara aktarılmıştır. Capture kartın programı vasıtasıyla kaydedilen görüntüler resim olarak alınarak üzerinde farklı hava koşulları resim üzerinden simüle edilmiştir. Bu çalışmada simterm programı örnek alınmıştır [7].

Simterm programında farklı hedefler, gökyüzü ve arka planlar, birkaç farklı termal kamera seçenekleri ile farklı hava koşullarında termal kameralardan elde edilen görüntüler simüle edilmiştir. İnsan, tank, araç vb. hedefler, hedefin farklı bölgeleri farklı sıcaklıklarda olmak üzere çizim yolu ile üretilmiştir [8].

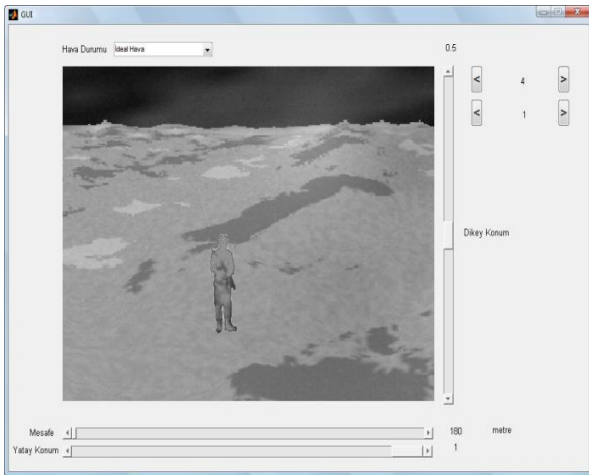
Örnek alınan programda görünürlük, rüzgar, dar, geniş, orta görüş açıları, elektronik büyüme, odaklama, mesafe, hedef, arka plan, gökyüzü, yatay ve dikey konum seçeneklerinin bulunduğu kullanıcı arayüzü bulunmaktadır [7]. Bu çalışmada ise termal kameradan alınan görüntülerden alınan resimler hedef olarak alınmış ve örnek alınan programda çizim yolu ile elde edilen hedeflerle hedef çeşidi artırılmıştır.

Gerçek görüntüler kullanılarak alınan hedefler insan ve tank hedefleridir. Bunun dışında örnek alınan programdan da çizim yolu ile elde edilen insan, tank, uçak ve arka plan

hedefleri alınmıştır. Bunların yanında gerçek görüntülerden alınan insan resimleri ile hedefler çeşitlendirilmiştir.

Termal kameradan alınan gerçek görüntülere ait resimler MATLAB yazılım programındaki görüntü işleme algoritmalarının kullanılması suretiyle düzenlenmiştir. Yapılan düzenlemeler MATLAB yazılım programında görsel arayüz olarak kullanılan GUI ile görselleştirilmiştir. GUI ile hava durumu, mesafe, hedef, arka plan, yatay ve dikey konuma göre değişen termal görüntülerden alınan resimlerin değişimleri simüle edilmiştir. Ayrıca, GUI yapılan görüntü simüle işleminin kullanıcı arayüzü olarak da kullanılmıştır. GUI ile oluşturulan kullanıcı arayüzü Şekil 1’de, yer almaktadır.

Bu çalışmada kullanılan resim boyutları 640x480 piksel boyutları esas alınarak düzenlenmiştir. 640x480 piksel boyutunda resim alınmasının sebebi video formatlarıdır. Bu video formatlarına göre Avrupa’da PAL video formatı, Amerika’da ise NTSC video formatı kullanılmaktadır. 640x480 piksel boyutlu resim/video görüntüleri PAL video formatına uygundur.



Şekil 1. MATLAB programı ile oluşturulan kullanıcı arayüzü

MATLAB yazılım programı ile oluşturulan programda yatay ve dikey konumlar 0.1 adım aralığı sınırı ile hedefin hareket ettirilmesini sağlamaktadır. Mesafe, 180 metre ile 10180 metre aralığında sınırlanmıştır. 6 çeşit arka plan seçeneği ile 13 çeşit hedef seçeneği bulunmaktadır. Bunların dışında, ideal hava, açık hava, hafif sisli, yoğun sisli, hafif yağmurlu, orta şiddette yağmurlu, yüksek şiddette yağmurlu, hafif karlı, şiddetli karlı ve karla karışık yağmurlu olmak üzere 10 farklı hava koşulu simüle edilmiştir.

Atmosferik etkilerin görüntülerde oluşturulması için MATLAB yazılım programının görüntü işleme araçları arasında araştırmalar yapılmıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde, gauss gürültü algoritmalarının farklı katsayıları ve özelliklerinin kullanılması suretiyle sisli, yağmurlu ve karlı hava görüntülerinin oluşturulabileceği tespit edilmiştir. Yapılan bu tespit neticesinde, sisli ve yağmurlu hava koşullarında gauss gürültüsünün imfilter fonksiyonu ile görüntüde bulanıklaşma oluşturduğu, karlı hava koşullarında ise gauss gürültüsünün imnoise fonksiyonu ile görüntüde karlama görüntüleri oluşturduğu bilgilerine ulaşılmıştır. Elde edilen bu bilgiler ile termal görüntüleme sistemlerinde görüntü simülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2’deki test hedefinin resmi üzerinde gürültü çeşitlerinin uygulanması suretiyle hava durumunun termal

kameradan alınan termal görüntülere olan etkisi detayları ile birlikte Şekil 3’de görülmektedir. Bulunan simülasyon sonuçlarının gerçek termal kamera görüntüleri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 3.(c-ç)’de görüldüğü gibi görüntülerde sisli havanın hedefin tespit mesafesine etkisi azdır. Ancak hedefin ve arka planın farklı bölgelerindeki sıcaklık farklılıklarının tespitinde ve dolayısı ile arka plan ve hedefte bulanıklaşmaya neden olmaktadır. İdeal hava ile açık havada da benzer bir durum söz konusudur. Yağmurlu havalarda ise gözetlenen bölgede arka planda yer alan ağaç, taş vb. cisimlerin yağmurla ıslanması neticesinde, arka planda yer alan cisimlerin sıcaklık renklerinin birbirine yaklaştığı ve bu durumun termal görüntülerde hedefin net olarak ayrıştırılamamasına neden olduğu, hedefin tespit mesafesine etkisinin ise sise göre daha fazla olduğu Şekil 3.(d-f)’deki gibi gözlemlenmiştir. Ayrıca, yağmurun çok yoğun olduğu durumlarda bile yağmur tanelerinin fark edilemediği bilgilerine ulaşılmıştır.

Diğer hava koşulu olan karlı havalarda, Şekil 3. (g-ı)’de görüldüğü gibi yağmur tanelerinin aksine kar tanelerinin termal kamera ile net olarak görülebilmektedir. Ayrıca, karlı havanın hedefin tespit mesafesini ve termal kameranın görüntü alma mesafesini çok fazla etkilediği, arka plan ile hedefin ayrıştırılmasını ciddi oranda zayıflatması sebebi ile çok kısa mesafeden ve çok az hedef ayrıştırılabilirliğinin elde edilebildiği gözlemlenmiştir.



Şekil 2. Test hedefinin resmi



(a)



(b)



(e)



(c)



(f)



(ç)



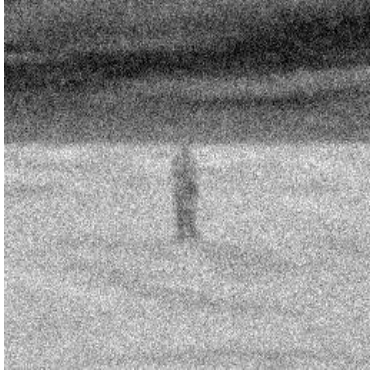
(g)



(d)



(h)



(i)

Şekil 3. Farklı hava koşullarında oluşan gürültülerin 650 metre mesafede olan test hedefinin resmi üzerinde oluşan etkileri, hava durumu a) ideal hava, b) açık hava, c) hafif sisli hava, ç) orta sisli hava, d) hafif yağmurlu hava, e) orta şiddette yağmurlu hava, f) yüksek şiddette yağmurlu hava, g) hafif karlı hava, h) şiddetli karlı hava, ı) karla karışık yağmurlu hava.

3. Sonuçlar

Termal kameradan alınan yalın video görüntüleri ile videolardan alınan resimler arasında farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar özellikle kar yağışı olduğu zaman alınan video görüntülerinde net olarak ortaya çıkmaktadır. Tespit edilen fark ise yoğun kar yağışının olduğu video görüntüsünde hedefin belirgin olarak seçilebilmesine karşın resimlerde bu belirginliğin azalmasıdır. Bu nedenle aslında MATLAB yazılımı ile resimler üzerinden oluşturulmaya çalışılan gürültülerin video görüntüleri üzerinde yapılmasının daha iyi sonuç vereceği kanısına varılmıştır.

Termal görüntüleme sistemlerinin elde edilen görüntüleri sisli, yağmurlu ve karlı hava koşullarının nasıl etkilediğinin görüntüler üzerinden tespit edilerek net olarak ortaya konması yapılan çalışmayı anlamlandırmaktadır. Bu çalışma daha önce teorik olarak bilinen gerçeklerin görüntüler üzerinde uygulanarak görselleştirilmiş olması bakımından yapılan diğer çalışmalara farklı bir değer katmaktadır.

Sonuç olarak, termal görüntüleme sistemlerinde, hava koşullarına bağlı olarak atmosferik geçirgenlik katsayısında ve termal görüntüleme sistemlerinin performanslarında azalma ile birlikte termal kameralardan elde edilen görüntülerle hedef tespiti ve hedef analizi imkanının azaldığı tespit edilmiştir. Belirtilen hedef tespiti ve hedef analizi imkanının azalmasına sebep olan gauss gürültüsünün etkileri yapılan uygulamalar ile gösterilmiştir.

4. Kaynakça

- [1] Weichel, H., "Laser Beam Propagation In The Atmosphere", *The International Society for Optical Engineering*, 3: 12, 1990.
- [2] Biberman, L.M. and Sendall, R.L., "Introduction : A Brief History of Imaging Devices for Night Vision" , *Electro-Optical Imaging: System Performance and Modeling* 1st ed., Biberman, L.M., *The International Society for Optical Engineering*, Washington, 1-3, 2000.
- [3] Shaw, J.H., "Solar Radiation", *The Ohio Journal Of Science*, Vol. LIII, No.5, Ohio, 258-271, 1953.
- [4] Sivaslıgil M., "A Fast Model For Computing Infrared Atmospheric Background Effects", *Y.Lisans Tezi Müh. Fakültesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*, 23 2006.
- [5] Thomas, M.E., Duncan, D.D., "Atmospheric Transmission", *Atmospheric Propagation of Radiation*, 2, Smith, F.G., *Infrared Information Analysis Center and SPIE Optical Engineering Press*, Michigan, 2, 7, 11, 39, 1993.
- [6] Bramson, M.A., "Infrared Radiation, A Handbook For Applications", *Plenum Press*, New York, 1968.
- [7] Internet: Computer Simulators of Thermal Imagers, http://www.inframet.pl/computer_simulators.htm, Polonya, 2010.
- [8] İnternet: Simterm 2.1 User's Manuel, http://www.inframet.pl/soft/Simterm_Guide.pdf, Polonya 3-17, 2011.

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ GÜNLERİ 2011

ORTAK VE DİĞER KONULAR
İLE İLGİLİ
BİLDİRİLER

TÜRKİYEDEKİ ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNDE MEYDANA GELEN İŞ KAZALARININ ANALİZİ

Yrd.Doç.Dr. Hüseyin CEYLAN

Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, 71450 Yahşihan KIRIKKALE

husceylan@hotmail.com

ÖZET

Elektrik dağıtım sistemleri, iletim hatları ve trafo merkezlerinden oluşmaktadır. Üretim merkezlerinde üretilen enerji, kullanıcılara iletim hatları üzerinden dağıtılmaktadır. Trafo merkezleri ise, üretilen elektrik enerjisinin, en az kayıpla son kullanıcılara ulaştırılması için voltaj ayarlanmasının yapıldığı ünitelerdir.

Günümüzde, elektrik üretim ve dağıtım sistemleri büyük öneme sahiptir. Mevcut teknoloji, büyük bir oranda elektrik enerjisi kullanımına bağımlıdır. Bu nedenle; bu tesislerde meydana gelebilecek bir kaza, tesisin tekrar devreye girmesine kadar, bu ünitelerden beslenen endüstriyel kuruluşların üretimlerinin durmasına, şehirlerin aydınlatılamamasına ve birçok maddi zararlara sebep olmaktadır. Yani, bu kazaların çoğu zaman dolaylı maliyetleri, doğrudan maliyetlerine göre çok daha fazladır.

2004-2010 yıllarına ait kaza verileri incelendiğinde, bu dönemde Türkiye’de elektrik dağıtım sistemlerinde 1218 iş kazasının meydana geldiği ve bu kazalarda toplam 82 çalışanın yaşamını yitirdiği görülür. Sadece 2010 yılı için, bu kazaların doğrudan maliyeti TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.) tarafından yaklaşık 24.6 milyon TL olarak hesaplanmıştır. Gerek kaza sayısına düşen ölüm oranının yüksek olması, gerekse bu kazaların dolaylı maliyetlerinin çok yüksek olması, elektrik kazalarının özellikle incelenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada 2004-2010 yılları arasında TEDAŞ’da meydana gelen kazalara ait kaza raporlarından hareketle, elektrik kazaları analiz edilmiştir. Ayrıca, SGK ve TEDAŞ verilerinden hareketle, Türkiye genelinde meydana gelen kazalar ile TEDAŞ kazaları, uluslararası kaza istatistikçilerinin de kullandığı, çeşitli parametreler açısından kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İş Kazaları, İş Güvenliği, Enerji Dağıtım Sistemleri, TEDAŞ.

ANALYSIS OF OCCUPATIONAL ACCIDENTS AT ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEMS IN TURKEY

ABSTRACT

Electrical distribution systems consist of transmission lines and substation transformers. Electrical energy, generated at power plants, is distributed to users via transmission lines. The substation transformer is the unit where the voltage of generated electrical energy is adjusted. This provides the electrical energy to reach the end user with a minimum loss.

At present, electricity generation and distribution systems are of great importance. The current technology is dependent on the use of a large percentage of electrical energy. For this reason, an accident which occurs in these plants, until the plant is triggered; stops the production of industrial enterprises related to these plants, cities can not be illuminated and it also causes financial damage. That is, most of the time, indirect costs of these accidents are much higher compared to the direct costs.

When we analyze the accident data between 2004–2010, we see that 1218 occupational accidents occurred during this period and 82 workers died in these accidents in electrical distribution systems in Turkey. Only for 2010, direct cost of these accidents calculated by TEDAŞ (Turkish Electricity Distribution Company) is approximately 24,6 million TL. Both the high rate of deaths per number of accidents, and high indirect costs of these accidents indicate that it requires to study electrical accidents.

In this study we have analyzed the electrical accidents with regard to the accident reports of TEDAŞ between 2004-2010. The electrical accidents in TEDAŞ and the accidents through out Turkey have also been compared using the data of SGK and TEDAŞ in terms of various parameters used by the statisticians all over the world.

Keywords: Occupational Accidents, Job Safety, Energy Distribution Systems, TEDAŞ.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

İş kazası, önceden planlanmamış, çoğu zaman yaralanmalara, makine ve teçhizatın zarara uğramasına veya üretimin bir süre durmasına yol açan olaylar şeklinde tanımlanabilir. İş güvenliği ise, iş ortamında sağlıklı ve güvenli çalışma koşullarını oluşturarak; iş kazaları ve meslek hastalıklarını en alt düzeye indirmek, böylece maddi ve manevi kayıpları önleyerek verimliliği artırmak şeklinde ifade edilebilir[1].

Dünyada ve Türkiye’de iş kazaları çok ciddi bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. İş kazaları, bütün ülkelerin ortak sorunu olmasına rağmen, gerekli önlemlerin alınmasıyla beraber belli oranlarda azaltılabilir. Bu önlemlerin alınmasında yetersiz kalan ülkeler kazalardan daha fazla etkilenmektedir[2,3].

İş kazalarının en önemli sonucu, çalışanların ölmesi, yaralanması veya sakat kalmasıdır. Bunun yanında çok ciddi maddi kayıplar da iş kazalarının diğer önemli bir sonucudur. Türkiye’de iş sağlığı ve iş güvenliği hususunda çok ciddi ilerlemeler kat edilmesine rağmen, bu konuyla ilgili olarak yapılması gereken daha çok şeyin olduğu da yadsınamaz bir gerçektir. Son yıllarda çalışan kişi sayısına düşen kaza miktarları azalmaktadır. Ancak, son altı yılın kaza istatistikleri incelendiğinde hâlâ ülkemizde yılda ortalama 75840 iş kazası olmakta ve bu kazalarda 1103 çalışanın hayatını kaybettiği görülmektedir. Ayrıca bu kazaların ülkemize getirdiği maddi kaybın da 45 milyar TL/yıl civarında olduğu tahmin edilmektedir[9].

Günümüzde, elektrik üretim, iletim ve dağıtım sistemleri büyük öneme sahiptir. Mevcut teknolojinin büyük bir oranda elektrik enerjisi kullanımına bağımlı olması, kaza sayısına düşen ölüm oranının yüksek olması ve kazaların dolaylı maliyetlerinin çok yüksek olması, elektrik kazalarının özellikle incelenmesi gereğini ortaya koymaktadır[4,5,6]. Bunun için, bu çalışmada 2004-2010 yılları arasında TEDAŞ’da meydana gelen kazalara ait kaza raporlarından hareketle; elektrik kazaları analiz edilmiştir. Ayrıca, Türkiye genelinde meydana gelen kazalar ile TEDAŞ kazaları, uluslararası kaza istatistikçilerinin de kullandığı, çeşitli parametreler açısından kıyaslanmıştır.

2. İŞ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN GERİLİM KADEMELERİ

Elektrik üretim, iletim ve dağıtım tesislerinde yer alan elektrik gerilimi, belirli değerler arasında gruplandırılmıştır. Bu gruplandırmalara göre düzenlemeler yapılmakta, tesis elemanları üretilmekte, iş güvenliği önemleri de bu kademelere göre farklı olabilmektedir. Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliğine ve Elektrik Tesislerinin

İşletilmesi başlıklı TS En 50110-1 standardına göre gerilimler 3 kademeye ayrılmıştır[8]. Bu kademeler:

Alçak Gerilim: 0 – 1000 Volt arası,

Yüksek Gerilim: 1000 Volttan yukarısı,

Tehlikeli Gerilim: 50 Voltun üstü olarak kabul edilmektedir.

3. TÜRKİYE’DE ELEKTRİK ENERJİSİ SİSTEMİNİN YAPISI

Türkiye’de elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımı 1970 yılında Türkiye Elektrik Kurumu’nun (TEK) kurulmasıyla birlikte tek elden yönetilirken 1993-94 yıllarında TEK’in yapısında değişikliğe gidilerek Türkiye Elektrik Üretim-İletim A.Ş. (TEAŞ) ve Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ) olarak iki farklı iktisadi devlet teşekkülü olarak yeniden yapılandırılmıştır. 2001 tarihinde ise TEAŞ; Türkiye Elektrik İletim AŞ (TEİAŞ), Elektrik Üretim AŞ (EÜAŞ) ve Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt AŞ (TETAŞ) unvanlarında, anonim şirket statüsünde, üç ayrı iktisadi devlet teşekkülü şeklinde teşkilatlandırılmıştır[7].

Bugün elektrik dağıtımında, perakende satış sektöründe rekabete dayalı bir ortamın oluşturulması ve gerekli reformların yapılabilmesi için TEDAŞ yeniden yapılandırılmıştır. Bunun için Türkiye 21 dağıtım bölgesine ayrılmıştır. TEDAŞ, yurt genelinde büyük kentlerden en küçük yerleşim birimlerine kadar, bugün sayıları 26 milyonu aşan abonelerine elektriğin 36 kV’a kadar dağıtımı ve satış hizmetlerini yerine getirmektedir.

3.1. ELEKTRİK ÜRETİMİ

Elektrik üretiminde temel ilke mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Elektrik enerjisinin üretilmesi için kullanılan enerji ve yakıt türüne göre santraller değişik isimler almaktadır. Bunlar; hidroelektrik, termik, nükleer, doğalgaz çevrim, jeotermal, rüzgâr, gel-git (med-cezir) santralleri ve güneş enerjisi ile üretim şeklinde sınıflandırılabilir. Türkiye’de elektrik üretiminin çok büyük kısmını hidroelektrik ve termik santraller sağlamaktadır.

3.2. ELEKTRİK İLETİMİ

Elektrik iletimi, elektrik santralinde kontrollü ve planlı olarak elde edilmiş elektrik enerjisinin, santrallerden dağıtım hatlarına iletilmesini sağlayan hatlar üzerinden gerçekleşmektedir. Elektrik üretim tesisleriyle, elektrik tüketim bölgeleri yakınlarındaki transformatör istasyonları; transformatör istasyonları ile son tüketici arasında elektrik enerjisi iletimini sağlayan sistemdir. Elektrik hatlarının döşenmesinde maliyet, iletim hattının güzergâhı, coğrafi durum, arazi durumu, hattın güvenlik konumu gibi hususlar incelenir. Elektrik hattının güvenli bir şekilde yapımı ve elektriğin minimum kayıplarla iletilmesi çok önemlidir.

Günümüzde açık arazide, uzun enerji nakil hatları(ENH) havai hat; yerleşim yerlerinde ise yeraltı ENH hat olarak tesis edilmektedir. Yer altı ENH yüksek izolasyon gerektirdiğinden, hava hattına oranla oldukça pahalı olmasına karşın, güvenlik ve görsel açıdan tercih edilirler. Hava hattı bir ENH; bakır veya alüminyumdan iletken kablo, taşıyıcı direk ve ikisi arasındaki bağlantıyı sağlayan yalıtkan izolatörden oluşur.

Genel olarak, elektrik üretim tesisleriyle, transformatör istasyonları arasındaki hatlar yüksek gerilim; büyük transformatör istasyonları ile küçük transformatör istasyonları arasındaki hatlar orta gerilim, küçük transformatör istasyonları ile son tüketici arasındaki hatlar alçak gerilim olarak adlandırılır. Türkiye'deki ENH sistemleri Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından tesis edilip çalıştırılmaktadır. TEİAŞ iletim şebekesi; 48.971 km uzunluğunda enerji iletim hattı, 606 iletim merkezi ve 98.852 MVA trafo gücü, komşu ülkelerle toplam 10 adet enterkonneksiyon hattından oluşmaktadır[10].

3.3. ELEKTRİK DAĞITIMI

Elektrik dağıtımı TEDAŞ ve özel şirketler tarafından yapılmakta olup, 36 kV altındaki gerilimlerin tüketiciye kadar ulaşmasını sağlarlar. Genel olarak görevi elektrik dağıtım tesislerinin etüt

ve planlamasını yapmak, buna bağlı olarak gerekli tesislerin kurulmasını sağlamak, mevcut ve kurulacak tesisleri işletmek ve sözleşmeler çerçevesinde elektriğin alışı, satışı ve ticaretini yapmak veya yaptırmak; elektriğin dağıtımını için gereken her türlü etüt ve projeler ile inşaat ve tesisleri yapmak ve yaptırmak; 36 kV gerilim seviyesi altında bağlanacak olan üretim tesisi ve otoproduktör olarak çalışacak tesislerin enerji alışı satışı anlaşmalarını yapmak ve yürütmektir[11].

4. METOD VE BULGULAR

Bu çalışmada 2004-2010 yılları arasında TEDAŞ'da meydana gelen 1218 kaza, kaza raporlarından faydalanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulguların anlaşılır olması için, Türkiye genelinde meydana gelen kazalar ile TEDAŞ kazaları, uluslararası kaza istatistikçilerin de kullandığı, genel kaza sıklığı, ölümlü kaza sıklığı ve kaza ağırlık hızı gibi ölçütler kullanılarak kıyaslanmıştır. Ayrıca TEDAŞ'da meydana gelen ölümlü kazalar, çalışılan gerilim değeri, kazazedenin yaşı, tecrübesi gibi çeşitli parametreler açısından incelenmiştir.

4.1. TEDAŞ'DA İŞ KAZALARININ GENEL GÖRÜNÜMÜ

TEDAŞ iş kazalarının yıllara göre sonuçları itibarıyla dağılımı *Tablo 1*'de verilmiştir[12].

İş Kazası Sonucu	Kaza Sayısı								%
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Toplam	
Ölüm	13	11	15	18	10	10	5	82	6,7
Ağır Yaralanmalı	69	62	55	48	38	22	9	303	24,9
Hafif Yaralanmalı	128	126	141	128	108	69	78	778	63,9
Yaralanmasız	7	9	6	8	14	5	6	55	4,5
Toplam	217	208	217	202	170	106	98	1218	100

Tablo 1: TEDAŞ İş Kazalarının Yıllara Göre Sonuçları İtibarıyla Dağılımı

Bu tablo incelendiğinde, TEDAŞ'da meydana gelen kazaların önemli bir kısmının sonuçları itibarıyla büyük kazalar olduğu görülür. Son yedi yılda vuku bulan 1218 kazanın %31,6'sı ya ölümle ya da ağır yaralanmalarla sonuçlanmıştır. Bu değer son yedi yılda Türkiye geneli için % 3,9 civarındadır. Bu durum, elektrik sektöründe İş güvenliği

çalışmalarının ne denli önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

TEDAŞ için elde edilen verilere göre, yıllara göre çalışan sigortalı sayıları, iş kazası sayıları, ölümlü iş kazası sayıları, yıllık çalışma saatleri, iş göremezlik gün sayıları ve kazaların doğrudan maliyetleri *Tablo 2*'de verilmiştir.

Yıllar	İşçi Sayısı	İş Kazası Sayısı	Ölümlü İş Kazası Sayısı	Yıllık Çalışma Saatleri	İş Göremezlik Gün Sayısı	Kaza Maliyeti (Milyon \$)
2004	22.146	217	13	53.150.400	104.702	28,2
2005	21.608	208	11	51.859.200	89.322	26,3
2006	20.606	217	15	49.454.400	119.205	36,9
2007	20.233	202	18	48.559.200	141.014	53,8
2008	18.715	170	10	44.916.000	78.637	34,8
2009	13.661	106	10	32.786.000	77.638	30,8
2010	9.479	98	5	22.749.600	38.400	16,3

Tablo 2: TEDAŞ İş Kazalarının Yıllara Göre Genel Görünümü

Bu tablodan da anlaşılabacağı üzere, son yıllarda İş Sağlığı ve Güvenliği çalışmalarının etkinliğinin artırılması sonucunda TEDAŞ’da meydana gelen iş kazası sayılarında, iş göremezlik gün sayılarında ve doğrudan kaza maliyetlerinde önemli bir azalma olmuştur. Ancak, işçi sayısında ve yıllık çalışma saatlerinde çok ciddi azalmalar olduğu için; kaza istatistikleri sadece bu verilere bakılarak kıyaslanamaz. Bunun için, genel kaza sıklığı, ölümlü kaza sıklığı, kaza ağırlık hızı gibi değişik kıyaslama ölçütlerine bakmak daha sağlıklı olacaktır.

4.2. KARŞILAŞTIRMA ÖLÇÜTLERİ

Genel Kaza Sıklığı değeri, bir yılda 100000 çalışan başına düşen iş kazası sayısı olarak tanımlanmaktadır. **Ölümlü Kaza Sıklığı** değeri, bir yılda 1000000 çalışan başına düşen ölüm sayısı olarak tanımlanmaktadır. **Kaza Ağırlık Hızı** değeri ise, bir yılda çalışılan 1000000 saat başına düşen kayıp iş günü sayısı olarak tanımlanmaktadır. 2004-2010 yılları için elde edilen verilere göre, Türkiye geneli ve TEDAŞ’da meydana gelen iş kazaları için hesaplanan, Genel Kaza Sıklığı, Ölümlü Kaza Sıklığı ve Kaza Ağırlık Hızı değerleri sırasıyla Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5’de verilmiştir.

YIL	TÜRKİYE GENELİ	TEDAŞ
2004	1362	980
2005	1068	963
2006	1010	1053
2007	947	998
2008	828	908
2009	712	776
2010	----	1034

Tablo 3: Genel Kaza Sıklığı

YIL	TÜRKİYE GENELİ	TEDAŞ
2004	136	587
2005	158	509
2006	205	728
2007	123	890
2008	98	534
2009	130	732

9		
2010	----	527

Tablo 4: Ölümlü Kaza Sıklığı

YIL	TÜRKİYE GENELİ	TEDAŞ
2004	791	1970
2005	782	1722
2006	961	2471
2007	634	2904
2008	519	1751
2009	641	2368
2010	----	1688

Tablo 5: Kaza Ağırlık Hızı

Tablo 3 incelendiğinde, TEDAŞ’da meydana gelen ortalama kaza sayısının Türkiye ortalamasına yakın olduğu, ancak son yıllarda alınan iş güvenliği tedbirlerine paralel olarak kaza sayısında sağlanan iyileşmenin TEDAŞ’da daha düşük oranda gerçekleştiği söylenebilir. Tablo 4 incelendiğinde, TEDAŞ’da meydana gelen kazaların, Türkiye geneline göre çok daha ölümlü olduğu ve zaman içinde ölüm oranında bir iyileşme sağlanamadığı görülmektedir. Tablo 5 incelendiğinde ise, TEDAŞ’da meydana gelen kazaların, Türkiye geneline göre çok daha büyük kazalar olduğu söylenebilir. Son yedi yılda kaza başına kaybedilen iş günü kaybı Türkiye genelinin üç katından daha fazladır. Tablo 4 ve Tablo 5 beraber değerlendirildiğinde, TEDAŞ’da meydana gelen kazaların hem maddi hem de manevi kayıplar açısından çok daha ağır sonuçlar doğurduğu görülmektedir.

4.3. TEDAŞ’DAKİ ÖLÜMLÜ İŞ KAZALARININ ANALİZİ

2004-2010 yıllarına ait kaza verileri incelendiğinde, bu dönemde TEDAŞ’da 1218 iş kazasının meydana geldiği ve bu kazalarda toplam 82 çalışanın yaşamını yitirdiği görülür. Ölümlü kaza sıklığının Türkiye ortalamasının çok üzerinde olması, TEDAŞ’daki ölümlü kazaların ayrıca analiz edilmesinin gereğini ortaya koymaktadır. Ölümlü kazaların gerilim kademesine, kazazedenin yaş ve tecrübesine göre dağılımı sırasıyla Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8’de verilmiştir.

	Kaza Sayısı								
Gerilim Değeri	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Toplam	%
Alçak Gerilim	3	2	5	4	0	2	0	16	19,5
Yüksek Gerilim	9	8	4	8	4	5	2	40	48,8
Diğer	1	1	6	6	6	3	3	26	31,7
Toplam	13	11	15	18	10	10	5	82	100

Tablo 6: Yıllar İtibarıyla Ölümle Sonuçlanan İş Kazalarının Gerilim Kademesine Göre Dağılımı

	Kaza Sayısı								
Yaş Grupları	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Toplam	%
20-30	2	2	---	4	---	2	1	11	13,4
31-35	1	---	2	---	---	---	1	4	4,9
36-40	1	1	---	2	3	---	---	7	8,5
41-45	3	3	3	3	3	2	1	18	22
46 ve sonrası	6	5	10	9	4	6	2	42	51,2
Toplam	13	11	15	18	10	10	5	82	100

Tablo 7: Ölümle Sonuçlanan İş Kazalarının Yaş Durumuna Göre Dağılımı

	Kaza Sayısı								
Hizmet Süresi (Yıl)	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Toplam	%
0-5	2	2	1	5	---	2	1	13	15,9
6-10	---	---	1	---	3	---	1	5	6,1
11-15	2	---	---	2	1	2	1	8	9,8
16-20	7	7	6	1	1	3	---	25	30,4
21 ve sonrası	2	2	7	10	5	3	2	31	37,8
Toplam	13	11	15	18	10	10	5	82	100

Tablo 8: Ölümle Sonuçlanan İş Kazalarının Hizmet Sürelerine Göre Dağılımı

Bu üç tablo beraber değerlendirildiğinde; ölümlü kazaların büyük bir kısmının (%48,8) yüksek gerilimle çalışırken meydana geldiği, yaşın ölümlü kazaların oluşumunda önemli bir faktör olduğu, ölümlü kazalara büyük bir oranda (%64,6) ya çok genç ya da yaşı ilerlemiş çalışanların maruz kaldığı, tecrübe artsa bile, ilerleyen yaşla beraber ölümlü kazaların arttığı, yargılarına ulaşılabilir.

5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER:

Gelişmiş ülkelerle kıyaslandığında iş kazaları açısından çok iyi bir noktada olmadığımız bir gerçektir[3]. Ölümlü kaza sıklığı ve kaza ağırlık hızı açısından TEDAŞ Türkiye geneline göre çok daha vahim durumdadır. Bu durum, elektrik sektörünün kendi doğasından kaynaklanmaktadır. Ancak, sonuçları dikkate alındığında, TEDAŞ'da çok daha sıkı bir iş güvenliği mekanizmasının kurulması gerekliliği ortadadır. Ölümlü kazalar açısından olaya bakıldığında ise, yaşı çok genç ve tecrübesiz çalışanlar ile yaşı ilerlemiş olan çalışanlar üzerinde tedbirlerin alınması gerektiği ortadadır. Bu noktada, genç çalışanlar çok daha ciddi iş güvenliği

eğitiminden geçirilmeden özellikle ölümlerin yoğunlaştığı yüksek gerilim altında yalnız başlarına çalıştırılmamalıdır. Yaşı ilerlemiş olan çalışanlar çok daha sık sağlık kontrollerinden geçirilmelidir. Tepki süresi uzayan ve dikkat dağınıklığı oluşan çalışanlar daha az riskli alanlara kaydırılmalı, vardiyalı çalışmalarda ve gece çalışmalarında daha ziyade 30-40 yaş aralığındaki hem tecrübeli hem de dinamik çalışanlardan faydalanılmalıdır. Elektrik sektöründe dikkat son derece önemli olduğu için, özellikle yüksek gerilim altındaki çalışmalarda kesinlikle fazla çalışmalara (fazla mesai) izin verilmemelidir. Maden işletmelerinde olduğu gibi, iş güvenliği mühendisleri muhakkak uzmanlık alanı elektrik-elektronik olan mühendisler arasından seçilmeli, başka alanlardan iş güvenliği eğitimi almış insanlar bu sektörde iş güvenliği mühendisi olarak çalıştırılmamalıdır.

6. KAYNAKLAR

1. Ceylan H., "İmalat Sistemlerindeki İş Kazalarının Tahmini İçin Ağırlıklandırılmış Ortalamalardan Sapma Tekniği", Gazi

- Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara, 2000.
2. Ceylan H., Ergüzen A. “A Software To Estimate Work Accidents In Production Systems”, XIX. World Congress on Safety and Health at Work, Istanbul, TURKEY, 2011. (Sunulacak)
 3. Ceylan H., Avan M. “Analysis Of Occupational Accidents According To The Sectors In Turkey”, XIX. World Congress on Safety and Health at Work, Istanbul, TURKEY, 2011. (Sunulacak)
 4. Ceylan H., Özkan V. “Analysis of Occupational Accidents At Electrical Distribution Systems In Ankara And Peripheral Cities ”, XIX. World Congress on Safety and Health at Work, Istanbul, TURKEY, 2011. (Sunulacak)
 5. Dizdar E. N., Ceylan H., Kurt M., “A cost efficient method for preventing accidents in electrical distribution systems and peripheral equipment”, Contemporary Ergonomics 1997, Annual Conference, Stoke Rachford Hall, Lincolnshire, England, Taylor & Francis Publish, pp. 251-256, (1997).
 6. Kurt M., Dizdar E. N., Ceylan H., “A low cost approach for reducing accident risk in substation of electrical transmission systems”, International Ergonomics Association 13th Triennial Congress (IEA’97), Tampere, Finland, pp. 449-451, (1997).
 7. Turgut E., Selçuk K., “Elektrik Enerjisi Üretimi ve Dağıtımı”, Detay Yayıncılık, 2009
 8. TS En 50110-1, Elektrik Tesislerinin İşletilmesi
 9. SGK, “1984-2009 İstatistik Yıllıkları”, SGK Yayını, Ankara, 1984-2009.
 10. <http://www.teias.gov.tr>
 11. <http://www.tedas.gov.tr>
 12. 2004-2010 Yılları TEDAŞ İş Kazası Raporları

Elektrik Elektronik Mühendisliği Günleri Sempozyumu

Geleceğin Mühendisliği: Sistem Mühendisliği

Sami PANCAROĞLU
Sistem Mühendisliği Müdürü
MİKES A.Ş., Ankara
sami.pancaroglu@mikes.com.tr

Özetçe

Sistem Mühendisliği karmaşık sistemlerin tasarlanması ve geliştirilmesi, üretimi, kurulumu, işletme ve bakımı, yenileme ve kullanımdan çıkarma faaliyetlerine yönelik bir mühendislik dalıdır. Sistemin ömür devri boyunca, toplam maliyet unsurlarını da göz önüne alarak müşteri ihtiyaçlarını karşılayan başarılı sistemlerin gerçekleşmesini sağlayan, disiplinler arası bir yaklaşım ve araçtır. Karmaşık mühendislik faaliyetleri ihtiva eden projelerde kavramsal tasarım fazlarından ömür devri fazlarının sonuna kadar Sistem Mühendisliği uygulanmaktadır.

Bu makalede sistem kavramı ve Sistem Mühendisliğinin tanımı yapılmış, Sistem Mühendisliği süreçleri anlatılmıştır. Dünyada gelişimi ve gelecekteki uygulamalarına değinilmiş, karmaşık sistemlerin ortaya çıkmasıyla yeni oluşan “Model Tabanlı Sistem Mühendisliği” yaklaşımından bahsedilmiş, küresel ortamda Sistem Mühendisliğinin gelecekteki yeri ve uygulamalarına değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sistem Mühendisliği, Systems-of-Systems, Model-Tabanlı Sistem Mühendisliği

1. Giriş

Sistem yaklaşımı, sistemi oluşturan parçalara ayrı ayrı odaklanmak yerine tüm sistemi bir bütün olarak ele alan, sistemin yaşam sürecinde faaliyet gösteren, müşteri ihtiyaçlarının karşılanmasını sağlayan disiplinler arası bir yaklaşımdır. Sistem Mühendisliği karmaşık sistemlerin tasarlanması ve geliştirilmesi, üretimi, kurulumu, işletme ve bakımı, yenileme ve kullanımdan çıkarma faaliyetlerine yönelik bir mühendislik dalıdır. Temel amacı, uygun metodoloji, prosedürler ve süreçler, araçlar kullanarak büyük ölçekli ve kapsamlı problemlere sistem yaklaşımı ile çözüm geliştirmektir.

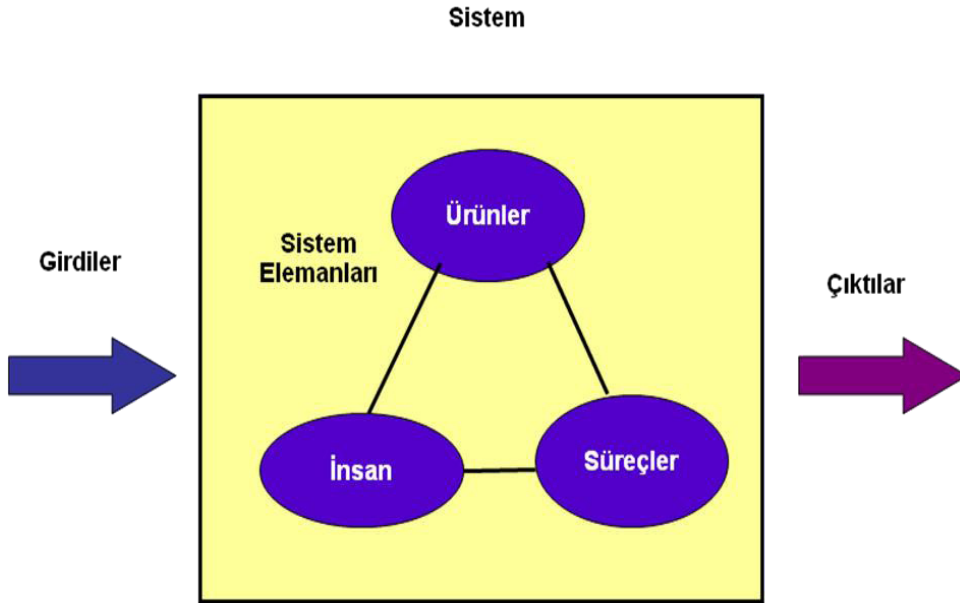
Karmaşık mühendislik faaliyetleri ihtiva eden projelerde kavramsal tasarım fazlarından yaşam döngüsü fazlarının sonuna kadar Sistem Mühendisliği uygulanmaktadır.

Günümüz dünyasında, karmaşık sistemler genellikle teknik, biyolojik, sosyolojik, çevresel, endüstriyel, sistemlerden en az birkaçının bir bileşkesi olarak hem askeri sektörde hemde sivil sektörde kullanılan sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır.

2. Sistem Kavramı

Sistem kelimesi, Latince "birleşme", "oluşma", "bir araya gelme" anlamını taşıyan systema'dan; Yunanca gene aynı anlamlara gelen sustema kelimesinden türemiştir.

Sistem, en basit tanımıyla, **Şekil-1**'de gösterildiği gibi birbiriyle ilişki içerisinde olan, birbiriyle etkileşen elemanlar topluluğudur,. Ortak bir amacı gerçekleştirmek veya başarmak amacıyla bir araya getirilen, ortak özellikleri olan, birbiriyle etkileşimli parçaların bütününe verilen isimdir.



Şekil-1. Sistem Kavramı

Bir sistemin özellikleri aşağıda tanımlanmıştır:

- Karmaşık bir bütün oluşturan, birbirlerini etkileyen, birbirine bağlı ve/veya birbirleriyle ilişkili bölümler/parçalar (öğeler) grubu.
- Bölümler/Parçaların her biri aynı süreç, işlem ve/veya yapı ile ilişkilidir.
- Bölümler/Parçalar birbirlerinden farklı biçim ve/veya işleve sahiptir.
- Bölümler/Parçaların kendilerine özgü nitelikleri (özellik ve işlevleri) vardır.
- Sistem(ler) sınırlandırılabilir/sınırı çizilebilir bir yapıdadır.
- Bölümler/Parçalar birbirlerini aralarındaki ilişkiler ile etkiler.
- Bölümler/Parçalar da alt-sistemler şeklinde ayrı ayrı sistem olabilir.

Günümüzde teknoloji seviyesi arttıkça modern toplumlar gittikçe karmaşılaşmaktadır.

- Kritik teknolojilerin doğası hızla değişmektedir.
- Ürünler özel ihtiyaçlar için geliştirilmektedir.
- Ürünler karmaşılaşmakta, büyümekte ve birden çok-disiplini ilgilendiren sistemler haline gelmektedir.
- Uzmanlaşma ve disiplinlerin birbirlerinden uzaklaşması artmaktadır.
- Rekabet artmakta, pazarlar küresel hale gelmektedir.

Bu sorunlar ile başa çıkabilmek için yeni tip süreçler ve yeni bir mühendis tipi ortaya çıkmıştır: Sistem Mühendisliği ve Sistem Mühendisi.

Sistem mühendisliği ihtiyaç makamının hem teknik hem de iş (sosyal) ile ilgili ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak, kaliteli bir çözümün sağlanmasını amaçlayan bir mühendislik dalıdır.

Sistem mühendisliği bilim, mühendislik ve sosyal disiplinlerin hem müşterinin hem de tasarlayan/geliştiren kurumun beklentilerini tatmin edecek şekilde disiplinli ve etkin bir çaba olarak bütünlenmesinin aracıdır.

3. Tarihçe

Kökleri çok eskilere dayandırılıyor. Pek çok yenilikte olduğu gibi savunma ve uzay sektöründe askeri teknolojilerin içinden çıkmıştır. İlk kez resmi hale gelmesi 1950'lerin ortasında ABD'de NASA'nın yürüttüğü balistik füze programlarının yürütülmesi esnasında olmuştur.

4. Sistem Mühendisi

- İşinin ekonomik, insani, çevresel ve idari yönlerinin de farkında olarak doğal veya yapay sistemlerin çözülmesi (analysis), tasarlanması ve değerlendirilmesi/ölçülmesi için eğitilmiş bir mühendistir.

- Farklı ve çeşitli parçaları tasarım isteklerini karşılamak için birleştirir ve denetim altında tutar.
- Eğitimi herhangi bir mühendisininki gibidir. Bunun yanında planlama, örgütlenme ve mühendislik projelerinin eşgüdümü gibi konuların da üzerinde durur.
- Dünyada Sistem Mühendisliği son yıllarda çok popüler, aranan, tercih edilen bir mühendislik dalı olmuştur.
- Yurt dışında özellikle A.B.D.de bir çok üniversitede lisans ve lisansüstü seviyede eğitim veren çeşitli kurumlar vardır.

5. Sistem Ömür Döngüsü

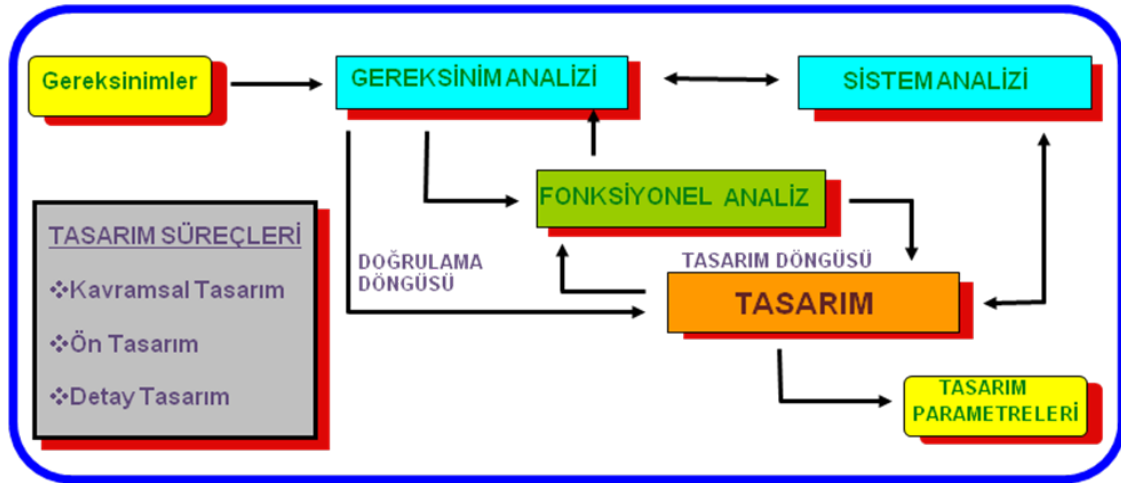
Sistem ömür döngüsü ilkesi basitçe sistemin başlatılması, tasarlanması, inşa edilmesi, kullanıma alınması, işletilmesi, sürdürülmesi, durdurulması, sökülmesi ve ortadan kaldırılması döngülerini ihtiva eder.

Tipik bir sistem ömür döngüsü aşağıdaki aşamalardan oluşur:

- Sistem gereksinimlerinin tanımlanması.
- Kavram geliştirme.
- Sistem tasarımı ve geliştirme.
- Sistem Entegrasyonu
- Doğrulama ve Test
- Sistem bütünleme ve deneme.
- Üretim ve kullanıma alma.
- Kullanım, sürdürme ve iyileştirme.
- Kullanımdan çıkarma, ortadan kaldırma ve/veya yenileme/değiştirme

6. Sistem Mühendisliği Süreçleri

Sistem ömür devri sürecinde Sistem Tasarım Süreçleri Şekil-2’de gösterilmiştir, [1].



Şekil-2. Sistem Tasarım Süreçleri

Kavramsal Tasarım, yapılacak tasarımda ortaya çıkacak sistem yada ürünün ana özelliklerini belirleme aşamasıdır. Bu özelliklere göre sistem/ürün üretmek mümkün müdür değil midir çalışmaları ve tartışmaları sonradan yapılacak ayrıntılı tasarım çalışmalarında gerçekleştirilecektir.

Kavramsal tasarım sürecinde öncelikle gereksinimlere yönelik çalışmalar gerçekleştirilir. Yapılacak fizibilite çalışması sonucunda gereksinimlerin oluşturulması ile Görev gereksinimleri, kaynak gereksinimleri, türetilen gereksinimler olarak Sistem gereksinimleri belirlenir ve analizleri yapılır.

Daha sonra Sistem Mühendisliği Yönetim Planı, şartnameler (teknik, idari) hazırlanır. Sistem işletme konsepti oluşturulduktan sonra sistem fonksiyonlarının belirlendiği ve gösterildiği fonksiyon dağılım ağacı oluşturulur. Fonksiyon dağılım ağacına göre üst seviye trade-off çalışmaları yapılarak tasarım seçenekleri oluşturulmaya çalışılır. Uygun bulunan seçeneklerin sentezleri oluşturulur (şematik, fonksiyonel çizimler, vb.). Bu faaliyetleri bitirecek çalışma Sistem

Gereksinimleri Gözden Geçirme (SRR) çalışmasıdır. Genellikle müşteri ve kullanıcı ile yapılır ve yapılan çalışmalar dokümanite edilir.

Ön tasarım fazında gerçekleştirilen faaliyetler aşağıda özetlenmiştir. Bunlar,

- Kavramsal Tasarım fazında oluşturulan sistem fonksiyonlarının analizi
- Sistem analizi, performans ve tasarım kriterlerinin oluşturulması
- Sistem/alt sistem optimizasyonu, trade-off (getiri-götürü, seçimleme) çalışmaları
- Sistem seçimi, performansı ve konfigürasyonu
- Fonksiyonel, fiziksel ve operasyonel mimarilerin oluşturulması
- Ön Tasarım Gözden Geçirme (PDR) toplantısı

olarak gerçekleştirilir.

Tasarım ve Geliştirme fazında ise Sistem/altsistem tasarımı (Fonksiyonel olarak sistemin detaylı tasarımı, Sistemin lojistik destek elemanlarının detay tasarımı, Destek fonksiyonlarının tasarımı, Sistem analiz ve değerlendirmesi, vb.) çalışmaları gerçekleştirilir ve Tasarım Gözden Geçirme (CDR) toplantısı ile gerçekleştirilecek tasarımın onayı alınmış olur. Bundan sonraki aşama protip geliştirme, test ve değerlendirme, düzeltme faaliyetleridir.

7. Karmaşık Sistemler

Karmaşık sistemlerin belli başlı karakteristikleri aşağıda listelenmiştir:

- Gerçek zamanlı çalışır olmaları
- Dağıtık yapıda birden fazla işlemciye sahip olmaları
- Çok sayıda mod ve konfigürasyona sahip olmaları
- Birden çok sistemden oluşan sistem yapısı
- Birden çok kullanıcı/müşteri: askeri, sivil sektörler
- Karmaşık entegrasyon ve test gereksinimleri
- Çok fazla sayıda karmaşık arayüzler
- Zor çevresel koşullarda 24 saat 7 gün çalışma gereksinimleri

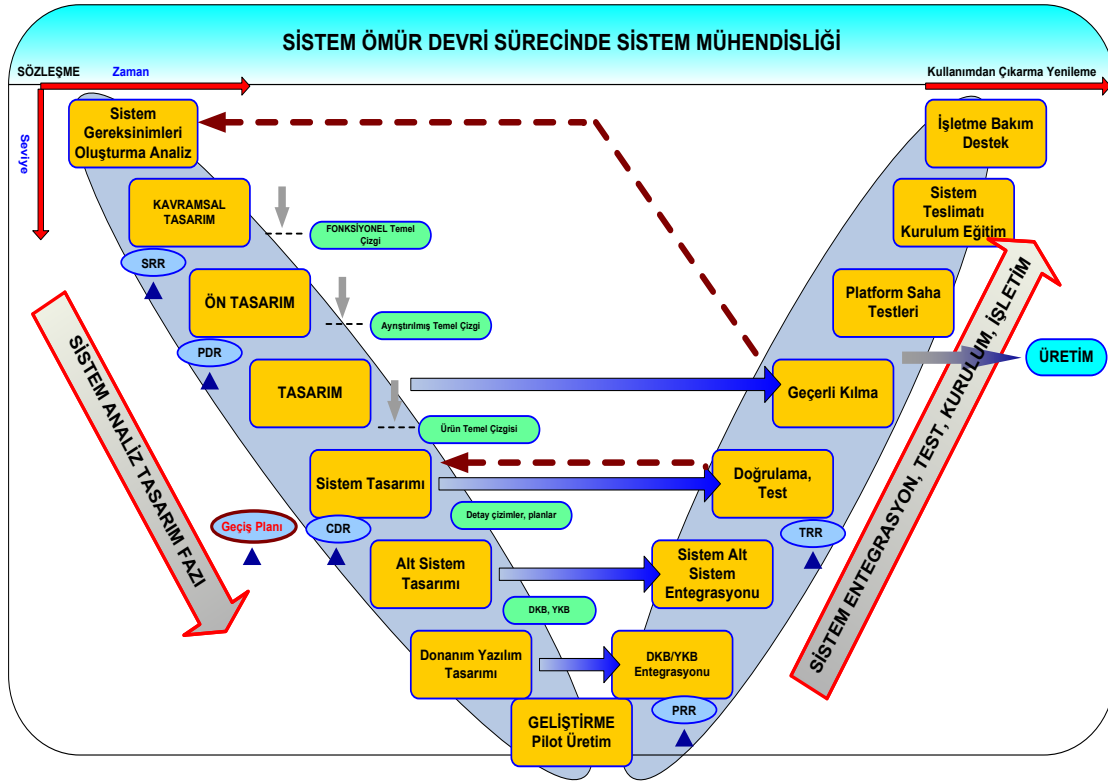
olarak listelenebilir, [2].

Karmaşık sistemlerde gerçekleştirilmesi gereken Sistem Mühendisliği faaliyetleri:

- Birden çok seviyede spesifikasyon gereksinimleri oluşturma ve analizleri
 - Sistem, alt-sistem, yazılım, donanım
- Uzmanlık gerektiren mühendislik konuları: emniyet, güvenlik, insan faktörleri, yeniden kullanılabilirlik, Elektronik, Yazılım/Bilgisayar, Donanım Mühendisliği, vb.
- Farklı arayüzler: ICD, IDD, IRS, vb.
- Tasarım ve üretim/kullanım standartları: EMI, EMC, RFI, Seismic, Fire, ISO, Mil-STD, FAA, vb.
- Yönetilecek onbinlerce gereksinim
- Sistem Mühendisliği Metodolojisi
- Çok sayıda Alt Kontrat Yönetimi

olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sistem ömür devri boyunca Karmaşık sistemlerin tasarımı ve geliştirilmesinde en çok kullanılan Sistem Mühendisliği modeli olan V-modeli **Şekil-3**'de gösterilmiştir.



Şekil-3. Sistem Mühendisliği V-Modeli

8. Yeni Yaklaşım

Günümüzde karmaşık projelerde kavramsal tasarım fazlarından ömür devri fazlarına kadar sistem gereksinimleri, tasarım, analiz, doğrulama ve geçerli kılma süreçlerini desteklemek için modellemeye dayalı Sistem Mühendisliği kavramı oluşmaktadır. Doküman-merkezli yaklaşımdan model-merkezli yaklaşıma geçiş sayesinde, Model-Tabanlı Sistem Mühendisliği gelecekte mekanik, elektrik/elektronik ve yazılım/bilgisayar gibi mühendislik disiplinlerini de içine alan Sistem mühendisliği uygulamalarında önemli rol oynayacaktır.

8.1. Model Tabanlı Sistem Mühendisliği (MTSM)

Model Tabanlı Sistem Mühendisliği (MTSM), kavramsal tasarım safhasından başlayıp geliştirme sürecinden ömür devri evrelerine kadar devam eden sistem gereksinimleri, tasarım, analiz, doğrulama ve geçerli kılma faaliyetlerini desteklemek için kullanılan grafiksel modelleme uygulamasıdır, [3], [4].

MTSM'nin, önümüzdeki birkaç yıl içinde sistem mühendisliği uygulamalarında git gide artan bir rol oynayacağı düşünülmektedir. Mekanik, elektrik/elektronik ve bilgisayar/yazılım gibi diğer mühendislik dallarında da yavaş yavaş model-merkezli yaklaşımlar yer almaktadır. Özellikle MTSM'nin sistem mühendisleri tarafından uzun zamandır uygulanan doküman-merkezli yaklaşımın yerine geçeceği ve sistem mühendisliği sürecinde kullanılacağı değerlendirilmektedir.

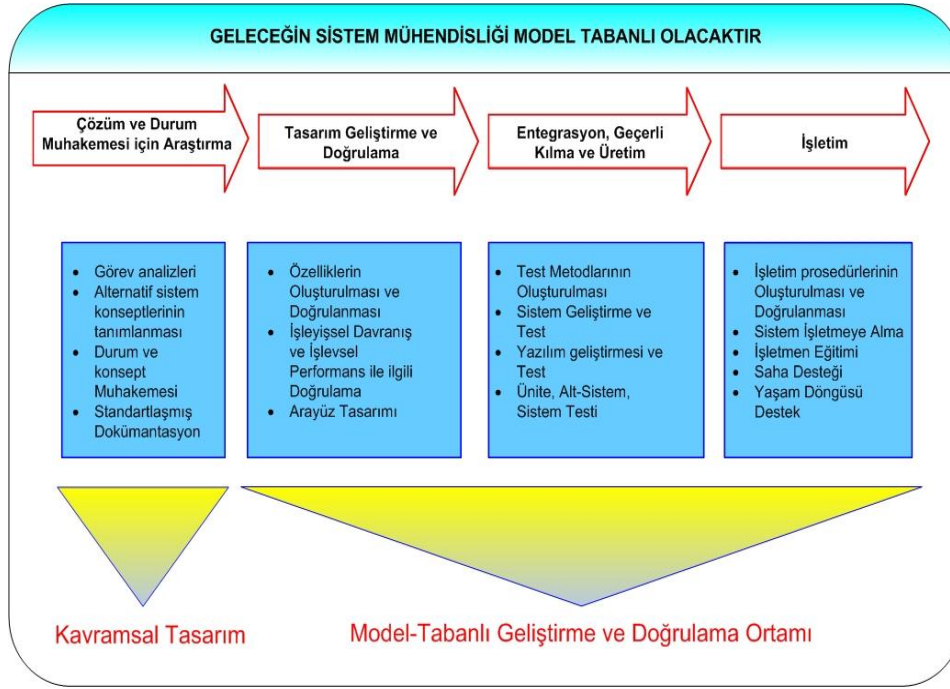
Sistem Mühendisliği doküman-merkezli yapıdan model-merkezli yapıya geçişin başlangıç aşamasındadır. MTSM uzay ve havacılık endüstrisinde uzun yıllar uygulanmıştır. Fakat uygulandığı endüstrilerde bile MTSM genelde tüm sistemin yaşam döngüsünde ve tasarım sürecinin oldukça dar bir alanında kullanılmıştır.

Günümüzde MTSM süreci ve yöntemleri genelde özel uygulamalar olarak görülmekte olup geliştirme sürecine tam olarak dahil edilememiştir. MTSM araçları, fonksiyonel ve nesneye dayalı analizler gibi çeşitli modelleme tekniklerini desteklemekte ancak model ve veri değiş-tokuşunu desteklememektedir. Genelde kabul görmüş MTSM standartları olmadığından her araç ve metod için farklı eğitimler gerekmektedir.

9. Küresel Sistem Mühendisliği Ortamı

Karmaşık, küresel, akıllı sistemler modelleme dilleri ve bilgi standartlarına bağımlıdır ve günden güne daha fazla bu dilleri ve bilgiyi kullanmaktadır. Doğrudan kullanılabilir modeller, sistem geliştirmenin tüm aşamalarında işlevsel prototipler olarak kullanılacaktır. Modelleme yeteneğinin gelişimi gelişen bilgi teknolojisi ile desteklenmektedir.

Aşağıda **Şekil 4**'de kazanılacak Sistem Mühendisliği kabiliyetlerine olanak sağlayan modern geliştirme ortamları Model Tabanlı Sistem Mühendisliği desteği ile bütün sistem kullanım sürecini kapsayacak şekilde verilmiştir.



Şekil 4. MTSM Ortamı

Daha yetenekli, dayanıklı sistemler için gereken gelişmiş Sistem Mühendisliği kabiliyetleri, farklı büyüklükteki işletmelere yönelik karmaşık operasyonlar için gerekli olan sistem mühendisliği metodolojisini desteklemek amacıyla ortaya çıkarılacaktır. Bu mühendislik kabiliyetleri aşağıdakileri içerecektir;

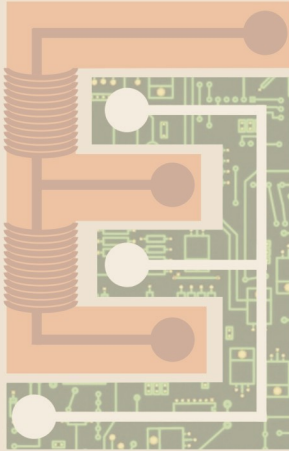
- Gelişmiş sistem kuramı, analitik metodlar ve ilgili araçlar
- Birden çok bilim dalıyla ilgili olan mühendislik eğitimlerinin gelişmeleri
- Mühendislik uzmanlık alanlarının yoğun olarak kullanımı ve entegrasyonu

10. Sonuç

Dünyada Sistem Mühendisliği son yıllarda çok popüler, aranan, tercih edilen bir mühendislik dalı olmuştur. Gelecekte Sistemlerin-Sistemi mühendislik ortamı, süreç entegrasyonu ve Sistem Mühendisliği metodlarının birleştirilmesini ihtiva edecektir. Böylece, ortak kullanılan araçlar ve sanal ortamların vasıtasıyla kullanıcı arayüzünün basitleştirilebilmesi ve karmaşık kabiliyetler gerçekleştirilebilecektir. Karmaşık sistemlerin tasarlanıp, geliştirilmesinde Sistem Mühendisliği en önemli rolü oynayacaktır.

11. Kaynakça

- [1] Department Of Defense, “Systems Engineering Fundamentals”, January 2001, FortBelvoir, Virginia USA 22060-5565
- [2] NASA, “Systems Engineering Handbook”, SP-610S, June 1995
- [3] Jeff A. Estefan, “Survey of Model-Based Systems Engineering Methodologies”, May 2008, California Institute of Technology, CA USA
- [4] Weikiens, Tim, “Systems engineering with SysML/UML: modeling, analysis, design”, Morgan Kaufmann OMG Press, 2007.



ANKARA ŞUBESİ