



SAKARYA
ÜNİVERSİTESİ

SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Sakarya University Journal of Science



e-issn: 2147-835X

Cilt 22 Sayı 1

Volume 22 Issue 1

Şubat / February 2018

<http://www.saujs.sakarya.edu.tr/issue/30795>

İÇİNDEKİLER

	Makaleler	Yazarlar	pp
1	Çevrimiçi çalışabilen çoklu ortama uygun hasta izleme sistemi	M.Demirtaş ve diğ.	1~7
2	Ayrık-zaman KKK, LQR ve PID kontrolör performanslarının alçaltıcı tip Da-Da dönüştürücü üzerinde kıyaslanması	Ö.Özdemir, İ.Yazıcı	8~15
3	Manyetik Askılama Sistemi İçin 2 Serbestlik Dereceli PID Kontrolcü Tasarımı	D.Maden, İ.Yazıcı	16~23
4	İstatistiksel Metotlar ve Yapay Sinir Ağları Kullanarak Kısa Dönem Çok Adımlı Rüzgâr Hızı Tahmini	İ.Kırbaş	24~38
5	Nesnelerin İnterneti için Yeni bir Mimari Tasarımı	T.Çavdar, E.Öztürk	39~48
6	Hata bulma yöntemlerinin yanlış alarm oranları	Y.Sevim	49~55
7	Görüntü İşleme Teknikleri ve Kümeleme Yöntemleri Kullanılarak Fındık Meyvesinin Tespit ve Sınıflandırılması	S.Solak, U.Altınışik	56~65
8	Sakarya Şehri için Dış ve İç Yönlendirmeli Rezervasyon Tabanlı Otopark Yönetim Sistemi Tasarımı ve Sistem Başarımı	M.Varan, C.Karakuş	66~74
9	Asimetrik üç serbestlik dereceli bir düzlemsel paralel robot mekanizmasının kinematik analizi	M.Toz	75~84
10	Değiştir&gözle ve artımsal iletkenlik algoritmalarının EN 50530 dinamik verim testine göre performanslarının değerlendirilmesi	O.Kırcıoğlu ve diğ.	85~93
11	Hareketli hedef takip sisteminde geliştirilmiş Hough dönüşümü (GHT) ve normalleştirilmiş çapraz ilinti (NCC) yöntemlerini ardışıl kullanarak eşleşme doğruluğunun artırılması	M.Yağımlı ve diğ.	94~101
12	Darbe İndüksiyon Metal Dedektörlerinde Toprak Kompanzasyonu	A.Akgöz, A.Ferikoğlu	102~107
13	Meme manyetik rezonans görüntüleme lezyon sınırlarının ve alanının tespit edilmesi	G. Çetinel, S. Gül	108~127
14	Wi-Fi ve Bluetooth Frekansları için Özgün PIF Anten İçeren Akıllı Saat Tasarımı ve El Modeli Üzerinde Analizi	M.H. Nişancı ve diğ.	128~134



Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
Sakarya University Journal of Science

Editör Listesi

Editorial Board

Cilt 22 Sayı 1

Volume 22 Issue 1

Baş Editör
Executive Editor

Emrah Doğan Sakarya Uni.

Genel Yayın Yönetmeni
General Publication Director


Naci Çağlar Sakarya Uni.

Editörler
Editors

Ahmet Çağatay Çilingir	Sakarya Uni.	Mehmet Nebioğlu	Sakarya Uni.
Alparslan Demir	Sakarya Uni.	Sadık Bağcı	Sakarya Uni.
Beytullah Eren	Sakarya Uni.	Serkan Zeren	Kocaeli Uni.
Cüneyt Bayılmış	Sakarya Uni.	Şevket Gür	Sakarya Uni.
Ertan Bol	Sakarya Uni.	Zafer Barlas	Sakarya Uni.
Kerem Küçük	Kocaeli Uni.		

Bölüm Editörleri
Section Editors

Ahmet Aygün	Bursa Teknik Uni.	Maryna Van De Venter	Nelson Mandela M. Uni
Ali Çoruh	Sakarya Uni.	M. İskender Özsoy	Sakarya Uni.
Ali Pınar	Boğaziçi Uni.	Mehmet Ozen	Sakarya Uni.
Ali Sarıbiyık	Sakarya Uni.	Murat Tuna	Sakarya Uni.
Aliye Suna Erses Yay	Sakarya Uni.	Murat Utkucu	Sakarya Uni.
Arif Özkan	Düzce Uni.	Mustafa Alkan	Akdeniz Uni.
Barış Boru	Sakarya Uni.	Mustafa Bozkurt	Sakarya Uni.
Bengü Bayram	Balıkesir Uni.	Mustafa Kurt	Ahi Evran Uni.
Çidem Gündüz	Kocaeli Uni.	Nazan Deniz Yön	Sakarya Uni.
Devrim Akgün	Sakarya Uni.	Nesrin Güler	Sakarya Uni.
Dilek Angın	Sakarya Uni.	Nevra Akbilek	Sakarya Uni.
Emre Tabar	Sakarya Uni.	Nilgün Balkaya	İstanbul Uni.
Faruk Yalçın	Sakarya Uni.	Osman Kırtel	Sakarya Uni.
Fatih Çalışkan	Sakarya Uni.	Özer Uygun	Sakarya Uni.
Halil Yiğit	Kocaeli Uni.	Özgül Keleş	İstanbul Teknik Uni
Hüseyin Aksoy	Sakarya Uni.	Peter Claisse	Coventry Uni.
Hüseyin Pehlivan	Sakarya Uni.	Ramazan Meral	Bingöl Uni.
İdris Cesur	Sakarya Uni.	Sema Salur	Rochester Uni.
İhsan Pehlivan	Sakarya Uni.	Sezgin Kaçar	Sakarya Uni.
İlkay Şişman	Sakarya Uni.	Tahsin Turgay	Sakarya Uni.
İnan Keskin	Karabük Uni.	Tijen Talas Oğraş	TÜBİTAK
Jamal Khatib	Wolverhampton Uni.	Vezir Ayhan	Sakarya Uni.
Mahmut Özacar	Sakarya Uni.	Yılmaz Uyaroğlu	Sakarya Uni.

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Gelis/Received</u> 08-09-2017 <u>Kabul/Accepted</u> 19-06-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.337262	

Çevrimiçi çalışabilen çoklu ortama uygun hasta izleme sistemi

Murat Demirtaş¹, Gökalp Tulum², Mehmet Sağbaşı^{3*}, Umut Engin Ayten⁴

ÖZ

Bu çalışmada, biyomedikal sensörlerden (EKG, nabız, sıcaklık, hareket vb.) alınan verilerin anlık bir şekilde kaydedilmesini sağlayan hasta takip sistemi geliştirilmiştir. Sistem, biyomedikal sensörler ile birlikte Atmega mikro denetleyici ve IEEE 802.11 Wi-Fi modül yapılarından oluşmaktadır. Biyomedikal sensörlerden alınan sinyaller, sayısal verilere dönüştürülerek Wi-Fi modül ile sunucuya aktarılmaktadır. Bu sayede biyomedikal veriler, mobil ve masaüstü cihazlarda çalışan sisteme bağlanan sağlık personeline ulaştırılmaktadır. Ayrıca bu sistem acil durumlarda gömülü sistem ve sunucu yazılımı ile ilgili birimleri uyarmaktadır. Giyilebilir olarak tasarlanan bu sistem ile hastaların günlük aktivitelerini engellemeden günün her saati uzaktan takip edilmeleri amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hasta izleme sistemleri, Uzaktan hasta izleme, Kalp krizi, Kalp ritim bozukluğu, ESP8266, Kablosuz haberleşme, Android.

Multi platform online patient monitoring system

ABSTRACT

In this study, patient monitoring system which enables instant recording the data from biomedical sensor (ECG, heart rate, temperature, movement, etc.) is developed. The main structures of the proposed system consist of biomedical sensors, ATmega microcontroller and IEEE 802.11 Wi-Fi module. The signals, obtained from the biomedical sensors, converted to digital data and transferred to the server by the Wi-Fi module. In this way, the biomedical data's are delivered to the medical staffs that are connected to the system with mobile and desktop devices. Moreover, in case of emergency the system could alert the relevant departments with embedded systems and server software.

Keywords: Health monitoring systems, Remote patient monitoring, Heart attack, Heart rhythm disorder, ESP8266, Wireless communications, Android.

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Murat Demirtaş Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Zeytinburnu, İstanbul 34010, Türkiye

² Gökalp Tulum, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Arel Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

³ Mehmet Sağbaşı, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yeni Yüzyıl Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

⁴ Umut Engin Ayten, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

1. GİRİŞ

Günümüzde milyonlarca kişi başta yüksek tansiyon olmak üzere kalp-damar hastalıkları, şeker hastalığı ve çeşitli kronik hastalıklarla yaşamaktadır. Bu sayı artan dünya nüfusuna doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu sebeple hastaların düzenli kontrolü ve takibi zorlaşmaktadır. Erken teşhis gerektiren birçok sağlık problemi, sağlık personeli tarafından tam olarak izlenemediği için hastaya geç müdahale edilmesi gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle ritim bozukluğu veya Obstrüktif Uyku Apne Sendromu rahatsızlığı bulunan hastalar için erken teşhis inanılmaz derecede önem taşımaktadır [1,2]. Çünkü bu hastalıklara sahip kişilerde ölüm riski yüksektir. Buna benzer kronik hastalıkları, hastalık ilerlemeden önce tespit etmek ve hastayı sürekli kontrol altında tutabilmek için dünya çapında mobil kablosuz hasta izleme sistemleri önem kazandırmıştır.

Bu gibi izleme sistemlerinde temel amaç, gerek hastanede gerekse hastane dışında kalan hastalardan biyomedikal sensörler yardımıyla alınan verilerin kaydedilip istenildiği zaman sağlık personeli tarafından erişiminin sağlanmasıdır [3-5]. Bu sayede fiziksel rahatsızlıklara erken teşhis ve anında müdahale imkânı sağlanabilir.

Özkan ve Dağ'ın yaptığı çalışmada, hastalardan alınan (sıcaklık, tansiyon, nabız vb.) verilerin hekimlere mobil uygulamalar üzerinden eşzamanlı olarak belli zaman aralıklarında aktarılabilmesi için IEEE 802.15.4 Zigbee protokolü kullanmıştır [6]. R. Kurban, hastalara ait biyomedikal verileri tasarladıkları elektronik gömülü sistem kartı ile toplayarak, IEEE 802.15.1 Bluetooth teknolojisi ile kişisel sayısal asistan olarak adlandırılan PDA cihazlara göndermiştir [7]. Cambridge'deki MIT laboratuvarında gerçekleştirilen "LiveNet", mobil tabanlı olarak uzun dönem boyunca gerçek zamanlı veri işleme ve aktarma prensiplerine dayalı bir izleme sistemidir [8]. Bu sistemde kişilerin biyomedikal verileri, Linux tabanlı bir PDA üzerine aktarılarak elde edilmiştir. Shnyder ve arkadaşlarının geliştirdikleri "CodeBlue" sisteminde [9] hasta sensörlerini kendi geliştirmiş oldukları sensör kartı sayesinde analiz edip, PDA'lara kablosuz olarak Zigbee ve sunucu sistemi sayesinde ulaştırmayı başarmışlardır. Farmer ve arkadaşları tarafından geliştirilen sistemde [10] ise Motorola T720i telefonu ile Bluetooth ve GPRS kablosuz teknolojileri

kullanılarak tip 1 diabet hastalığı takibi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Tatar ve arkadaşlarının [11] tip 2 diyabet takibi için cep telefonu tabanlı geliştirdikleri sistemde ise haberleşme için kablosuz veri transferi protokolleri tercih edilmiştir. Bluetooth ve GPRS teknolojisinin kullanıldığı bir başka sistemde ise Leijdekkers ve Gay [12] elektrokardiyogram (ECG), tansiyon ve aktivite değerlerini ölçerek kardiyovasküler hastalığa sahip kişiler için kalp krizi tespiti gerçekleştirmişlerdir. Kronik hastalıklara sahip yaşlı kişilerin kontrolü amacıyla geliştirilen sistemde ise [13] ceket üzerine yerleştirilmiş sensörler yardımı ile solunum, vücut sıcaklığı, elektromiyografi (EMG) ve ECG ölçümleri alınarak iletken kablo Bluetooth ve GPRS teknolojisi ile son kullanıcıya iletilmektedir. Luprano tarafından "MERMOTH" adıyla tanıtilen sistemde ise [14] giysilerin üzerine yerleştirilmiş elektrotlar ve PDA yardımı ile kişilerin genel sağlık durumlarının izlenmesi sağlanmıştır. Tablo 1'de literatürde gerçekleştirilen çeşitli çalışmaların kısa özeti verilmektedir.

Yapılan çalışmanın literatürde belirtilen çalışmalara göre avantajı, hastalara giydirilebilen biyomedikal sensör verilerinin kayıpsız olarak hızlı aktarılması, platform farkı gözetmeden masaüstü ve mobil platformlarda çalışabilmesi ve bulut teknolojisine dayalı şifreli sunucu kullanımı vasıtasıyla verilerin dünyanın herhangi yerindeki hekime grafiksel ve aktüel değer olarak aktarılması olması olarak özetlenebilir.

Bu çalışmada, sağlık personelinin masaüstü veya mobil platformlardan sisteme bağlı olabileceği herhangi bir yerde hasta sensörlerinden anlık bilgi alabilmesi sağlanmaktadır. Bu sayede sağlık personeli, hastasını gözetim altında tutabilecek ve tedavisi için yapılması gerekenleri önceden belirleyebilecektir. Bununla birlikte bütün hastaların verileri dönemsel olarak şifreli bir biçimde kayıt altına alınıp daha sonra incelenebilmesi için depolanabilecektir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen çevrimiçi çoklu ortam hasta izleme sisteminin literatürde belirtilen çalışmalara göre avantajı, hastalara giydirilebilen biyomedikal sensör verilerinin kayıpsız olarak hızlı aktarılması, platform farkı gözetmeden masaüstü ve mobil platformlarda çalışabilmesi ve bulut teknolojisine dayalı şifreli sunucu kullanımı vasıtasıyla verilerin dünyanın herhangi bir yerindeki ilgili hekime grafiksel ve aktüel değer olarak aktarılması olarak özetlenebilir.

Tablo 1. Literatür özeti

Referans	Donanım bilgisi	Haberleşme	Sinyaller*	Biyomedikal uygulamaları
Özkan ve Dağ[6]		Zigbee	T, BP, HR	
Kurban [7]	PDA, mikrodenetleyici kartı	Bluetooth		
Sung, Marci, ve Pentland [8]	PDA, mikrodenetleyici kartı	2.4GHz RF, GPRS	ECG, BP, R, T, SpO2	Parkinson Sendromu ve epilepsi nöbetlerinin tespiti ve modellenmesi
Shnayder ve ark.[9]	Özel işleme kartları ve sensorlar, PDA	Zigbee	ECG, SpO2, A	Gerçek zamanlı fizyolojik durumun giyilebilir sensörler ile izleme işlemi
D) Farmer ve ark. [10]	Akıllı telefon tabanlı	Bluetooth ve GPRS	ECG	Tip 1 diyabet için teletıp sistemi
Tatara ve ark. [11]	Akıllı telefon tabanlı	Kablosuz veri iletimi		Tip 2 diyabet takibi
Leijdekkers ve Gay [12]	Akıllı telefonu, Biyomedikal sensörler	Bluetooth ve GPRS	ECG, BP, A	Kardiyovasküler hastalar için kalp krizi testi
Lymperis ve ark [13]	Elektronik sensör eklenmiş ceket	Bluetooth ve GPRS	T, ECG, EMG,A,R	Yaşlı, kronik rahatsızlığa sahip veya rehabilitasyon hastalarının takibi
Luprano[14]	Elektrot eklenmiş giysiler ve PDA	RF hatları, iletken kablolar	ECG, R,T,A	Genel sağlık durumu izleme
Önerilen çalışma	Sensor kartları, Mobil ve masaüstü cihazlar	WLAN	ECG, SpO2, T	Gerçek zamanlı hasta takibi işlemi

*ECG: elektrokardiyogram, BP: tansiyon, R: solunum, A: aktivite, T: sıcaklık, SpO2: pulse oksimetre, EMG:elektromiyografi, HR: Kalp hızı veya Nabız

Bu makalede, ikinci bölümde gerçekleştirilen kablosuz hasta izleme sistemi tanıtılacaktır. Bu bölümde gerçekleştirilen sistemin birimleri olan gömülü sistem, sunucu ve istemci birimleri sırasıyla ayrıntılı olarak verilecektir. Üçüncü bölümde de çalışma ile elde edilen sonuçlar verilecektir.

2. KABLOSUZ HASTA İZLEME SİSTEMİ

Kablosuz hasta izleme sistemi 3 ayrı birimden oluşmaktadır. Bunlar sırası ile biyomedikal sensörlerin bağlı olduğu gömülü sistem birimi, sunucu birimi ve istemci birimidir.

Çalışmada tasarlanan gömülü sistem biriminin çalışma mantığı, biyomedikal sensörlerden elde edilen sinyallerin okunarak istenilen süre aralığına göre sunucuya gönderilmesi ve hasta için belirlenen alt ve üst limitler aşıldığında ilgili birimi uyarabilmesidir. Bu çalışmada gömülü sistem, her 1 saniyede bir hasta verilerini (ECG, SpO2, Nabız, Hareket vb.) ve hastanın odasına yerleştirilen sensör verilerini (oksijen, nem, sıcaklık vb.) sunucuya göndermektedir. Sunucuda veriler, veri tabanı aracılığı ile hastaya ait tablolara kaydedilmektedir. Çalışmada veri aktarım süresi 200 msn'ye kadar düşürülebilmektedir.

Hastaya ait bütün verilerin kaydedildiği sunucu birimi PostgreSQL veri tabanı kullanılarak hazırlanmış bir sunucu hizmetidir [15]. Bu veri tabanı sayesinde gömülü sistem tarafından gönderilen veriler, binlerce hastaya aynı anda hizmet verecek şekilde ve TCP/IP tabanlı uçtan uca şifreleme ile korunan sunucuda depolanabilmektedir. Sunucuda depolanan verilerin işlenebilir olması sayesinde hasta için alt ve üst sınırların oluşturulması ve kontrol edilebilmesi mümkündür. PostgreSQL hizmetinin tercih edilmesinin nedeni network tabanlı olması ve diğer rakiplerine göre daha hızlı çalışmasıdır.

İstemci birimi olan monitör uygulamaları, biyomedikal sahada kullanılan hasta başı monitörü ara yüzüne benzer şekilde tasarlanmıştır. Bu ekranda hastanın verileri, kimliği ve hangi şikâyeti olduğu ekranda görülebilmektedir. Bununla birlikte hastanın sisteme giriş yaptıktan sonra kaydedilen sensör verileri, hasta notları ve tıbbi görüntüleri bu monitör uygulamasında görülebilmektedir. Tüm bu veriler monitör uygulamasına veri tabanı üzerinden yüklenebilmektedir.

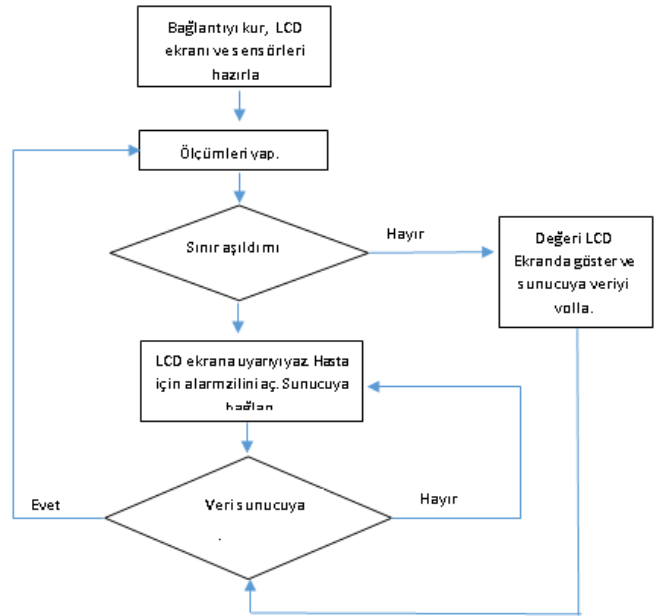
2.1. Gömülü Sistem Birimi

Kablosuz hasta izleme sisteminde bulunan gömülü sistemin çalışma algoritması akış diyagramı biçiminde Şekil 1'de verilmiştir. Gerçekleştirilen gömülü sistemin şematik diyagramı Şekil 2'de verilmiştir.

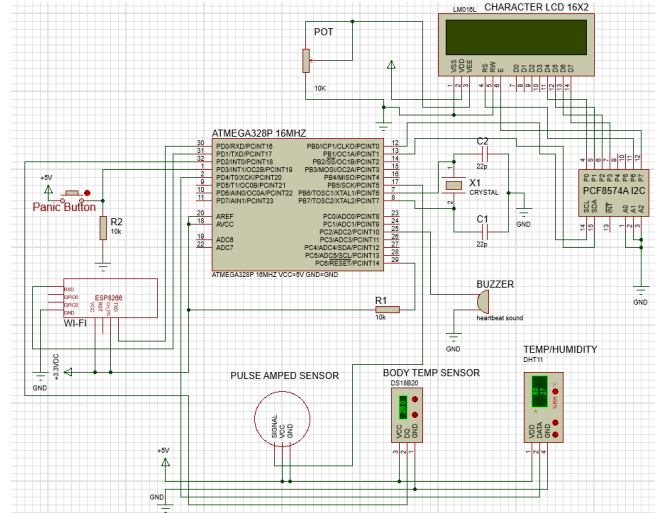
Hasta üzerinde bulunan sensörlerden verilerin okunması ve işlenmesi için ATmega328 mikro denetleyicisi gömülü sistemin merkezi işlem birimi olarak seçilmiştir [16]. Çalışmada, ATmega328 zaman kesmeleri kullanılarak 500 Hz'de yapay EKG sinyalleri oluşturulmuş ve hastaya pulse oksimetre sensörü de takılmıştır. Hastaların vücut sıcaklık değerlerini ölçmek için DS18B20 sıcaklık sensörü [17] ve hastanın bulunduğu ortam hakkında bilgi almak için ortam sensörleri kullanılmıştır [18].

Gömülü sistemde sunucuya veri yollama görevi için, ESP8266 modülü seçilmiştir [19]. Modül, IEEE 802.11 protokolü 2.4Ghz Wi-Fi standardında çalışmaktadır. ESP8266, Evrensel Asenkron Alıcı ve Verici (UART) haberleşme tekniği üzerinden gönderilen ATention (AT) komutları veya kendi içindeki mikro denetleyici programlanarak kullanılabilir [20]. Çalışmada ESP8266 modülü kablosuz ağa bağlı olacak şekilde kullanılmıştır. ESP modül hastane sunucusundan aldığı hasta bilgilerini ve sınır değerlerini, kendi EEPROM hafızasına kaydetmektedir. Bu sayede hasta için gerekli olan sınır değerler aşıldığında sunucuya ve üzerindeki LCD yardımı ile sesli ikaz göndermektedir. ATmega328, sensör verilerini dizi halinde önbelleğe alarak veri gönderme zamanı geldiğinde veriyi UART üzerinden haberleştiği ESP8266 ile sunucuya göndermektedir. Ayrıca LCD ekran bağlantısı ile veriler ekranda da görülebilmektedir. Olumsuz bir durum oluştuğunda gerekli donanımlar ile hastayı ve çevresini uyarabilmektedir.

ESP8266 ile yapılan testlerde, Atmega328 mikrodenetleyicisi ile oluşturulan EKG işaretinin sayısal değerlerinin yerel ağ üzerindeki herhangi bir sunucuya TCP/IP protokolü kullanarak kayıpsız ve hızlı bir şekilde gönderildiği görülmüştür. Aynı şekilde bu veriyi, uzaktaki bir bilgisayara yine kayıpsız ve önemsenmeyecek kadar bir gecikme ile iletebildiği görülebilmektedir.



Şekil 1. Gömülü sistem blok diyagramı

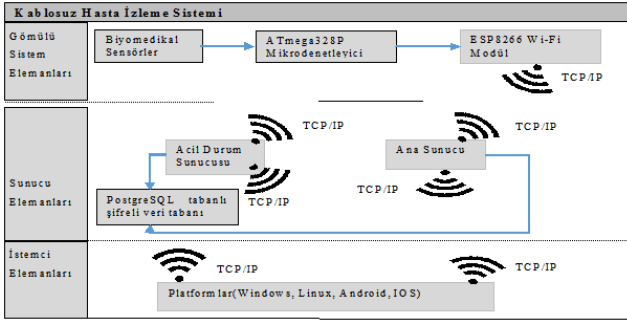


Şekil 2. Gömülü sistemin şematik diyagramı

2.2. Sunucu Birimi

Hasta izleme sisteminde ara katman görevini gören sunucu birimi, istemci uygulamalar ve hastaya bağlı gömülü sistem ile haberleşebilmektedir. Sisteme bağlı çevrimiçi hastalar, acil durumdaki hastalar ve sisteme önceden giriş yapmış tüm hastalar için gerekli veriler bu sunucuda depolanmaktadır. Aynı anda birden çok hastanın verisi çapraz uygulama havuzu yardımı ile hasta veri tabanlarına kaydedilebilmektedir.

Veri tabanı olarak uygulamada hızlı ve kararlı olmasından ötürü PostgreSQL tabanlı veri tabanı hizmeti kullanılmıştır. PostgreSQL veri tabanı ağ tabanlı bir sunucudur ve istemci uygulamaların bağlantı noktasıdır. İstemci uygulamalar hastalar için gerekli verileri veri tabanına kaydedilen tablolardan almaktadırlar.



Şekil 3. Hasta izleme sistemi blok diagramı

Tasarlanan sistemde biyomedikal sensörlerden alınan verileri Analog-Sayısal çevirici (ADC) birimi ile örneklemeye başlayan ATmega mikrodenetleyici, örneklemediği verileri hastane sunucusundan aldığı hasta bilgisine ve ESP modül Ortak Erişim Yönetimi (MAC) adresine göre bir dizi şeklinde paketlemektedir. Hastane sunucusu servisi ise her yeni İletim Kontrol Protokolü (TCP) ile sunucuya bağlanabilen, ESP modüle yeni bir uygulama açacak şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede farklı modüllerden gelen veriler birbirine karışmamaktadır.

ATmega mikrodenetleyicisindeki yazılım ile hazırlanan paket verisi UART üzerinden AT komutları ile ESP8266'ya yollanarak paketlerin sunucuya TCP ile gönderildiği kontrol edilmektedir. Biyomedikal sinyaller için belirlenen sınır değerler aşılsa veya veriler aktarılamaz ise gömülü sistem alarm moduna geçmektedir. Hazırlanan sunucu yazılımında ve istemci uygulamalarda bu durum görüntülü, sesli ve titreşimli olarak sağlık personeline iletilmektedir. Acil durumlarda istemci uygulamaları ESP8266'nın almış olduğu IP adresini veri tabanından belirleyerek, ESP8266 üzerinde kurulmuş olan TCP sunucusuna bağlanabilmektedir. Bu sayede istenen biyomedikal sinyaller istemci uygulamasında gerçek zamanlı olarak görüntülenebilir. Bu ağ trafiği Şekil 3'de verildiği gibidir.

2.3. İstemci Birimi

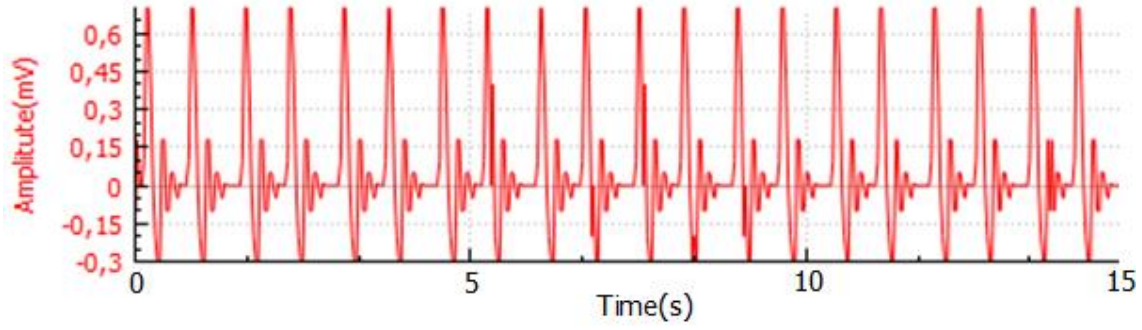
Bu çalışmada hekimin hasta verilerini görebilmesi için hem masaüstü hem de akıllı telefonlarda çalışabilen kullanıcı arayüzlü, basit ve anlaşılır uygulama tasarlanmıştır. Uygulamada hekim sisteme bağlı durumdaki veya önceden bağlı bulunan tüm hastalar ile ilgili bilgileri görebilmektedir. Uygulamada ayrıca başka

birimlerce hastanın veri tabanına yüklenen tahlil sonuçları da (röntgen, tomografi vb.) görüntülenebilmektedir. Tasarlanan sistemde ayrıca hekim hasta için yorum ve not bırakabilir ve bunu diğer hekimler ve sağlık çalışanlarının paylaşımına açabilmektedir. Tasarlanan sistemin temel özellikleri aşağıdaki gibi kısaca ifade edilebilir;

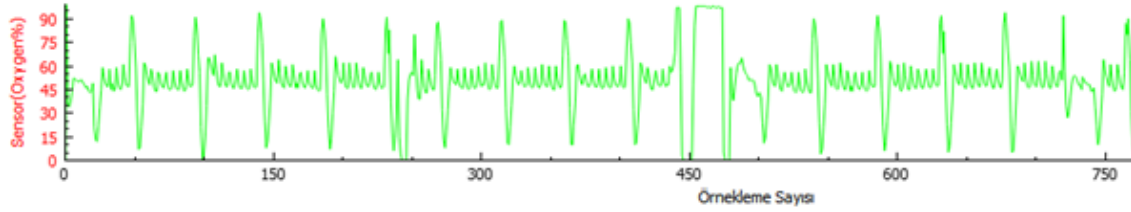
- Kullanıcı adı ve şifre yapılarak ilgili programa giriş yapılabilmesi,
- Sistemde aktif durumda olan hastalardan geçmiş dönem veya anlık verileri grafiksel olarak görüntüleyebilme ve bu sistemi daha önce kullanmış olan hastaların verilerini görüntüleyebilme,
- Hastanın odasında bulunan ESP8266 modüle, veri tabanından çekilen bu modülün IP adresi kullanılarak gerçekleştirilen TCP bağlantısı ile odadaki lamba, klima, sesli uyarıyı açabilme ya da kapatabilme, Hastanın odasına sağlık personeli çağırma butonları,
- Hasta üzerinden alınan verilerin grafikte daha iyi incelenebilmesi için grafik üzerinde yakınlaştırma ve ileriye dönük kaydırma gibi işlemlerin yapılabilmesi,
- Sisteme yüklenen hasta grafiklerini görebilme (EMG, röntgen vb.),
- Hastaya ait not yazma veya geçmiş notları görüntüleyebilme.

Şekil 4'de ve Şekil 5'de sırasıyla gömülü sistemden kablosuz olarak elde edilmiş EKG ve pulse oksimetre sensör sinyalleri gösterilmektedir.

Şekil 6'da masaüstü ve mobil platformlar için hazırlanmış uygulamaların görüntüleri verilmektedir. Bu uygulamalar desteklenen bütün platformlarda çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Mobil uygulamalar ise native tabanlı ve performans için C++ dili ile geliştirilmiştir. Algoritma, kullanılacak sistemin çözünürlük bilgilerine göre çözünürlüğü otomatik olarak ayarlayacak şekilde tasarlanmıştır. Geliştirilen uygulamaların hepsi Thread ve TCP/IP esaslıdır[21].



Şekil 4. EKG sinyallerinin kablosuz olarak aktarılması



Şekil 5. Pulse oksimetre sensörü ile elde edilen oksijen saturasyon grafiği



Şekil 6. Tasarlanan çevrimiçi çalışabilen çoklu ortama uygun hasta izleme sistemi

3. SONUÇ

Geliştirilen sistemde sağlık personeli, veri tabanı sayesinde hasta bilgilerini, teşhis ve tedavi notlarını, uygulanan ilaçların listesini, yüklenmiş verileri (kan tahlili, röntgen), geçmiş veya en son biyomedikal verileri grafiksel olarak görüntüleyebilmektedir. Acil durumlarda ise hastaya bağlı olan gömülü sisteme uçtan uca bağlantı kurularak ECG, pulse oksimetre, sıcaklık ve ortam sensör verileri gerçek zamanlı olarak incelenebilmektedir. Bu uygulama aracılığı ile hastanede olan, daha önce hastanede kaydı olan ve acildeki hastaların verileri kontrol edilebilmektedir. Ayrıca hastane departmanları arasında sesli iletişime olanak veren bir sesli

görüşme uygulaması da yine bu programlara entegre edilmiştir.


Yapılan bu çalışma hastaların yaşam kalitesini arttırmak, sürekli takip altında tutulmalarını ve sağlık personelinin erken tanı ve müdahale yapabilmesini sağlamak için tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Sistemde hastalardan elde edilen ölçüm sonuçları veri tabanında kalıcı olarak tutularak hastanın ilerleyen zamanlarda geçirebileceği rahatsızlıklar için erken önlem sistemi olarak kullanılabilir.

Tasarlanan sistemin ambulanslara uygulanması ile acil durumdaki hastanın verileri sunucuya gönderilerek acil serviste bulunan sağlık görevlilerinin hasta hakkında bilgi edinmesi sağlanabilecek ve hasta henüz acil servise

gelmeden gerekli hazırlıklar yapılmış olması sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] E. Akıncı ve F.Ö. Orhan, “Sirkadiyen Ritim Uyku Bozuklukları,” *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*, vol. 8, no.2, pp.178-189, 2016.
- [2] A. Yılmaz ve A. Çiledağ, “Obstrüktif Uyku Apne Sendromu Olgularımızda Sistemik Hastalık Birlikteliği,” *Journal of Turkish Sleep Medicine*, vol. 3, pp.35-38, 2015.
- [3] M.M. Baig ve H. Gholamhosseini, “Smart Health Monitoring Systems: An Overview of Design and Modeling,” *Journal of Medical Systems*, vol. 37, pp.1-14, 2013.
- [4] A. Pantelopoulos, N.G. Bourbakis, “Survey on Wearable Sensor-Based Systems for Health Monitoring and Prognosis,” *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews*, vol.40, no.1, pp.1-12, 2010.
- [5] M.M. Baig, H. GholamHosseini, M.J. Connolly, “Mobile Healthcare Applications: System Design Review, Critical Issues and Challenges,” *Australas. Phys. Eng. Sci Med*, vol.38, pp.23–38, 2015.
- [6] B. Özkan ve T. Dağ, “Kablosuz Hasta Takip,” *in Proc. ELECO 2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 2012, pp.690-693.
- [7] R. Kurban, “Kablosuz Taşınabilir Uzaktan Sağlık İzleme Sistemi: Mobil Sağlık Danışmanı,” M.S. thesis, Erciyes Üniversitesi, Erzurum, 2006.
- [8] M. Sung, C. Marci, A. Pentland, “Wearable feedback Systems for Rehabilitation,” *J. NeuroEng. Rehabil.*, pp.2:17, 2005.
- [9] V. Shnayder, B.R.Chen, K. Lorincz, T.R.F.Fulford-Jones, M. Welsh, “Sensor Networks for Medical Care,” *Harvard Computer Science Group*, UK, Tech. Rep. TR-08-05, 2005.
- [10] A. Farmer, O. Gibson, P. Hayton, K. Bryden, C. Dudley, A. Neil, L. Tarassenko, “A Real-time, Mobile Phone-Based Telemedicine System to Support Young Adults with Type 1 Diabetes,” *Inform. Prim. Care.*, vol. 13, no. 3, pp.171–178, 2005.
- [11] N. Tatara, E. Arsand, G. Hartvigsen, “Patient-user Involvement for Designing a Self-help Tool for Type 2 Diabetes,” *in Proc. Therapeutic Strategies A Challenge for User Involvement in Design*, 2010, pp.53–55.
- [12] P. Leijdekkers ve V. Gay, “A Self-test to Detect a Heart Attack Using a Mobile Phone and Wearable Sensors,” *In Proc. 21st IEEE CBMS Int. Symp.*, 2008, pp. 93–98.
- [13] A. Lymperis ve A. Dittmar, “Advanced Wearable Health Systems and Applications, Research and Development Efforts in the European Union,” *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.*, vol.26,no.3, pp. 29–33, 2007.
- [14] J. Luprano, “European Projects on Smart Fabrics, Interactive Textiles: Sharing Opportunities and Challenges,” *In Proc. Workshop Wearable Technol Intel Textiles*, Helsinki, Finland, 2006.
- [15] PostgreSQL veri tabanı hizmeti. (2016, Ağustos, 26). [Online]. Available: <https://www.postgresql.org/>
- [16] Atmega328 mikro denetleyicisi teknik özellikleri. (2016, Ağustos, 26). [Online]. Available: http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf
- [17] DS18B20 teknik özellikleri. (2016, Ağustos, 26). [Online]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [18] DHT11 teknik özellikleri. (2016, Ağustos, 26). [Online]. Available: <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>
- [19] ESP8266 teknik özellikleri. (2016, Ağustos, 26). [Online]. Available: https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2471/0A-ESP8266__Datasheet__EN_v4.3.pdf
- [20] ESP8266 AT komut listesi. (2016, Ağustos, 26). [Online]. Available: <http://www.pridopia.co.uk/pi-doc/ESP8266ATCommandsSet.pdf>
- [21] Full Multi-thread Client/Server Socket Class with ThreadPool. (2016, Ağustos, 26). [Online]. Available: <http://www.codeproject.com/Articles/33352/Full-Multi-thread-Client-Server-Socket-Class-with>

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Gelis/Received</u> 15-02-2017 <u>Kabul/Accepted</u> 25-07-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.292415	

Ayrık-zaman KKK, LQR ve PID kontrolör performanslarının alçaltıcı tip Da-Da dönüştürücü üzerinde kıyaslanması

Ömer Özdemir^{*1}, İrfan Yazıcı²

ÖZ

Bu çalışmada, sürekli-akım modunda çalıştırılan alçaltıcı tip Da-Da dönüştürücüler için ayrık-zamanda üç farklı kontrolör tasarlanmış ve benzetim çalışmaları ile performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla öncelikle alçaltıcı tip Da-Da dönüştürücünün matematiksel modeli elde edilmiş ve dönüştürücünün sürekli-akım modunda çalışabilmesi için kritik endüktans değeri belirlenmiştir. Daha sonra ayrık-zamanda üç ayrı kontrolör; kayan kipli kontrolör, doğrusal karesel regülatör ve oransal-integral-türev kontrolörleri tasarlanmış ve bu kontrolörlerin performansları yerleşme zamanı, aşım ve bozuculara karşı dayanıklılık kriterleri açısından benzetim çalışmaları ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alçaltıcı Tip Da-Da Dönüştürücü, KKK, LQR, PID

Comparison of discrete-time smc, LQR and PID controllers performance on DC-DC buck converter

ABSTRACT

In this study three different controllers for Dc-Dc buck converter being run in continuous-current mode are designed in discrete-time and their performances are analyzed comparatively by simulation works. For this purpose first of all, a mathematical model of a Dc-Dc buck converter circuit is obtained and critic values of inductance for the converter to be run in a continuous current mode are determined. Then in the discrete-time three types of controllers; sliding mode controller, linear quadratic controller and proportional integral derivative controller are designed. The performances of these controllers are analyzed comparatively for various working conditions, settling time, overflow and durability criterion against distortions.

Keywords: Dc-Dc buck converter, SMC, LQR, PID

¹ Sakarya University, Department of Electrical & Electronic Engineering, Sakarya - omerozf@gmail.com 1

² Sakarya University, Department of Electrical & Electronic Engineering, Sakarya - iyazici@sakarya.edu.tr 2

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

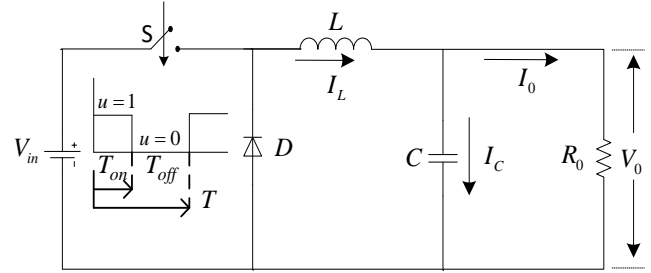
Sanayinin hızla gelişmesi ile birlikte kontrol edilebilir elektrik enerjisine olan gereksinim birçok cihaz için büyük önem taşımaktadır. Da-Da dönüştürücüler doğru akımla beslenen cihazlar için gerekli olan doğru akımı sağlayan ve anahtarlama mantığı ile çalışan güç elektroniği devrelerindedir [1]. Bir Da-Da dönüştürücünün temel çalışma prensibi pasif bir filtrenin çıkış geriliminin bir kontrolör ile kontrol edilmesi esasına dayanır [2]. Yüksek güç yoğunlukları, hızlı cevap vermeleri, göreceli olarak ekonomik olmaları, çıkış gerilim değerinin geniş aralıkta ayarlanabilmesi, değişken giriş gerilimi ve yük değerlerinde çıkışın sabit kalabilmesi gibi özellikleri ile günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadırlar [2], [3].

Da-Da dönüştürücüler; regüle edilmiş güç kaynakları, akümülatör şarjı, galvano teknikte kaplama, doğru akım motor hız kontrol devreleri, kesintisiz güç kaynakları, rüzgâr ve güneş enerji santralleri gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [3].

Alçaltıcı tip Da-Da dönüştürücüler giriş gerilim seviyesini giriş gerilim seviyesine eşit veya daha küçük gerilim seviyesine dönüştüren elektronik ev aletleri, enerji santralleri, uzay endüstrisi gibi geniş kullanım alanına sahip olan güç elektroniği devrelerindedir [4],[5]. Bu çalışmada ilk olarak alçaltıcı tip Da-Da dönüştürücüler tanıtılarak sürekli-akım çalışma durumu için matematiksel modeli elde edilmiştir. Daha sonra alçaltıcı tip Da-Da dönüştürücüler için; Kayan Kipli Kontrolör (KKK), (Sliding Mode Controller, SMC), doğrusal karesel regülatör (Linear Quadratic Regulator, LQR) ve oransal-integral-türev (Proportional-Integral-Derivative, PID) yöntemleri kullanılarak ayırık-zamanda üç ayrı kontrolör tasarımı yapılmıştır. Bu kontrolörlerin performansları, çıkış geriliminin referans değere yerleşme zamanı, aşım, giriş gerilimi ve yükteki ani değişimler gibi bozuculara karşı dayanıklılık kriterleri açısından benzetim çalışmaları ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

1.1. Alçaltıcı Tip Da-Da Dönüştürücülerin Devre Analizi (DC-DC BUCK CONVERTERS ELECTRIC CIRCUIT ANALYSIS)

Basitleştirilmiş bir alçaltıcı tip Da-Da dönüştürücü yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi devrede biri kontrollü (S) diğeri ise kontrolsüz (D) olan iki adet güç anahtarlama elemanı bulunmaktadır. S anahtarı iletimdeyken diyot kesimde, S anahtarı kesimdeyken diyot iletimde olmaktadır [6],[7].

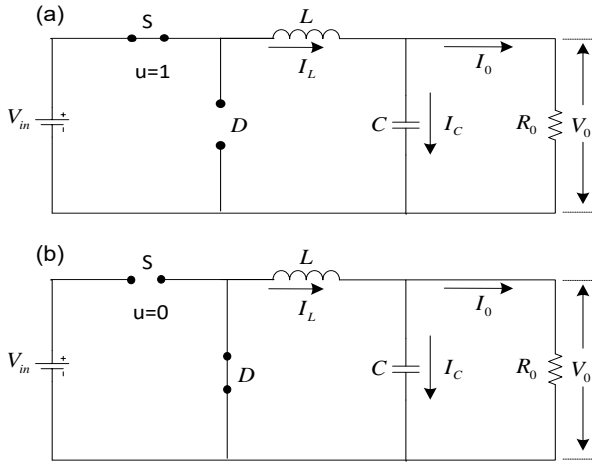


Şekil 1. Alçaltıcı Tip Da-Da Dönüştürücü Devre Şeması (DC-DC Buck Converter Circuit Diagram)

Endüktans akımının (I_L), sürekli veya süreksiz olması devredeki endüktans (L) değerine bağlıdır. Endüktans akımını sürekli yapacak olan kritik endüktans değeri (L_K) Eşitlik (1) ile ifade edildiği gibi, anahtarlama frekansına (f_s), PWM işaretinin doluluk oranına (d) ve yük değerine (R) bağlıdır. Sürekli-akım modunda çalışması istenen alçaltıcı tip Da-Da dönüştürücü için ($L > L_K$) şeklinde seçilmelidir [8],[9].

$$L_K = \frac{R(1-d)}{2f_s} \quad (1)$$

Sürekli-akım modunda devrenin çalışması iki moda gerçekleşir: i-) Şekil 2a' da gösterildiği gibi S anahtarı iletime sokulduğunda kaynak akımı endüktans üzerinden kondansatör ve yüke aktarılır. ii-) Şekil 2b' de gösterildiği gibi S anahtarı kesime sokulduğu anda ise endüktans kondansatör ve yük üzerinden enerjisini transfer edecektir. Böylece yük üzerinde enerji sürekliliği sağlanacaktır [10]. Endüktans akımının sürekli olabilmesi için yukarıda belirtildiği gibi $L > L_K$ şeklinde seçilmelidir.



Şekil 2. (a) S Anahtarı Kapalıyken, Dönüştürücü Devresi. (b) S Anahtarı Açıkken, Dönüştürücü Devresi. ((a) When The S Switch is Close, Converter Circuit (b) When S Switch is Open, Converter Circuit)

İdeal bir alçaltıcı Da-Da dönüştürücü için S anahtarının iletimde ve kesimde olduğu durumlara göre devre yapısı Şekil (2) de verilmiştir. Devrenin dinamik davranışını tanımlayan denklemler; S anahtarı iletimde, $u=1$ ken ($kT < t < kT + T_{on}$)

$k=0, 1, 2 \dots$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_{in} - V_o}{L} \quad (2)$$

$$\frac{dV_o}{dt} = \frac{i_L}{C} - \frac{V_o}{RC} \quad (3)$$

S anahtarı kesimde, $u=0$ ken

$(kT + T_{on} < t < (k+1)T)$ $k=0, 1, 2 \dots$

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{V_o}{L} \quad (4)$$

$$\frac{dV_o}{dt} = \frac{i_L}{C} - \frac{V_o}{RC} \quad (5)$$

İdeal bir alçaltıcı tip Da-Da dönüştürücü için sürekli-hal modunda çıkış gerilimi ile giriş gerilimi arasındaki ilişki;

$$V_o = dV_{in} \quad (6)$$

$$d = \frac{T_{on}}{T} = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \quad (7)$$

olarak tanımlanır [11],[12]. T_{on} PWM işaretinin “Lojik 1, On” süresini, T_{off} PWM işaretinin “Lojik 0, Off” süresini, T PWM işaretinin periyodunu, d doluluk oranını ifade etmektedir.

Alçaltıcı tip Da-Da dönüştürücü devresinin durum uzay gösterimi (2)-(5) Eşitliklerinden $u = [0,1]$ olmak üzere;

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_L \\ \dot{V}_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{CR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_L \\ V_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{V_{in}}{L} \\ 0 \end{bmatrix} u \quad y = [0 \quad 1] \begin{bmatrix} I_L \\ V_o \end{bmatrix} \quad (8)$$

ifadesi ile tanımlanabilir [7],[13].

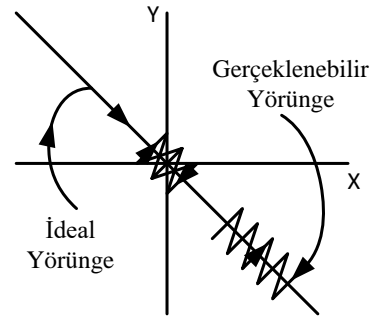
2. KONTROLÖR TASARIMI (CONTROLOR DESIGN)

2.1. KKK Kontrol Yöntemi (SMC Control Method)

Kayan Kipli Kontrol, sistem parametrelerinin değişimlerine ve bozululara olan duyarsızlığı ve uygulama kolaylığı gibi özellikleri ile son yıllarda üzerinde yoğun olarak çalışılan bir kontrol tekniğidir [14]. Genel olarak klasik bir KKK tasarımı iki aşamada gerçekleşir;

i-) Kararlı bir kayma yüzeyi "S" tanımlanması,

ii-) Sistemi herhangi bir başlangıç noktasından kayma yüzeyine getirecek ve kayma yüzeyi üzerinde kalmasını sağlayacak kontrol işaretinin belirlenmesi,



Şekil 3. Ayrık-Zaman KKK Sistemleri İçin Faz-Düzlem gösterimi. (Phase Plane For Discreet-Time SMC)

Ayrık-zaman KKK sistemlerinde, Şekil (3) ile gösterildiği gibi iki tip yörünge davranışı tanımlanabilir [15];

i-) İdeal yörünge

ii-) Gerçeklenebilir yörünge

Ayrık-zaman KKK sistemlerinde sistem durum yörüngesi sürekli-zaman KKK sistemlerinde olduğu gibi kayma yüzeyinde kalmaz. Şekil (3) 'de görüldüğü gibi kayma yüzeyi etrafında sınırlı bir band içerisinde “çatırdama” olarak adlandırılan zig-zaglı bir davranış gösterir. Bu sebeple ayrık-zaman KKK sistemleri “sözde-KKK” (Quasi-SMC) olarak adlandırılır. Bu durum ayrık-zaman KKK sistemlerinde kontrol işaretinin sadece örnekleme anlarında güncellenmesi, iki örnekleme arasında kontrol işaretinin sabit kalması ve anahtarlama frekansının sınırlı olması gibi etkenlerden kaynaklanmaktadır [15], [16].

Alçaltıcı tip Da-Da dönüştürücü için KKK kontrolör tasarımı aşağıda verilmiştir.

İlk olarak kontrol durum değişkenleri;

$$x_1 = V_o - V_{ref} \quad (9)$$

$$x_2 = \dot{x}_1 \quad (10)$$

olarak tanımlanır ve (8) – (10) nolu eşitliklerden; kontrol durum değişkenleri için durum uzay gösterimi;

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{1}{LC} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{V_{in}}{L} \end{bmatrix} [u] + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{V_{ref}}{LC} \end{bmatrix} \quad (11)$$

ifadesi ile verilebilir. Tablo (1) ile verilen sistem parametre değerleri ve ayrık-zaman kontrol durum-uzay modeli $T_s=1/f_s$ örnekleme periyodu için;

$$x(k+1) = Gx(k) + Hu(k) + d_k \quad (12)$$

$$G = \begin{bmatrix} 0.977 & 0.0001 \\ -451.88 & 0.9025 \end{bmatrix}, H = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 9.0375 \end{bmatrix}, d_k = \begin{bmatrix} 0 \\ -451.9 \end{bmatrix} \quad (13)$$

olarak elde edilmiştir.

$$s(k) = C_g x(k) \quad (14)$$

şeklinde lineer bir kayma yüzeyi seçilmiş olsun.

Gao erişim kuralı [17],

$$s(k+1) = (1-qT_s)(s(k)) - \varepsilon T_s \operatorname{sgn}(s(k))$$

$$q > 0, \quad 1-qT_s > 0, \quad \varepsilon > 0 \quad (15)$$

olmak üzere Gao erişim kuralı için kontrol işareti aşağıdaki gibi elde edilir.

$$u(k) = (C_g H)^{-1} [-C_g Gx(k) - C_g d_k + (1-qT_s)(s(k)) - \varepsilon T_s \operatorname{sgn}(s(k))] \quad (16)$$

Kararlı bir sistemde zig-zagların büyüklüğü ve sistem faz-yörüngesi Eşitlik (17) ile belirtildiği gibi bir bant içerisinde kalmalıdır [18].

$$2\Delta = 2 \frac{\varepsilon T_s}{1-qT_s} \quad (17)$$

Eşitlik (17) ile verilen ifadedeki $\Delta=0$ durumunda ideal kayma gerçekleşir.

Benzetim çalışmalarında (17) ile verilen kontrol işareti için $C_g = [4 \ 10^{-6}]$, $q=15000$ ve $\varepsilon=200$ olarak seçilmiştir.

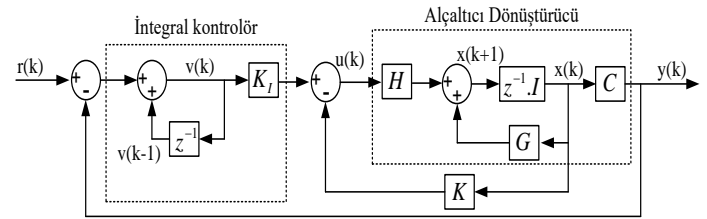
Tablo 1. Alçaltıcı Tip Da-Da Dönüştürücü Devresinin Dizayn Değerleri (Design Values Of The Dc-Dc Buck Converter)

Parametre	Değer
İndüktans	L = 0.66 mH
Kapasitans	C = 0.32 mF
Empedans	R = 10 Ω
Giriş Gerilimi	$V_{in} = 20$ V
Anahtarlama Frekansı	$f_s = 10$ kHz

2.2. LQR Kontrol Yöntemi (LQR Control Method)

Doğrusal Karesel Regülatör (Linear Quadratic Regulator, LQR), durum geri besleme yöntemi yoluyla denetim sağlayan optimal kontrol tekniklerinden biridir. LQR de amaç sistem için belirlenen bir performans indeksini minimum (veya maksimum) yapacak durum geribesleme katsayılarının belirlenmesidir [19]. Seçilen bir performans indeksini minimum (veya maksimum) yapacak şekilde kontrolör tasarımı “optimal kontrol” olarak adlandırılır [20].

Tipik bir regülatör probleminde amaç sistemin sabit bir referans (r_0) değerinde tutulmasıdır. Bozucu vb. etkenlerden dolayı sistemin (r_0) değerinden sapması durumunda regülatörün sistemi tekrar (r_0) değerine getirmesi beklenir. Sistemin zamanla değişen bir referans değeri ($r(t)$) takip etmesi gerektiğinde ise regülatör yapısı yeterli olmayacaktır. Servo sistem olarak da adlandırılan bu tür kontrol sistemleri için örnek ayrık zaman kontrol blok diyagramı aşağıda verilmiştir [21].



Şekil 4. Servo Sistem (Servo System)

Yukarıdaki şekilden;

$$v(k) = v(k-1) + r(k) - y(k) \quad (18)$$

$$v(k+1) = v(k) + r(k+1) - y(k+1) \quad (19)$$

$$v(k+1) = v(k) + r(k+1) - C(Gx(k) - Hu(k)) \quad (20)$$

ifadeleri yazılabilir. Arttırılmış durum uzay modeli $x(k+1)$ ve $v(k+1)$ ifadeleri kullanılarak;

$$\begin{bmatrix} x(k+1) \\ v(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G & 0 \\ -CG & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(k) \\ v(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} H \\ -CH \end{bmatrix} u(k) + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} r(k+1)$$

$$y[k] = [C \ 0] \begin{bmatrix} x[k] \\ v[k] \end{bmatrix} \quad (21)$$

Eşitlik 21'deki gibi yazılabilir ve $u(k) = -Kx(k)$ olan kontrol ifadesi ise entegre edilmiş sistem için $u(k) = -Kx(k) + K_I v(k)$ halini alır.

$$J = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{\infty} (x^T[k] Q x[k] + u^T[k] R u[k]) \quad (22)$$

LQR sistemindeki amaç Eşitlik (22) ile verilen performans fonksiyonunu minimum (veya

maksimum) yapacak olan kontrol katsayılarının elde edilmesidir. Performans fonksiyonundaki (x) ve (u) sırasıyla durum ve kontrol değişkenlerini (Q)ve (R) ise gerçek ve pozitif tanımlı ağırlık matrislerini belirtmektedir. LQR kontrolörü için (Q)ve (R)'nin seçimi regülasyonun hızlı ve kontrolör işaretinin büyüklüğü arasındaki tercihtir. Hızlı regüle edilmek istenen sistem için $Q > R$ olarak kontrolör girişindeki anahtarlama elemanının daha az sayıda kontrol işareti üretmesi için $Q < R$ olacak şekilde (Q) ve (R)seçimi yapılabilir [22]. Kapalı çevrim kontrol kuralları gereğince $[-K \ k_i]$ kazanç matrisi;

$$[-K \ k_i] = (R + \hat{H}^T P \hat{H})^{-1} \hat{H}^T P \hat{G} \quad (23)$$

Eşitliği kullanılarak elde edilir. Eşitlik (23) ile verilen kazanç matrisinde (\hat{G}) ve (\hat{H}) ifadeleri arttırılmış sistem durum uzayı modelindeki sistem matrislerini belirtmektedir. Kazanç matrisinin çözümü için (P) (pozitif tanımlı simetrik matris)'ye ihtiyaç duyulur. (P)'yi elde etmek için aşağıda verilen ayrık zaman ricatti denkleminde yararlanılır [23].

$$P = \hat{G}^T P \hat{G} - (\hat{G}^T P \hat{H})(R + \hat{H}^T P \hat{H})^{-1} (\hat{H}^T P \hat{G}) + Q \quad (24)$$

Sabit bir (P) değeri elde edilinceye kadar ricatti denkleminin koşuturulması sonucunda elde edilen (P) matrisi, Eşitlik (23) kullanılarak LQR kontrol katsayıları olan (K) ve (k_i) değerleri elde edilir [21].

(Q) ve (R) matrislerinin seçimi tecrubeye dayalı olduğu için çeşitli çalışma ve denemeler sonucunda bu çalışmada (Q) ve (R) matrislerinin değerleri;

$$Q = \begin{bmatrix} 10 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad R = [1] \quad (25)$$

olarak seçilmiş alçaltıcı tip Da-Da dönüştürücü için LQR kontrol katsayıları $K=[0.3374 \ 0.4440]$ ve $K_i=[0.0912]$ olarak hesaplanmıştır.

2.3. PID Kontrol Yöntemi (PID Control Method)

Klasik kontrol yöntemlerinden biri olan PID kontrolörü basit yapısı ve tasarım kolaylığından dolayı endüstride en fazla tercih edilen kontrolör yapılarından biridir. Üç-terimli kontrolör olarak da bilinen PID kontrolörü sistem çıkışı $c(t)$ ile referans değer $r(t)$ arasındaki hata işaretini $e(t)$ oransal (K_p), integral (K_i) ve türev (K_d)

işlemlerinden geçirerek eşitlik (26) ile verildiği gibi hatayı yok edecek kontrol işaretini üretir [24],[25].

$$G_{PID(t)} = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} + K_i \int e(t) dt \quad (26)$$

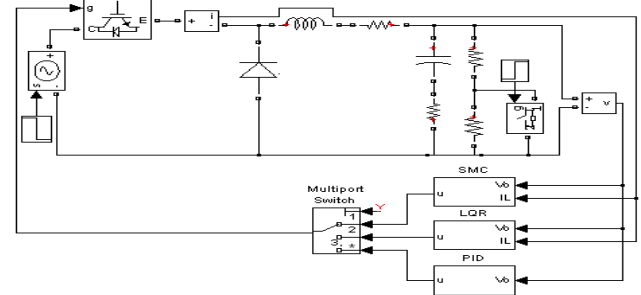
PID kontrolör için ayrık-zaman transfer fonksiyonu, eşitlik (27)'deki gibi tanımlanabilir [26]. Aşağıdaki eşitlikten de görüleceği üzere herhangi bir sistem için PID kontrolör tasarımı sistemin istenilen dinamik davranışı sağlaması için gerekli olan K_p , K_i ve K_d katsayılarının belirlenmesidir [27]. Literatürde PID katsayılarının tasarımına yönelik zaman domeninde ve frekans domeninde çeşitli yöntemler önerilmiştir [28], [29].

$$G_{PID(z)} = K_p + K_i \frac{z+1}{z-1} + K_d \frac{z-1}{z} \quad (27)$$

Bu çalışmada alçaltıcı tip Da-Da dönüştürücü için Matlab/sisotool kullanılarak PID katsayıları $K_p=0.108$, $K_i=171.205$ ve $K_d=0.000017$ olarak belirlenmiştir.

3. BENZETİM ÇALIŞMALARI (SIMULATIONS RESULT)

Benzetim çalışmaları için Şekil (5)'de gösterildiği gibi Matlab/Simulink ortamında alçaltıcı tip Da-Da dönüştürücü devresi ve KKK, LQR, PID kontrolörleri oluşturulmuştur. Benzetim çalışmaları Tablo (1) de verilen parametreler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



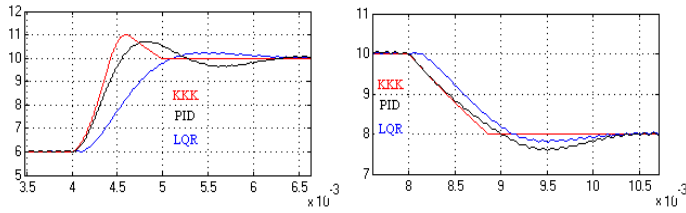
Şekil 5. KKK, LQR ve PID Kontrolörlü Alçaltıcı Tip Da-Da Dönüştürücü Simulink Modeli (Dc-Dc Buck Converter Simulink Model Controlled With SMC, LQR and PID)

İlk olarak kontrolörlerin basamak fonksiyonu şeklinde verilen referans girişi takip etme performansları incelenmiştir. Bu amaçla referans gerilimi $t=4ms$ anında $6V$ ' dan $10V$ 'a yükseltilmiş $t=8ms$ anında ise $10V$ dan $8V$ 'a düşürülerek kontrolör performansları kıyaslanmıştır. Şekil (6) ve Tablo (2)'den görüldüğü gibi yükselme şeklindeki ($6V \rightarrow 10V$) referans değişimlerinde yerleşme zamanı açısından KKK daha iyi performansa sahiptir aşım

kriteri açısından ise LQR daha iyi bir performans göstermiştir. Yine Şekil (6) ve Tablo (2)'den görüldüğü gibi alçalma şeklinde ki (10 V→ 8V) referans değışimlerinde yerleşme zamanı ve aşım kriteri açısından KKK daha iyi performansa sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 2. KKK, LQR ve PID Kontrolörleri İçin Alçaltıcı Tip Da-Da Dönüştürücü Devresine Ait Performans Karşılaştırmaları (Comparison Of The Performance Parameter of the Dc-Dc Buck Converter With SMC, LQR ve PID Controllers)

	6 V→10V			10V→8V		
	KKK	LQR	PID	KKK	LQR	PID
Yerleşme Zamanı (ms)	0,9	2,2	2,3	0,8	2,1	2,2
% Aşım	9,8	2,6	7,3	0.2	2.5	5

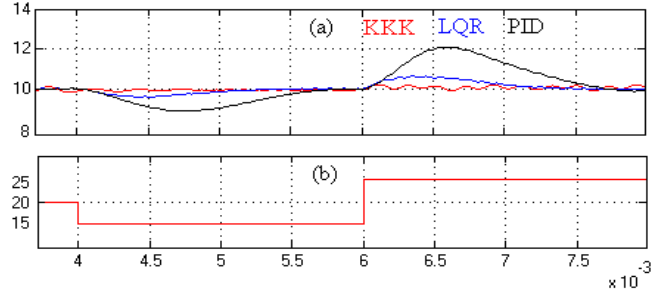


Şekil 6. Referans Gerilim Değişim Durumu için İncelenen Kontrolörlerin Cevap Eğrileri. (Response Curves of Controllers Examined for Reference Voltage Change Condition.)

İkinci olarak kontrolörlerin bozuculara karşı performansları incelenmiştir. Bu amaçla ilk olarak sabit yük ve sabit çıkış geriliminde çalışan alçaltıcı tip Da-Da dönüştürücünün giriş gerilimi (V_{in}) Şekil (8-b)' de görüleceği üzere, $t=4ms$ anında 20 V'tan 15 V'a düşürülmüş $t=6ms$ anında ise 15 V'tan 25 V'a yükseltilmiştir. Şekil (7)'de ve Tablo (3) 'te verilen sonuçlardan görüldüğü gibi giriş gerilim değışiminden en az KKK kontrolörlü sistem etkilenmiştir.

Tablo 3. Giriş geriliminin ani değışimleri için kontrolörlerin performans karşılaştırmaları (Performance Comparison of Controllers For Sudden Changes of Input Voltage)

	$V_{in}=20V \rightarrow 15V$ $\approx \Delta V$	$V_{in}=15V \rightarrow 25V$ $\approx \Delta V$
KKK	0.002	0.012
LQR	0.391	0.646
PID	1.102	2.997

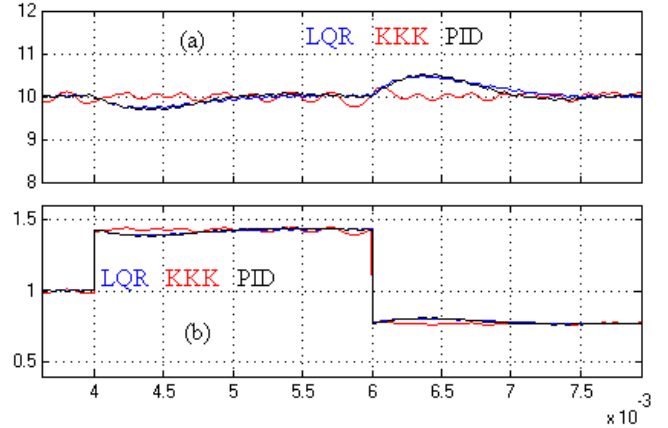


Şekil 7. Giriş Gerilim Değişimi için İncelenen Kontrolörlerin Cevap Eğrileri (a) KKK, LQR ve PID Kontrolörlü Devrenin Çıkış Gerilimi (b) Giriş Gerilimi (Response Curves of Controllers Examined for Input Voltage Change Condition.) (a) Output Voltage Controlled With SMC, LQR and PID of Circuit. (b) Input Voltage)

Kontrolörlerin yük değışimine karşı verdiği tepkiyi incelemek amacıyla alçaltıcı tip Da-Da dönüştürücünün yük değeri (R_0) $t=4ms$ anında 10 Ω 'dan 7 Ω 'a düşürülmüş $t=6ms$ anında ise 7 Ω 'dan 13 Ω 'a yükseltilmiştir. Şekil (8)'da ve Tablo (4)'te verilen sonuçlardan görüldüğü gibi yük değışiminden en az KKK kontrolörlü sistem etkilenmiştir.

Tablo 4. Ani yük değışimleri altında kontrolörlerin performans karşılaştırmaları (Performance Comparison of Controllers Under Sudden Load Changes)

	$V_{in}=20V \rightarrow 15V$ $\approx \Delta V$	$V_{in}=15V \rightarrow 25V$ $\approx \Delta V$
KKK	0.002	0.012
LQR	0.391	0.646
PID	1.102	2.997



Şekil 8. Yük Değişimine Karşı İncelenen Kontrolörlerin Cevap Eğrileri (a) KKK, LQR ve PID Kontrolörlü Devrenin Çıkış Gerilimi (b) KKK, LQR ve PID Kontrolörlü Devrenin Yük Akımı (Response Curves of Controllers Examined for Load Changing (a) Output Voltage Controlled With SMC, LQR and PID of Circuit. (b) Load Current Controlled With SMC, LQR and PID of Circuit.)

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)


Bu çalışmada sürekli-akım modunda çalışan alçaltıcı tip Da-Da dönüştürücü için ayrık-zamanda KKK, LQR, PID kontrolörleri tasarlanmış ve benzetim çalışmalarıyla

performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda KKK kontrolörünün referans gerilim takibi ve bozucu girişlere (giriş gerilimi ve yük değişimi gibi) karşı LQR ve PID kontrolörlerine göre daha iyi bir cevaba sahip olduğu gözlemlenmiştir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Jaber A. Abu-Qahouq, Yangyang Wen, Liangbin Yao, EhabShoubaki, IssaBatarseh and Geoff Potter, "Digital Controller for an Isolated Half-Bridge DC-DC Converter", IEEE Applied Power Electronics Conference 2005, Vol. 2, pp. 1217-1223.
- [2] Bodur, H. 2004. "Güç Elektroniği Endüstriyel Uygulamaları 1" Yıldız Teknik Üniversitesi Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [3] Erdoğan, E. 2010. Dijital Kontrollü Çok Fazlı Senkronize DC-DC Alçaltıcı Çevirici Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Eskisehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [4] Hua, G., Leu, C. S., Jiang, Y. ve Lee F. C. Y., "Novel Zero-Voltage-Transition PWM Converters", IEEE Trans. on Power Electron., Vol. 9, No. 2, pp. 213-219, 1994.
- [5] Calderon A.J., Vinagre, B.M., Feliu V., Fractional order control strategies for power electronic buck converters, Signal Processing, ELSEV_ER ,2803–28190165-1684 - , 2006.
- [6] Mohan N., Undeland T.M., Robbins W.P., "Power Electronics", John Wiley & Sons Ltd., England, 185-191 (2002).
- [7] D. Giaouris, S. Banerjee, B. Zahawi, and V. Pickert, "Stability analysis of the continuous-conduction-mode buck converter via filippov's method," IEEE Transactions on Circuits and Systems-I, vol. 55, pp. 1084–1096, May 2008.
- [8] J. Wang, A. Prodić, W. T. Ng, "Mixed-signal-controlled flyback-transformer-based buck converter with improved dynamic performance and transient energy recycling", IEEE Trans. Power Electron., vol. 28, no. 2, pp. 970-984, Feb. 2013.
- [9] E. Meyer, D. Wang, L. Jia, Y.-F. Liu, "Digital charge balance controller with an auxiliary circuit for superior unloading transient performance of buck converters", Proc. IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo., pp. 124-131, 2010.
- [10] Agrawal, J. P., 2001, Power Electronics Systems: Theory and Design, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- [11] Texas Instruments Incorporated "AN-1197 Selecting Inductors for Buck Converters" SNVA038B – May2001– Revised April 2013.
- [12] G. Liping, John Y. Hung, and R. M. Nelms, "Evaluation of DSP-Based PID and Fuzzy Controllers for DC–DC Converters", IEEE Trans. Industrial Electronics, vol. 56, no 6, June 2009, pp 182 – 190.
- [13] SattarJaber Al-Isawi and Ehsan A. Abd Al-Nabi, "Design of The Feedback Controller (PID Controller) for The Buck Boost Converter", Department of Electromechanical Engineering, The High Institute for Industry-Libya-Misrata.
- [14] Mehmet Buğrahan K, İlhami Y "Pratikte Kullanılan Bazı Kayan Kipli Kontrol Tekniklerinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi" 2015.
- [15] İrfan YAZICI "Model Referans Kayan Kipli Kontrolör Tabanlı Güç Sistem Kararlayıcı Tasarımı" 2008
- [16] MU, L., GAO, C., CHEN, W., Research for discrete variable structure control systems, IEEE Intern. Conf. on Control and Automation, pp. 2644-2647, 2007.
- [17] GAO, W., WANG, Y., HOMAIFA, A., Discrete time variable structure control systems, IEEE Trans. On Ind. Elect., 42, 2, pp. 117-122, 1995.
- [18] MONSEES, G., Discrete-Time Sliding Mode Control, Ph.D. dissertation, Delft University of Technology, pp.1130, 2002.
- [19] SamehBdran, MaShuyuan, SamoSaifullah and Dr. HuangJie, "Comparison of PID, Pole Placement And LQR Controllers For Speed Ratio Control Of Continuously Variable Transmission (CVT)", Mechatronic Center, Mechanical Engineering, Beijing Institute of Technology (BIT), Beijing, China.

- [20] CahitGezgin, Bonnie S. Heck, Richard M. Bass, “Control Structure Optimization of a Boost Converter: An LQR Approach”, IEEE PESC'97 Rec., pp. 901-907.
- [21] Katsuhiko Ogata “Discrete-Time Control System” 1994.
- [22] R. M. Murray “Control and Dynamical Systems”California Institute Of Technology.
- [23] Ogata K. "Modern Control Engineering. New Jersey: Prentice Hall" 2002.
- [24] Fraser, C. and Milne, J.1994. Electro-MechanicalEngineering: An Integrated Approach, IEEE Press, New Jersey.
- [25] SARIOGLU, K. M., "DijitalKontrolSistemleri" BirsenYayınevi, İstanbul, 1998.
- [26] Goodwin, G. C., Graebe, S. F. and Salgado, M.E. 2001. Control System Design, Prentice Hall Inc., New Jersey.
- [27] GunesMahit, “Fuzzy and three-step control of refiner system to get stable freeness for recycled paper” Scientific Research and Essays Vol. 6(1), pp. 110-117, 4 January, 2011.
- [28] Ö. Gündoğdu “Optimal-Tuning of PID Controller Gains Using Genetic Algorithms”Journal of Engineering Sciences 2005.
- [29] Cao G., Lou C., and D. An, “Application of fuzzy self-tuning PID control to air conditioning system”, Heat Ventilating and Air Conditioning, vol. 34, No.10, 106-109, October 2004.

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Gelis/Received</u> 21-02-2017 <u>Kabul/Accepted</u> 25-07-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.293282	

Manyetik askılama sistemi için 2 serbestlik dereceli PID kontrolcü tasarımı

Dinçer Maden^{*1}, İrfan Yazıcı²,

ÖZ

Bu çalışmada, açık çevrim, kararsız ve lineer olmayan ikinci dereceden bir yapıda olduğu için bir birçok kontrol problemine konu olan manyetik top askılama sistemine uygun 2 Serbestlik Dereceli PID kontrolcüsü tasarlanmış ve geleneksel PID kontrolcüsüyle kıyaslanmıştır. Sistem fiziksel parametreler baz alınarak modellenmiş ve uygun birer denge noktası civarında Tylor serisine açılarak lineerleştirilmiştir. PID kontrol parametreleri, ikinci dereceden sistemler için uygun bir yöntem olan kök yerleştirme metoduyla belirlenmiş ve aynı parametreler 2 serbestlik dereceli PID için de kullanılmıştır. Önerilen bu kontrol algoritması ileri yol kazanç parametrelerine sahip olduğu için geleneksel PID kontrolcüsüne göre geçici hal performansının daha da iyileştirilmesi mümkün olmaktadır. Geleneksel kontrolcüden kaynaklanan sisteme ait transfer fonksiyonundaki sıfırların sebep olduğu aşımaların önüne geçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Manyetik Askılama Sistemi, Bir Serbestlik Dereceli PID Kontrol, İki Serbestlik Dereceli PID Kontrol, Gürbüzlük

Designing of 2-DOF PID control algorithm for magnetic levitation systems

ABSTRACT

In this study, two degree of freedom (2-DOF) PID controllers are designed and compared to the conventional PID controller, which is compatible with the magnetic ball levitation system. This system is a subject of many control problems, because it has a open loop unstable and nonlinear second order structure. The system is modeled based on physical parameters and its linearized around the appropriate equilibrium point via Tylor series expansion. The PID control parameters are determined by the root placement method which is a suitable method for the second order systems and the same parameters are used for the 2-DOF PID. Since this proposed control algorithm has feedforward gain parameters, it is possible to improve the transient state performance according to the traditional PID controller. Due to the use of the conventional PID controller, there are some zeros in the transfer function of the system. It can be seen that proposed technique could prevent the overshoots caused by these zeros.

Keywords: Magnetic Levitation Systems, One Degree of Freedom (1-DOF) PID Control, Two Degree of Freedom (2-DOF) PID Control, Robustness

¹Duzce University, Department of Electrical&Electronics Engineering, 81620 Konuralp Campus, dincermaden@duzce.edu.tr

²Sakarya University, Department of Electrical&Electronics Engineering, 54050, iyazici@sakarya.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Manyetik askılama sistemleri temassız bir hareket kabiliyeti sağladıkları için genel mühendislik sorunlarından sürtünme, ısınma, gürültü, istenmeyen titreşimler gibi durumların ortadan kalkmasına olanak sağlarlar [1]. Bu sistemler söz konusu avantajlarından dolayı temassız raylı sistem taşımacılığında, yerçekimsiz ortamlar için tasarlanan uzay aracı simülatorlerinde, biyomekanik implant yerleştirmelerinde hatta uydu fırlatma rampalarında kullanılmaktadırlar [2]. Ancak manyetik top askılama sistemleri aşırı nonlineer ve kararsız bir yapı teşkil etmektedirler. Sistemdeki hassasiyet gereksinimi gürültüye dayanıklı, etkin ve pratik bir kontrolör tasarımına ihtiyacını oluşturmaktadır[3].

Manyetik askılama sistemlerinin kontrolü için literatürde çeşitli kontrol yöntemleri önerilmiştir. Shian Yi Fan ve arkadaşları gri modellenmiş integral değişken yapıları kontrol yöntemini askıdaki topun pozisyonunu dengelemek için önermiş ve klasik PID kontrol yapısıyla karşılaştırmışlardır [4]. Manyetik askılama sistemini temel alan temassız tren yapısının bir kılavuz hat boyunca dengede ilerlemesini amaçlayan gözlemleyici tabanlı bir kontrol mekanizması önerilmiş ve sistemin bozucu etkisine karşı cevabı incelenmiştir[5]. Bir diğer çalışmada ise manyetik askılama sisteminde evrimsel programlama tabanlı bulanık kayan kipli kontrolcü tasarımı yapılmış ve diğer kayan kipli kontrol yaklaşımlarıyla kıyaslanmıştır[6]. Non-lineer bir modelleme yapılarak kayan kipli kontrol kontrolcü ile kesir dereceli kayan kipli kontrolcü tasarlanmış ve yapılan mukayeseli çalışmada kesir dereceli yaklaşımın üstünlüğü vurgulanmıştır [7].

Bu çalışmada, kararsız ve non-lineer bir sistem için uygulama ve analiz kolaylığından dolayı kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılan PID kontrolcü tasarlanmıştır. Parametre tayini için birçok karmaşık yöntem mevcuttur. Detayları bölüm 3' te verilen ve pratik bir yöntem olan kök atama tekniği kullanılmıştır. Bu tek serbestlik dereceli PID yapısında sönüm oranı büyük olsa dahi sistem çıkışında istenmeyen aşımalar oluşabilmektedir. İleri yol kazanç katsayıları eklenerek elde edilen iki serbestlik dereceli PID kontrolcü ile sistemdeki bu aşımalar elimine edilebilmektedir [8]. Söz konusu katsayılar ayarlanarak referans noktası izleme performansının ve gürbüzlüğün nasıl değiştiği üzerinde durulmuştur. Söz konusu çalışmanın kat sayı etkilerinin anlaşılması ve ihtiyaca göre

ayarlanması için yöntem geliştirme çalışmalarında yardımcı olması düşünülmüştür.

Kontrolcünün sadece hata değeri üzerinden kontrol işaretinin belirlendiği kontrol yapısına tek serbestlik dereceli kontrolör denmektedir ve geleneksel PID kontrolcüsü bu şekilde düşünülebilir. Kontrolcü ile birlikte sistem girişine uygulanan referans sinyalinin ani değişimlerine en hızlı tepki verilmesini ve kabul edilebilir bir aralıkta aşım yapılmasını amaçlayarak Şekil 3' de görülen oran, integral ve türev katsayıları tespit edilebilir. Fakat bu kontrol yapısı ile bozucu etkiyi elimine etme ve gürbüzlük hususunda aynı başarı elde edilemeyebilir [9]. Gürbüzlük ve bozucu etkiye dayanım performansı için bulunan katsayılar ise referans takibi hususunda aynı başarıyı gösteremeyebilir. Her iki durum için ayrı ayrı performans iyileştirilmesi amaçlandığı zaman Şekil 4' de genel yapısı verilmiş olan İki serbestlik dereceli kontrolcünün kullanımı uygun olmaktadır [10]. Kontrol edilmesi amaçlanan sistemlerin kontrolör eklenerek kapalı çevrim ya da ileri yol transfer fonksiyonları elde edildiğinde kutupların yanı sıra sistem yapısına bağlı sıfırlar da oluşabilmektedir. Bu sıfırlar takip edilmesi amaçlanan referans sinyali uygulandığında sistem cevabı oldukça büyük değerlere ulaşabilir. Bu durumla geleneksel PID kontrolcüsünün uygulandığı yapılarda da karşılaşılmaktadır. Bu şekildeki geçici hal iyileştirilmesine ileri yol kazanç katsayılarının ayarlanması ile imkân sağladığı için iki serbestlik dereceli PID kontrolcüsü önerilmiştir. Bu çalışmada paralel ileri yol kazançlı iki serbestlik dereceli PID (2DOF) kontrolcüsü temel alınarak uygun kazanç katsayıları hesaplanmış ve manyetik askılama sistemindeki topun pozisyonunun kontrolü MATLAB/SIMULINK ortamında gözlemlenmiştir.

2. MANYETİK ASKILAMA SİSTEMİ (MAGENTIC LEVİTATION SYSTEM)

Manyetik askılama sisteminde amaç Şekil 1' de görüldüğü üzere m kütesine sahip çelik bir topun elektromanyetik sargının merkezinde yer alan ferromanyetik nüve ile arasındaki x mesafesinin sabit tutulmasıdır. Burada bahsedilen x mesafesi referans değerine göre konumlanmakta veya değişim göstermektedir. Topun konumu bir algılayıcı tarafından görülmekte ve Şekil 1. de de görüleceği üzere akım kaynağından verilen akım miktarı artırılıp azaltılarak elektromanyetik kuvvet

değiştirilmektedir. Dolayısıyla topa etkiyen kuvvet topun pozisyonunu tayin etmektedir. Bu çalışmada Feedback Instruments Limited şirketi tarafından üretilen manyetik askılama sistemi temel alınarak bir benzetim çalışması yapılmıştır. Sistemin fiziksel parametreleri Tablo 1’ de verilmektedir [11].

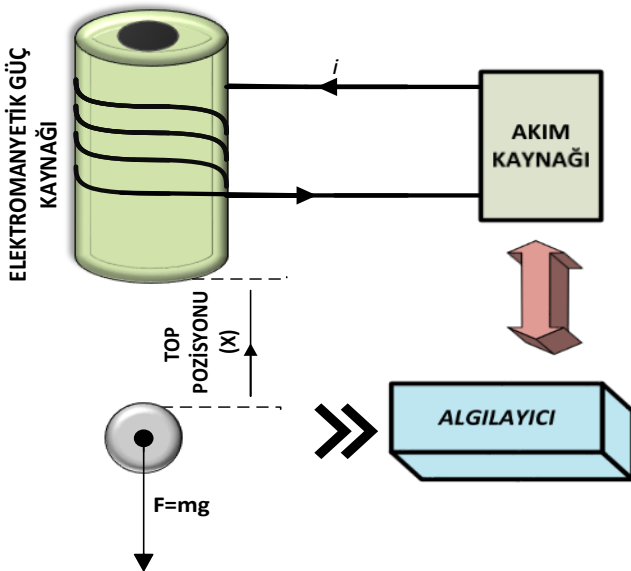
Tablo 1. Manyetik askılama sisteminin gerçekleştirilebilir parametreleri (Realizable parameters of magnetic levitation system)

Parametreler	Değerleri
m - Topun Kütlesi	20 gr
g - Yerçekimi İvmesi	9,81 m/s ²
i₀ - Sargı Akımının Çalışma Noktası Değeri	0,8 A
x₀ - Top Pozisyonunun Denge Noktası	9 mm
k₁ - Sargı Akımının Kontrol Kazanç Katsayısı	1.05 A/V
k₂ - Sensör Akım Kazanç Katsayısı	143,48 V/m

En genel haliyle elektromanyetik sargının içinde dolaşan akım i , ve topun pozisyonu x arasındaki lineer olmayan denklem bağıntısı aşağıdaki gibidir. Manyetik askılama sisteminin elektriksel eşdeğer yapısı Şekil 2’ de gösterildiği gibi bir direnç, bir endüktans ve bir gerilim kaynağından oluşan bir devre gibi sembolize edilebilir.

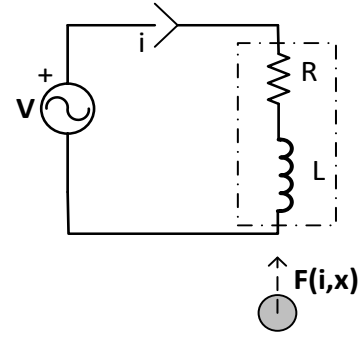
$$m\ddot{x} = mg - k \frac{i^2}{x^2} \quad (1)$$

Bu denklemde g yerçekimi ivmesi, k sargı parametrelerine kazanç katsayısını ifade eder.



Şekil 1. Manyetik askılama sistemi şeması (Scheme of magnetic levitation system)

Denklem 1’ den de görüleceği üzere sistemin yapısı non-lineerdir. Sisteme uygun bir kontrolcü tasarımı yapabilmemiz için denklem uygun bir çalışma noktası etrafında lineerleştirilmelidir.



Şekil 4. Manyetik askılama sisteminin elektriksel eşdeğer devresi (Equivalent circuit of magnetic levitation system)

Kirşof gerilim yasası gereği elektriksel eşdeğer devrenin kapalı çevre gerilim düşüm toplamalarının sıfır olmasını ifade eden denklem aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$V(t) = R \cdot I(t) + L \cdot \frac{di}{dt} \quad (2)$$

Çalışma noktası olarak x_0 ve i_0 ile temsil ettiğimiz noktaları ele alarak transfer fonksiyonu elde edilmek istenirse \ddot{x} eşitliği denklem 1’ den aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\ddot{x} = g - f(x,i), f(x,i) = k \frac{i^2}{mx^2} \quad (3)$$

Daha sonra $\ddot{x} = 0$ eşitliği de kullanılarak

$$g = f(x,i) \rightarrow i_0, x_0 \quad (4)$$

Denklem 4’ den i_0, x_0 değerleri elde edilebilir.

$$k = \frac{mgx_0^2}{i_0^2} \quad (5)$$

Denklem 5 ise k katsayısının bulunmasını sağlar. Taylor Serisine açılım yöntemini kullanarak lineerleştirme yapılmak istenirse serinin x_0 ve i_0 çalışma noktası civarındaki türevsel eşitliği aşağıdaki gibi elde edilir. Lineerleştirme amaçlandığında top pozisyonu için $x = x_0 + \Delta x$ ifadesi yazılabilir. Δx Çalışma noktası civarındaki çok küçük bir değişimi ifade eder. Elektromagnetin içinde dolaşan sargı akımı için ise $i = i_0 + \Delta i$ eşitliğiyle verilebilir. Burada da Δi çalışma noktası civarında çok küçük bir değişimi ifade eder. Bu kabuller kapsamında topun pozisyonu x ve sargı akımı i yi ifade eden dinamik denklemin son hali aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\ddot{x} = - \left(\frac{\partial f(i, x)}{\partial i} \right) \Big|_{i_0, x_0} \Delta i + \left(\frac{\partial f(i, x)}{\partial x} \right) \Big|_{i_0, x_0} \Delta x \quad (6)$$

Denklemin her iki tarafının laplace dönüşümü yapılırsa

$$s^2 \Delta x = -(K_i \Delta_i + K_x \Delta_x), \quad (7)$$

$$s^2 \Delta x + K_x \Delta_x = -K_i \Delta_i, \quad (8)$$

$$\Delta x(s^2 + K_x) = -K_i \Delta_i, \quad (9)$$

$$\frac{\Delta x}{\Delta_i} = \frac{-K_i}{s^2 + K_x}, \quad (10)$$

Şeklinde transfer fonksiyonu elde edilir.

Bu eşitlikte $K_i = 2mg / i_0$, $K_x = 2mg / x_0$ ile ifade edilmektedir. Transfer fonksiyonu eşitliğine akım kazanç katsayısı k_1 ve sensör kazanç katsayısı k_2 çarpan olarak eklendiğinde son ifade aşağıda belirtildiği gibi elde edilir.

$$T(s) = \frac{-K_i k_1 k_2}{s^2 + K_x} = \frac{b}{s^2 - p^2} = \frac{-3679}{s^2 - 2180} \quad (11)$$

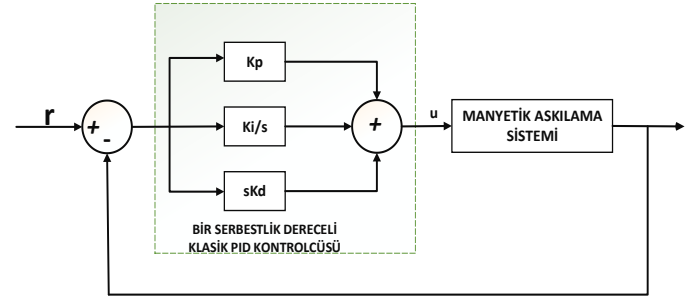
Açık çevrim transfer fonksiyonunun kökleri incelendiğinde $s_{1,2} = \pm 46,69$ değerlerindedir.

Sistemin sağ yarı s- düzleminde de kökünün olması sistemin kararsız olduğunu göstermektedir.

3. İKİ SERBESTLİK DERECELİ PID KONTROLÇÜSÜ (TWO DEGREE OF FREEDOM PID CONTROLLER)

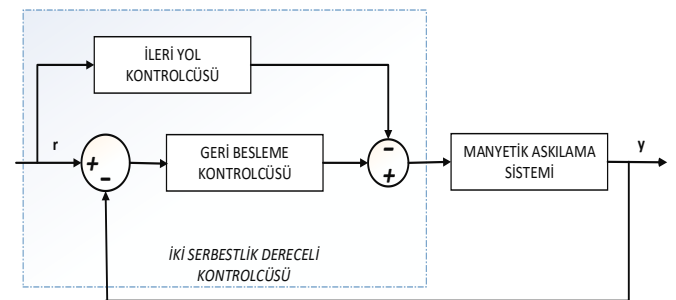
3.1. Genel Yapısı ve Avantajları (General Structure And Advantages)

Şekil 3. de genel yapısı verilmiş olan PID (Oransal- İntegral-Türevsel) kontrol yapısının öne sürülmesi ve geliştirilmesi 1940 yılına kadar dayanmaktadır. Literatürdeki bir çalışmaya göre endüstriyel proses kontrollerinde %90' dan fazla bir oranda PI/PID kontrol algoritması kullanılmaktadır [12]. Bu başarının sebeplerinden biri PID kontrolçüsünün bu üç parametresinin fiziksel anlamlarının oldukça net olması ve manuel olarak ayarlanabilecek kadar esnek bir yapıda olmasıdır.

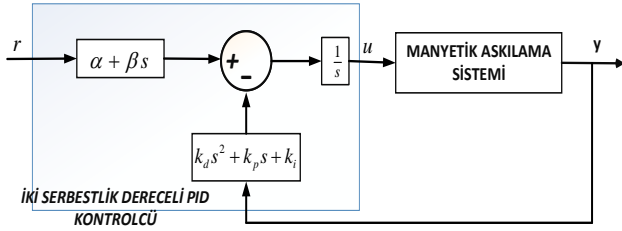


Şekil 3. Bir serbestlik dereceli PID kontrol şeması (Scheme of 1-DOF PID Controller)

Kontrol sistemlerinin tasarımında çıkış performansı, gürültü duyarlılığı gibi birçok başarı kriteri söz konusudur. Giriş bölümünde bahsedildiği gibi referans değişimlerini iyi bir şekilde izlenmesi amaçlanırsa gürültü göz ardı edilerek servo kontrol olarak bilinen yapı ortaya çıkmaktadır. Eğer referans takibi göz ardı edilip gürültü dayanımı ya da bozucu etki dayanımı amaç edinilirse bu durumda da literatürde regülatör olarak adlandırılan kontrol yapısı ön plana çıkmaktadır. Her iki başarı kriteri arasında bir ödünleşmeye gidilmeksizin bir kontrol algoritması oluşturmak istenirse 2 serbestlik dereceli PID kontrolcü kullanılabilir. Ayrıca sistemin genel kapalı çevrim transfer fonksiyonu kaynaklı sıfırlarının sebep olduğu aşımalarında önlenmesi için de bu kontrol algoritmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Genel olarak 2 serbestlik dereceli kontrolcü şeması Şekil 4' de görüldüğü gibidir. Literatürde ISA-PID olarak da bilinen bu yapı bir geri besleme kontrolçüsü ile bir ileri yol kontrolçüsünün birleşimiyle elde edilmektedir [13]. PID katsayılarının ayarlanması ile Şekil 5' de görülen yapıda ileri yol kazanç katsayısı 1 olarak kabul edersek geleneksel bir serbestlik dereceli PID kontrolçüsü sisteme uygulanmış gibi olmaktadır. Buradan hareketle ileri yola $\alpha + \beta s$ ile sembolize ettiğimiz oran artı türevsel ifade yani bir PD kontrolçüsü eklenirse iki serbestlik dereceli yapıya geçiş yapılmış olur [14].



Şekil 4. İki serbestlik dereceli PID kontrolçüsünün genel yapısı (A general structure of 2-DOF controller)



Şekil 5. İki serbestlik dereceli PID kontrolcüsü (2-DOF PID controller)

İki serbestlik dereceli PID kontrol kullanılarak küçük sinyal giriş çıkışlı transfer fonksiyonu

$$\frac{\Delta x_v}{\Delta r} = \frac{(\alpha + \beta s)b}{\delta(s)} \quad (12)$$

elde edilir.

Küçük sinyal girişinden kontrolcü çıkışına doğru açık çevrim transfer fonksiyonu ise aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\Delta u}{\Delta r} = \frac{(s^2 - p^2)(\alpha + \beta s)}{\delta(s)} \quad (13)$$

Burada $\delta(s)$ kapalı çevrim transfer fonksiyonunun paydası Denklem 14 ile ifade edilmektedir.

$$\delta(s) = s^3 + k_d b s^2 + (b k_p - p^2) s + b k_i \quad (14)$$

Bir serbestlik dereceli kontrolcü PID yapısı Şekil 3'de gösterilmektedir. Bu yapının açık çevrim transfer fonksiyonları elde edilmek istenirse

$$\frac{\Delta x_v}{\Delta r} = \frac{b(k_d s^2 + k_p s + k_i)}{\delta(s)} \quad (15)$$

$$\frac{\Delta x_v}{\Delta r} = \frac{(s^2 - p^2)(k_d s^2 + k_p s + k_i)}{\delta(s)} \quad (16)$$

Denklem 15 ve 16 eşitlikleri elde edilir. Her iki kontrolcünün de aynı açık çevrim transfer fonksiyonunu sağladığı görülmektedir.

$$L(s) = \frac{b(k_d s^2 + k_p s + k_i)}{(s^2 - p^2)s} \quad (17)$$

Bu fonksiyonlardan da görüleceği üzere teorik olarak k_p, k_i, k_d değerlerinin seçilmesiyle birlikte bir serbestlik dereceli PID kontrolcüsüyle, İki serbestlik dereceli PID kontrolcüsünün bozucu etkiye dayanıklılığı aynıdır. Fakat uygun bir k_p, k_i, k_d değerleri seçilmediği durumlardaki bir

serbestlik yapıdaki $\frac{\Delta x_v}{\Delta r}$ ve $\frac{\Delta x_v}{\Delta r}$ transfer

fonksiyonlarındaki 2 adet sıfırdan kaynaklanan aşırı aşım ve zayıf tepki oluşmaktadır. Bu durumda iki serbestlik dereceli PID kontrol yapısında bu sıfırların gözükmediği Denklem 15 ve 16'dan görülmektedir. Ayrıca α, β ileri yol kazanç katsayılarıyla bu sisteme istediğimiz ölçüde sıfırlar ekleyerek daha iyi bir kontrolcü cevabı elde edilebilir [5].

3.2. 2-DOF PID Kontrolcüsünün Tasarımı (design of 2-DOF PID controller)

İlk önce klasik PID tasarımı gibi işleme başlamak için $\beta = 0$ seçilir. Buradaki β katsayısıyla kontrolcülü sistemin cevap hızına ekti edilebilir. Bu çalışmada manyetik askılama sistemimiz ikinci dereceden bir yapıda olduğu için kutup yerleştirme tekniği kullanılmaktadır. Bu sebeple tasarım için gerekli olan payda polinomunun genel hali aşağıdaki gibidir.

$$\delta(s) = (s + a)(s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2) \quad (18)$$

Burada ξ sönüm oranı, ω_n kapalı çevrimli sistemin doğal salınım frekansıdır. Burada üçüncü kökün değeri lineer sol yarı düzlemde olan $-a$ değeri $s = -\xi\omega_n$ kökünün oldukça solunda seçilmelidir ki bozucu etki ve gürültüye karşı dayanım sağlanabilinsin [15]. Bu sebepten dolayı bir tasarım kriteri olarak duyarlılık fonksiyonu

olan $S = \frac{1}{1+L(s)}$ ve tamamlayıcı duyarlılık

fonksiyonu olan $T = \frac{L(s)}{1+L(s)}$ frekans domenindeki

maksimum genlik değerlerinin 2 den küçük olması gerektiği göz önünde bulundurulmuştur[13].

$$\|S(w)\|_{\max} < 2 \text{ ve } \|T(w)\|_{\max} < 2 \quad (19)$$

Denklem 14 Denklem 18' e eşitlenmek suretiyle

$$k_d = \frac{2\xi\omega_n + a}{b} \quad (20)$$

$$k_p = \frac{\omega_n^2 + 2\xi\omega_n a + p^2}{b} \quad (21)$$

$$k_i = \frac{\omega_n^2 a}{b} \quad (22)$$

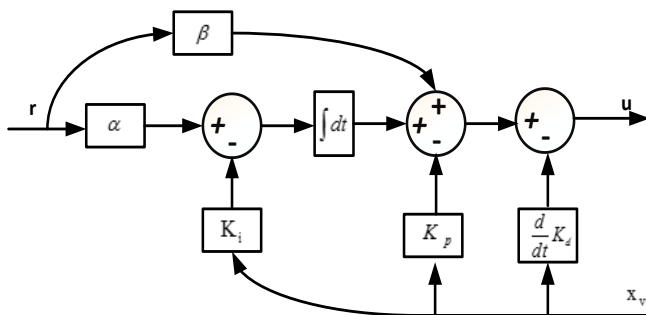
PID kazanç katsayıları elde edilir.

Kalıcı hal durumunda referans girişinin iyi bir şekilde izlenebilmesi için iki serbestlik dereceli yapıda $\frac{\Delta x_v}{\Delta x_r} = 1$ ve $s = 0$ dan $\beta = k_i$ bulunmuş olur.

Bu çalışmada $\xi = 0.75$ ve sistemin cevabının oturma zamanı $t_s = 1,8$ sn seçilmiştir. Daha sonra $t_s = 4 / \xi \omega_n$ formülünden $\omega_n = 3,1373$ bulunur. Duyarlılık ve tamamlayıcı duyarlılık fonksiyonunun genlik değerlerinin olması gereken aralığı ifade eden Denklem 19 gereğince de $a = -800\xi\omega_n$ olarak sol yarı s düzleminde oldukça solda seçilmiştir. Bu çalışmada yukarıda bahsedilen hesaplamalar yapıldığında $w_n = 2,963$, $a = -1777,8$, $K_d = -0,5065$, $K_p = -2,8674$, $K_i = -4,4354$ ve dolayısıyla $\alpha = -4,4354$ değerleri elde edilmiş olur.

4. BENZETİM ÇALIŞMASI (SIMULATION STUDY)

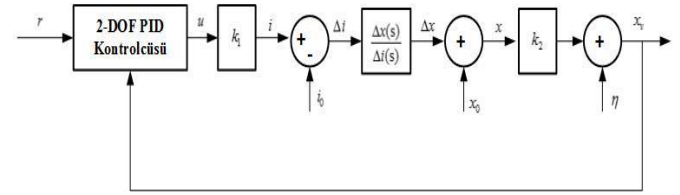
Bölüm 3' te anlatıldığı gibi iki serbestlik dereceli PID kontrolcüsü parametreleri hesaplanıp tasarlanarak Şekil 6' da zaman domeni simülasyon diyagramı oluşturulmuştur [16]. Daha sonra performans karşılaştırması yapılabilmesi için bir serbestlik dereceli PID kontrolcüsüyle de aynı parametreler kullanılmak suretiyle Şekil 3'teki yapı oluşturulmuştur.



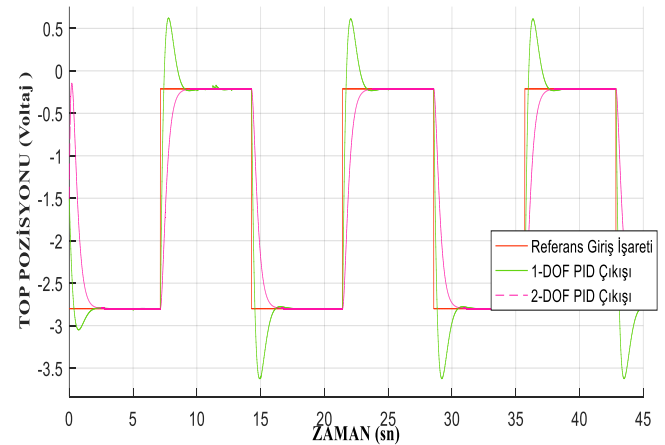
Şekil 6. 2-DOF PID kontrolcüsünün simülasyon diyagramı (Simulation diagram of 2-DOF PID controller)

Manyetik askılama sisteminin Matlab/SIMULINK ortamında simülasyonunun yapılabilmesi için sensör kazanç katsayısı k_1 ve elektromanyetik güç

kaynağının sargılarında dolaşan akım ile voltaj arasındaki bağıntıyı veren k_2 katsayısının da bulunduğu i_0 , x_0 denge noktalarının eklendiği simülasyon diyagramı Şekil 7'de gösterildiği gibi oluşturulmuştur [17]. Şekil 6'da verilen 2-DOF PID yapısıyla geribesleme alınarak simülasyon, topun pozisyonunu voltaj cinsinden verecek biçimde kurgulanmıştır. Başlangıçta topun bir kare dalga şeklinde bir referans girişini takip etmesi istenmiş ve β katsayısı için bir değer atanmamıştır. Simülasyon grafiği Şekil 8'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

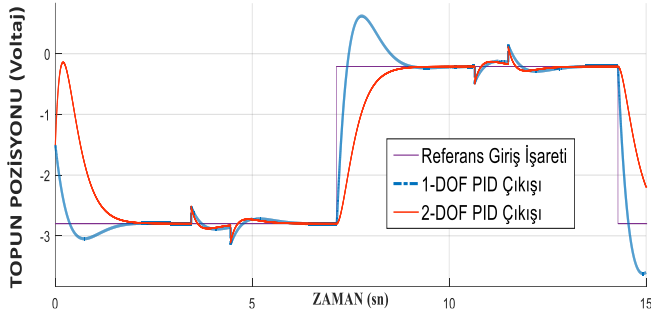


Şekil 7. 2-DOF PID kontrolcü ve manyetik askılama sistemi simülasyon diyagramı (Simulation scheme of 2-DOF PID controller & magnetic levitation system)



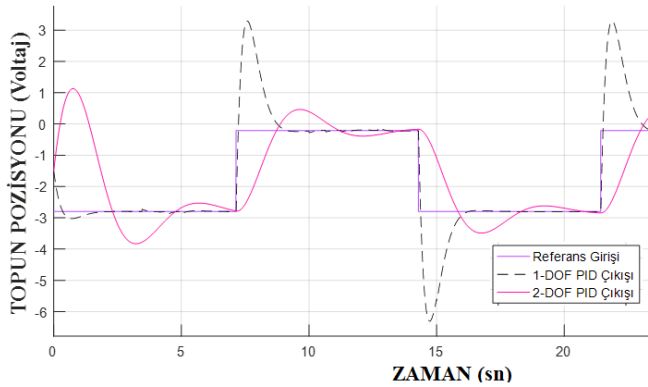
Şekil 8. Simülasyon sonuçları (Simulation results)

Daha sonra sistemin çıkışına topun pozisyonunda bir değişim oluşturmayı amaçlayan temsili bir bozucu etki uygulanarak bu etkinin minimize edilmek suretiyle topun pozisyonunu koruyup korumadığı incelenmiştir. 3,5. ve 10,5. Saniyelerde topun pozisyonunda geçici bir değişim amaçlanarak uygulanan bozucu etkiler 3 sn gibi kısa bir sürede yok edilmişlerdir. İki serbestlik dereceli PID kontrolcüsünün bir serbestlik dereceli kontrolcüye göre Şekil 9'da görüldüğü gibi bozucu etkinin minimize edilmesinde biraz daha hızlı tepki vermiştir.



Şekil 9. Bozucu etki altında kontrolcülerin cevabı (Disturbance rejection behavior of controller)

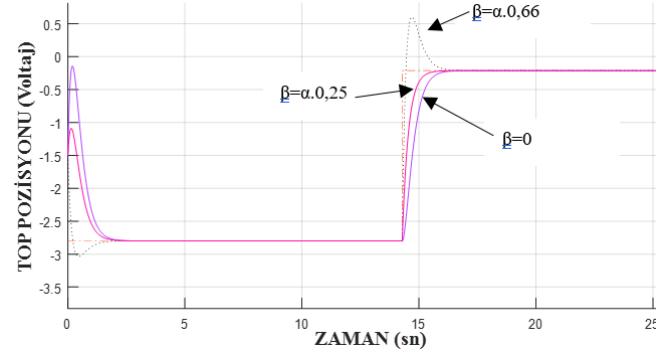
Bölüm 2’ de anlatıldığı üzere manyetik askılama sistemi ikinci dereceden bir sistemdir. Bölüm 3’ de kontrolcü tasarımı yapılırken sistem kontrolçüyle birlikte üçüncü dereceden bir yapıya dönüşmekte ve Denklem 14, Denklem 18’e eşitlenmek suretiyle PID katsayıları hesaplanmaktadır. Denklem 14’deki $(s+a)$ kökünün sol yarı s düzleminde diğer köklerden oldukça solda seçilmesi gerekliliğinden bahsedilmiştir [16]. Üçüncü kök olan $(s+a)$ kökünün $a = -100\xi\omega_n$ gibi diğer köklere nispeten daha yakın seçilmesi durumundaki etki incelenmiştir. Şekil 8’deki sonuçlara göre istenmeyen aşımın arttığı özellikle 2-DOF PID çıkışında fazla salınımların olduğu Şekil 10’ da gösterilmiştir.



Şekil 10. Üçüncü kökün etkisinin incelenmesi (Investigation effect of third pole)

Bölüm 3’ te anlatıldığı üzere uygun PID katsayılarının belirlenmesiyle iki serbestlik dereceli PID kontrolçüsü tasarlanmaktadır. İleri yol $(\alpha + \beta s)$ katsayılarından β değeri sıfıra α değeri ise Ki integral kazanç katsayısı değerine eşitlenerek tasarıma başlanmaktadır. β İleri yol kazanç değeri α katsayısına göre ağırlıklandırılarak etkisi incelenmiş ve sonuç Şekil 10’da gösterilmiştir. $\beta = \alpha.0,66$ Seçildiğinde cevap hızı yükselmekle beraber aşımın olduğu $\beta = \alpha.0,25$

seçildiğinde ise aşımın yok olmasıyla birlikte cevap hızının arttığı da görülmektedir.



Şekil 10. β ve α ileri yol katsayılarının etkisi (Effect of feedforward gain coefficients β and α)


5. SONUÇLAR

Bu çalışmada gerçek fiziksel parametreler kullanılarak manyetik askılama sisteminin bir modeli oluşturulmuş bu sistemin kontrolü için iki serbestlik dereceli ve bir serbestlik dereceli PID kontrolcüler Matlab/SIMULINK ortamında tasarlanarak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Aynı parametrelere sahip bir serbestlik dereceli PID ve iki serbestlik dereceli PID kontrolcülerine sisteme uygulandığında oluşan sistemin transfer fonksiyonunda kontrolcü kaynaklı sıfırların oluşmaması istenmeyen aşımın önüne geçmiştir. Önerilen iki serbestlik dereceli PID kontrolcü gürbüzlük açısından incelendiğinde bozucu etkinin sönümlenmesinde gerekli performansı sergilemiştir. Ayrıca ileri yol kazanç katsayılarına gereken ağırlıklandırmalar yapılarak sistemin cevap hızına ve aşım miktarına etki edilebilmiştir. Bu durum iki serbestlik dereceli PID kontrolçüsünün esnek bir yapıda olduğunu, pratik bir şekilde tasarlanıp uygulanabileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] A. T. Tran, S. Suzuki, and N. Sakamoto, "Nonlinear optimal control design considering a class of system constraints with validation on a magnetic levitation system," *IEEE Control Syst. Lett.*, vol. 1456, no. 2, pp. 1–1, 2017.
- [2] R. Precup, "Evolving Fuzzy Models for the Position Control of Magnetic Levitation Systems," *Evol. Adapt. Intell. Syst.*, vol. 9, pp. 2–7, 2017.

- [3] A. Ghosh, T. Rakesh Krishnan, P. Tejaswy, A. Mandal, J. K. Pradhan, and S. Ranasingh, "Design and implementation of a 2-DOF PID compensation for magnetic levitation systems," *ISA Trans.*, vol. 53, no. 4, pp. 1216–1222, 2014.
- [4] S.-Y. Fan, C.-W. Chuang, and C.-C. Feng, "Apply Novel Grey Model Integral Variable Structure Control to Air-Ball-Suspension System," *Asian J. Control*, vol. 18, no. 4, pp. 1359–1364, 2016.
- [5] E. M. Junaid, E. Sadaqat, and U. Rehman, "Observer Based Controller for Magnetic Levitation System," vol. 4, no. 2, pp. 29–33, 2015.
- [6] T. H. S. Li, C. L. Kuo, and N. R. Guo, "Design of an EP-based fuzzy sliding-mode control for a magnetic ball suspension system," *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 33, no. 5, pp. 1523–1531, 2007.
- [7] P. Roy, S. Sarkar, B. K. Roy, and N. Singh, "A Comparative Study between Fractional Order SMC and SMC Applied to Magnetic Levitation System," *IEEE Indian Control Conference*, vol.15 no. 33, 2017.
- [8] M. K. Debnath, "Technique for Automatic Generation control of a multi- source Power System," *IEEE Uttar Pradesh Sect. Int. Conf. Electr. Comput. Electron. Eng.*, pp. 531–536, 2016.
- [9] M. Araki and H. Taguchi, "Two-degree-of-freedom PID controllers," *Int. J. Control Autom. Syst.*, vol. 1, no. 4, pp. 401–411, 2003.
- [10] M. K. Çelik, «Bir Ve İki Serbestlik Dereceli Süreç Kontrol Yapıları İçin Tasarım Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi» İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [11] Feedback Instruments Limited UK, "Magnetic Levitation Control Experiments," vol. 44, no. 1160, 1892.
- [12] Åström, K., ve Hägglund, T. (2001). The future of PID control. *Control Engineering Practice*, 9(11), Instrumentation, Systems, and Automation Society, 1163–1175
- [13] R. Vilanova and P. Balaguer, "ISA-PID Controller Tuning : A combined min-max / ISE approach," pp. 2956–2961, 2006.
- [14] S. Skogestad and I. Postlethwaite, "Multivariable feedback control: analysis and design," *Int. J. Robust Nonlinear Control*, vol. 8, no. 14, p. 575, 2005.
- [15] Wolovich WA. "Automatic control systems basic analysis and design," Rochester, NY Saunders College Publishing;1994
- [16] S. Alcántara, R. Vilanova, and C. Pedret, "PID control in terms of robustness/performance and servo/regulator trade-offs: A unifying approach to balanced autotuning," *J. Process Control*, vol. 23, no. 4, pp. 527–542, 2013
- [17] B.C. Kuo, "Otomatik Kontrol Sistemleri," Prentice-Hall, Inc.Englewood Cliffs, Literatür Yayınları,1999

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Gelis/Received</u> 10-04-2017 <u>Kabul/Accepted</u> 01-08-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.305224	

İstatistiksel metotlar ve yapay sinir ağları kullanarak kısa dönem çok adımlı rüzgâr hızı tahmini

İsmail Kırbaş*¹

ÖZ

Bu çalışmada TÜBİTAK T60 ulusal gözlem evi meteoroloji istasyonunun 2016 yılı nisan ayı içerisinde yaptığı gözlem sonuçları PHP programlama dili kullanılarak web sitesi üzerinden derlenmiştir. Elde edilen rüzgâr hızı verileri istatistiksel ve yapay sinir ağı metotları kullanılarak incelenmiş ve meydana getirilen zaman serisi üzerinden ileriye yönelik rüzgâr hızı kestirimlerinde bulunulmuştur. Yapılan hesaplamalar ve gerçek veriler ile kıyaslamalar sonucunda incelenen ARIMA modelleri ve yapay sinir ağları arasında belirgin bir hata oranı farkı görülmüştür. Literatürde yer alan rüzgâr hızı tahmin çalışmaları genellikle sadece tek adım tahmin başarısı üzerinde yoğunlaşırken, önerilen çalışmada sık kullanılan tahmin metotlarının ileriye dönük 12 adım seviyesinde ayrıntılı değerlendirilmeleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr hız tahmini, ARIMA, NAR, yapay sinir ağı, zaman serileri, kısa dönemli tahmin metotları

Short-term multi-step wind speed prediction using statistical methods and artificial neural networks

ABSTRACT

The results of the observations made by TUBITAK T60 national observation house meteorological station in April, 2016 were compiled on this website using the PHP programming language. Obtained wind speed data were analysed using statistical and artificial neural network methods and predicted wind speed predictions over the time series brought to the field. There is a significant difference in error rates between the ARIMA models and the artificial neural networks examined as a result of comparisons with the calculated calculations and actual data. While the wind speed estimation studies in the literature generally focus only on single step prediction success, detailed evaluation of commonly used estimation methods at the prospective 12 step level has been carried out.

Keywords: Wind speed prediction, ARIMA, NAR, artificial neural network, time series, short term prediction methods

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Mehmet Akif Esoy University, Department of Computer Engineering, Burdur, Turkey – ismailkirbas@mehmetakif.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde modern enerji üretim sistemlerine rüzgâr enerjisinin eklenmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Rüzgâr enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en hızlı gelişen ve en umut verici olanıdır. Ancak rüzgârın kaotik doğası enerji üretiminde öngörülebilirliğin önünde büyük bir engel teşkil etmektedir. Bu kaotik yapıya ve belirsizliğe rağmen ileriye yönelik tahminler için geliştirilmiş bazı tahmin yöntemleri mevcuttur. Araştırmacılar tahmin yöntemlerindeki hatayı en aza indirmek amacıyla zaman serilerinin değerlendirilmesi için istatistiksel metotlar geliştirirken, bir yandan da insan beynini modellemeye çalışarak yapay zekâ yöntemleri üzerinde çalışmaktadırlar. Günümüzde yaygın kullanılan rüzgâr enerjisi tahmini araçları, fizik tabanlı ve istatistiksel yöntemlerin bir birleşimine dayanmaktadır [1], [2].

Rüzgâr hızının tahmin edilmesi, yakın orta ve uzun vadede rüzgâr türbinlerinden üretilmesi beklenen

enerjinin kestirimi için oldukça önemli bir parametredir. Bu kestirim değerlerine göre enerji üretim santrallerinin karlılıkları hesaplanabilmektedir. Böylece bir bölgeye rüzgâr enerjisi yatırımı yapılmasının karlı olup olmayacağı, işletme ve üretim maliyetleri daha doğru olarak hesaplanabilir. Kısa ve uzun vade rüzgâr enerjisi üretim tahmininin doğruluğu elektrik üretiminin farkı kaynaklar kullanılarak dengelenmesi açısından da büyük bir öneme sahiptir [3]–[5].

Rüzgâr hızı tahminlerinde 30 dakikalık çok kısa vadeden 1 hafta ve ötesine kadar olan uzun vadeye kadar 5 farklı derecelendirme bulunmaktadır. Tahmin vadeleri ve ne amaçla kullanıldıklarına ilişkin bilgiler Tablo 1’de verilmiştir. Rüzgâr hızı verileri genellikle bir meteoroloji istasyonu kurularak elde edilir ve bu kayıtlar incelenerek rüzgâr rejimi hesaplanır. Rüzgâr hızları coğrafyaya bağlı olduğundan ve bölgeden bölgeye farklılık gösterdiğinden her bölge için geçerli tek bir tahmin modeli geliştirilememiştir [6]–[9].

Tablo 1. Rüzgâr hızı tahminlerinde kullanılan aralıklar (The ranges used in wind speed prediction)

Zaman birimi	Aralık	Uygulamalar
Çok kısa vade	Birkaç saniyeden 30 dakikaya kadar	- Elektrik piyasasının belirlenmesi - Düzenleme eylemleri
Kısa vade	30 dakikadan 6 saate kadar	- Ekonomik Yük Atma Planlaması - Yük Arttırma / Düşme Kararları
Orta vade	6 saatten 1 güne kadar	- Üretimin çevrimiçi/Çevrimdışı kalma kararları - Günaşırı işletim güvenliği - Elektrik piyasası
Uzun vade	1 günden 1 haftaya kadar ve daha fazlası	- Birim taahhüt kararları - Zorunlu karşılık kararları - Bakım planlaması - Optimal işletme maliyeti

Literatürde rüzgâr hızı tahminine yönelik pek çok çalışmaya rastlanırken bunların daha çoğunlukla 1 adım sonrasının hesaplanması şeklinde olduğu görülmektedir. Çalışmanın özgün yanlarından biri de ileriye yönelik olarak 12 adımlık tahminin başarımlarının tespit edilmesi ve 5 farklı hata ölçütüne göre karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş olmasıdır.

Rüzgâr hızı tahminine ilişkin çalışmalar incelendiğinde Foley ve arkadaşlarının [10] rüzgâr gücü tahmini metotları üzerinde çalışmış oldukları görülmektedir. Lydia ve Kumar [5] rüzgâr gücü tahmini ile ilgili detaylı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Zhong ve arkadaşları [6] rüzgâr hızı tahmini ve elde edilen değerlerin güç santrallerinde değerlendirilmesi üzerine yoğunlaşırken, Bhaskar ve arkadaşları [11] günümüzde yaygın kullanılan rüzgâr hızı tahmin metotlarını incelemişlerdir. Kaynar ve Taştan [12]

toptan eşya fiyatları için zaman serisi analizinde yapay sinir ağı ile ARIMA modelinin karşılaştırmasını yapmışlardır. Erdem ve Shi [13] rüzgâr hızı ve yön tahmininde ARIMA tabanlı metotlar geliştirmişlerdir. Narayana ve arkadaşları [3] rüzgâr tribünlerinin ileriye yönelik tahmin metotları ile kontrolü üzerine çalışmalar yaparken, Khanna ve arkadaşları [7] rüzgâr gücü üretiminde zaman serisi özelliklerinin belirlenmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Khandelwal ve arkadaşları [14] ayrık dalgacık dönüşümü ile ARIMA ve yapay sinir ağı modelini birleştiren hibrid bir çalışma ile zaman serisi tahmini yapan bir model ortaya koymuşlardır. Zeng ve arkadaşları [15] farklı örnekleme frekanslarının kısa dönem rüzgâr hızı tespitine etkisi ve destek vektör makinaları ile güç tahmini üzerinde çalışmışlardır [16]. Son olarak Chandra ve arkadaşları [8] rüzgâr hızı tahmini konusunda detaylı bir inceleme çalışması hazırlamışlardır.

Çalışmamızın veri akışı ve değerlendirme aşamaları Şekil 1'de görüldüğü üzere 5 adımda gerçekleştirilmiştir. Bu adımlardan ilki TÜBİTAK T60 teleskobunun meteoroloji istasyonu tarafından rüzgâr hızlarının ölçümü şeklindedir. Ardından ölçülen değerler günlük veriler şeklinde metin dosyalarına yazılır ve web sitesi üzerinden erişime açılır. Çalışmamız için verilerin yayınlandığı web sitesi üzerinden metin dosyalarını indiren ve verileri bir veritabanına kayıt eden PHP betiği hazırlanmıştır. Sonrasında elde edilen verileri ortalamalar alınarak yumuşatılmış ve tahmin modelleri için kullanılabilir hale getirilmiştir. Dördüncü adımda istatistiksel ve yapay sinir ağı modelleri geliştirilmiş ve ileriye yönelik 12 adımlık tahminler yapılması sağlanmıştır. Son adımda da tahmin sonuçları ile gerçek ölçüm sonuçları başarımlar değerlendirme ölçütleri doğrultusunda ayrıntılı olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Veri akışı ve veri işleme diyagramı (Data flow and data processing diagram)

2. RÜZGÂR HIZI TAHMİN METODLARI (WIND SPEED PREDICTION METHODS)

Rüzgâr enerjisi kestirim metotları genel olarak 5 tip altında incelenebilir.

2.1. Kalıcılık Yöntemi (Persistence Method)

Kalıcılık yöntemi yapısı gereği en kolay yöntem olarak kabul edilmektedir [8]. Temel olarak rüzgâr enerjisinin ölçülen veya hesaplanan mevcut değerinin tahmin edilmek istenen zaman için de aynı olacağı varsayımına dayanmaktadır.

2.2. Fiziksel Yöntem (Physical Method)

Fiziksel yöntem fikri, pürüzlülük, orografi ve engeller gibi arazideki fiziki faktörleri kullanarak sayısal hava tahminini iyileştirmektir. Bu yöntem, atmosferik durum, rüzgâr hızı, yerel topografya ve rüzgâr enerjisi santralının çıktısı arasındaki fiziksel ilişkiyi tanımlayan bir modeli içermektedir.

2.3. İstatistiksel Yöntem (Statistical Method)

İstatistiksel yöntemler kolaylıkla modellenebilir ve diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında ekonomiktir. İstatistiksel yöntemler, önümüzdeki birkaç saat içinde mevcut durumu tahmin etmek için önceki rüzgâr verilerini kullanır. Bunlar kısa süreler için iyi. İstatistiksel yöntemle elde edilen dezavantaj tahmin zamanı ile birlikte hata artışıdır. İstatistik zaman serisi modelleri, rüzgâr enerjisi çıktısını altı saat önceden tahmin etmek için kullanılır

2.4. Sezgisel Yöntem (Heuristic Method)

Yapay sinir ağları modelleme ilham insan beyni tarafından verildi. Dolayısıyla biyolojik nöronlar ile yapay sinir ağları arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Yapay sinir ağları (YSA), öngörülen zaman serileri için en iyisidir. YSA modelleri, karmaşık bir doğrusal olmayan ilişkiyi temsil etmek için kullanılır.

2.5. Hibrid Yöntem (Hybrid Method)

Hibrit yöntem hem nöro-bulanık hem de YSA modelinin kombinasyonudur. Hibrit yöntemler, bireysel modellere kıyasla daha iyi doğruluk ve iyi rüzgâr tahmini sonuçları elde etmektedir [11].

3. RÜZGÂR HIZI ÖLÇÜMLERİNİN ELDE EDİLMESİ (GATHERING WIND SPEED MEASUREMENTS)

2008 yılında Antalya, Bakırlitepe Yerleşkesinde 0.60 metre çapında, tam robot T60 teleskop kurulmuştur. Bu gözlem evinde ilk ışık Eylül 2008'de alınmıştır. Teleskop, çoğunlukla değişken yıldızların çok bantlı fotometrik gözlemlerinde ve ayrıca GAIA veya GRB uyarılarının izlem gözlemlerinde kullanılmaktadır. Gözlem evi 36.824 enlem, 30.335 boylam koordinatlarında ve 2500 metre rakımda yer almaktadır. Gözlem evinde teleskobun yanı sıra bir de meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. TÜBİTAK T60 teleskobuna ait görüntü Şekil 2'de verilmiştir.



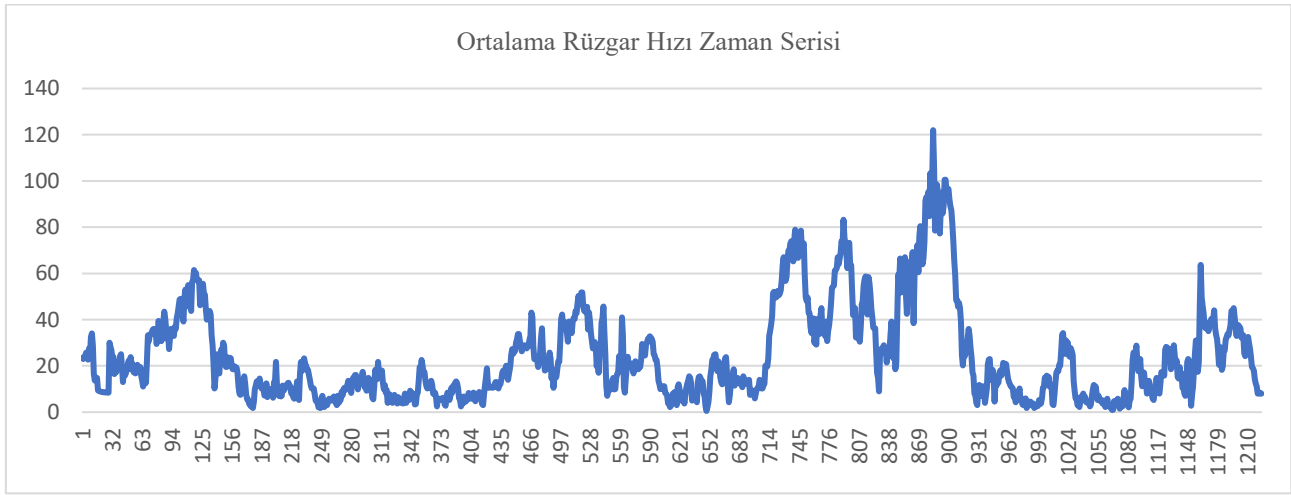
Şekil 2. TÜBİTAK T60 Teleskobu (TUBITAK T60 Telescope) [17]

Meteoroloji istasyonu, ölçümleri 5 dakika arayla kayıt etmektedir. Bu veriler Şekil 3'de görüldüğü biçimde, metin dosyası şeklinde tutulmakta TÜBİTAK TUG resmi web sitesinde günlük ve aylık dönemler şeklinde yayınlanmaktadır. Çalışmamızda, 14-30 Nisan 2016 tarihleri arasında yapılan 6.120 adet ölçüm değeri kullanılmıştır. Rüzgâr hızı verilerine ulaşmak için, web sitesi üzerinde yayınlanan metin dosyalarını indiren ve bir MySQL veri tabanı tablosuna kaydeden bir PHP betiği yazılmıştır.

--Timestamp--	Temp	Chill	HIndex	Humid	Dewpt	Wind	Hivind	WindDir	Rain	Barom	Solar	ET	UV
20160411 00:00	0.5	0.5	0.5	77	-3.1	2	3	225	0.0	748.2	0	0.000	0.0
20160411 00:10	0.4	0.4	0.4	80	-2.6	3	5	225	0.0	748.2	0	0.000	0.0
20160411 00:15	0.5	0.5	0.5	79	-2.7	5	10	225	0.0	748.1	0	0.000	0.0
20160411 00:20	0.6	-2.1	0.6	76	-3.2	8	11	225	0.0	748.1	0	0.000	0.0
20160411 00:25	0.6	-2.5	0.6	76	-3.1	10	14	225	0.0	748.0	0	0.000	0.0
20160411 00:30	0.5	-3.4	0.5	78	-2.9	13	18	225	0.0	747.9	0	0.000	0.0
20160411 00:35	0.4	-3.8	0.4	79	-2.8	14	18	225	0.0	747.8	0	0.000	0.0
20160411 00:40	0.3	-2.8	0.3	79	-2.9	10	18	225	0.0	747.8	0	0.000	0.0
20160411 00:45	0.3	-2.4	0.3	81	-2.6	8	14	225	0.0	747.7	0	0.000	0.0
20160411 00:50	0.1	-4.5	0.1	83	-2.4	16	24	225	0.0	747.7	0	0.000	0.0
20160411 00:55	0.1	-4.5	0.1	83	-2.5	16	26	225	0.0	747.8	0	0.000	0.0
20160411 01:00	0.1	-4.8	0.1	83	-2.5	18	23	225	0.0	747.7	0	0.025	0.0
20160411 01:05	0.0	-4.6	0.0	82	-2.7	16	23	225	0.0	747.6	0	0.000	0.0
20160411 01:10	-0.1	-3.7	-0.1	84	-2.4	11	18	225	0.0	747.6	0	0.000	0.0
20160411 01:15	-0.2	-3.4	-0.2	85	-2.4	10	18	158	0.0	747.6	0	0.000	0.0
20160411 01:20	0.1	-2.7	0.1	89	-1.5	8	18	180	0.0	747.5	0	0.000	0.0
20160411 01:25	0.1	-2.6	0.1	91	-1.2	8	23	135	0.0	747.6	0	0.000	0.0
20160411 01:30	0.3	-2.4	0.3	92	-0.9	8	18	180	0.0	747.6	0	0.000	0.0
20160411 01:35	0.1	-3.1	0.1	92	-1.1	10	18	180	0.0	747.5	0	0.000	0.0
20160411 01:40	-0.2	-3.8	-0.2	91	-1.5	11	19	202	0.0	747.4	0	0.000	0.0
20160411 01:45	-0.2	-3.8	-0.2	91	-1.5	11	23	180	0.0	747.4	0	0.000	0.0
20160411 01:50	-0.1	-4.9	-0.1	89	-1.6	18	29	225	0.0	747.2	0	0.000	0.0
20160411 01:55	-0.4	-5.1	-0.4	91	-1.7	16	29	202	0.0	747.3	0	0.000	0.0
20160411 02:00	-0.3	-4.3	-0.3	92	-1.4	13	23	202	0.0	747.2	0	0.000	0.0
20160411 02:05	-0.2	-4.5	-0.2	93	-1.2	14	24	202	0.0	747.2	0	0.000	0.0
20160411 02:10	0.1	-3.5	0.1	94	-0.8	11	24	202	0.0	747.2	0	0.000	0.0
20160411 02:15	0.0	-2.7	0.0	94	-0.8	8	21	158	0.0	747.2	0	0.000	0.0
20160411 02:20	-0.2	-3.4	-0.2	94	-1.0	10	21	202	0.0	747.1	0	0.000	0.0
20160411 02:25	-0.1	-3.3	-0.1	94	-0.9	10	18	112	0.0	747.0	0	0.000	0.0
20160411 02:30	-0.1	-2.9	-0.1	94	-1.0	8	18	135	0.0	747.1	0	0.000	0.0
20160411 02:35	0.2	-2.5	0.2	94	-0.7	8	16	180	0.0	747.0	0	0.000	0.0
20160411 02:40	-0.2	-4.2	-0.2	94	-1.0	13	21	202	0.0	746.9	0	0.000	0.0
20160411 02:45	-0.3	-4.0	-0.3	94	-1.2	11	23	158	0.0	747.0	0	0.000	0.0

Şekil 3. TÜBİTAK T60 teleskobu ve gözlem evinden elde edilen meteorolojik ölçümler (Meteorological measurements from TUBITAK T60 Telescope and weather station) [17].

6.120 adet veri, zaman serileri analizi için oldukça büyük bir veridir ve indirgenmesi gerekir. Bu amaçla elde edilen veriler 20 dakika aralıklı ortalama rüzgâr hızı haline dönüştürülmüştür. Böylece verilerin daha ayrıntılı analizi için toplam 1.224 adet kayıt elde edilmiş ve bir zaman serisine dönüştürülmüştür. Şekil 4, rüzgâr hızı tahmininde kullanılacak 20 dakikalık ortalama rüzgâr hızı ölçümlerini grafik olarak göstermektedir.



Şekil 4. Ortalama rüzgâr hızı zaman serisi (Time series for the average wind speed)

Çalışmada kullanılan zaman serisine ilişkin temel istatistiksel parametreler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Rüzgâr hızı verilerine ait istatistiksel değerler (Statistical values of wind speed data)

İstatistiksel Hesaplama	Değer
Ortalama	24.15
Varyans Katsayısı	84.14
Standart Sapma	20.32
Medyan	18.00
Varyans	412.95
Mod	8
Mod Adedi	19
Çarpıklık	1.52
Basıklık	2.33
Aralık	121.50
En çok	122.00
En az	0.50
Örnekleme Adedi	1224

4. İSTATİKSEL TAHMİN MODELLERİ (STATISTICAL PREDICTION MODELS)

İstatistiksel yöntemler, toplanan verilerin ilişkisini keşfetmeyi amaçlamaktadır. Rüzgâr hızının geçmiş verileri, istatistiksel bir model için kolayca kullanılabilir. İstatistiksel modeller, diğer modellere kıyasla düşük maliyetlidir ve model için faydalıdır. Prensipte olarak, istatistiksel yaklaşım özellikle kısa zaman aralıklarında güvenilirdir.

Yaklaşımın ana dezavantajı tahmin süresi arttıkça tahmin hatasının artmasıdır [18], [19].

Y_t , Y 'nin kendi eski ya da gecikmeli değerleri ve olasılıklı hata terimleriyle açıklanabilmektedir. Bu nedenle ARIMA modellerine zaman zaman teoriziz modeller de denilmektedir. Belirli iki limit arasında gelecekteki bir olasılığın olasılığını hesaplamak için kullanılacak bir "stokastik" modelleme yaklaşımı [14], [20], [21].

4.1. Otoresif Süreç (AutoRegressive Process)

Otoresif süreç AR(p) ile ifade edilir ve serinin mevcut değeri önceki p adet değere bağlıdır. P otoresif sürecin derecesini vermektedir. Sürecin genel formülü denklem (1)'de verilmiştir. Burada y_{t-i} , gözlem değerlerini α_i , gözlem değerleri için katsayıları ve ε_t ifadesi de hata terimini temsil etmektedir.

$$AR(p) = \sum_{i=1}^p \alpha_i y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (1)$$

4.2. Hareketli Ortalama Süreci (Moving Average Process)

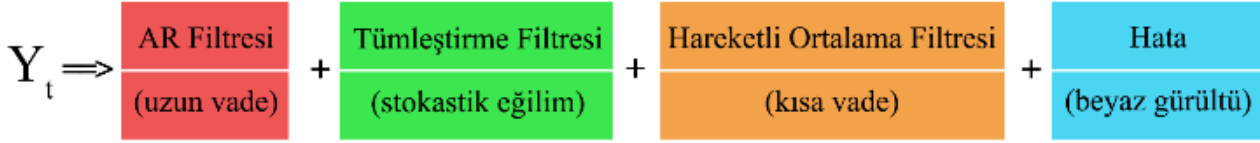
Hareketli ortalama süreci sapma değeri hesaplamasında mevcut sapma değeri daha önceki sapma değerlerine bağlıdır. q değeri hareketli ortalama işleminin derecesini belirtmektedir.

$$MA(q) = \varepsilon_t = \sum_{i=1}^q \beta_i \varepsilon_{t-i} \quad (2)$$

4.3. Karma Otoresif Bütünleşik Hareketli Ortalama Süreci (AutoRegressive Integrated Moving Average Process)

Aynı zamanda Box-Jenkins yaklaşımı olarak da bilinen Karma Otoresif Bütünleşik Hareketli

Ortalama (ARIMA) süreci mevsimsel etkiye sahip olan ve olmayan tüm seriler için kullanılabilir. İçerisinde temel olarak dört farklı bileşen barındırmaktadır. Uzun vade etki için otoregresif süreç, kısa vade etki için hareketli



Şekil 5. ARIMA sürecinin temel bileşenleri (The main components of ARIMA process)

Box-Jenkins yöntemi tek değişkenli zaman serilerinin ileriye dönük tahmin ve kontrolünde kullanılan istatistiksel öngörü yöntemlerinden biridir ve hem durağan hem de durağan olmayan modellerde kullanılabilir. Bu modelde zamana bağlı olayların raslantısal olarak gerçekleştiği ve ele alınan zaman serisinin eşit aralıklı gözlem değerlerinden oluşan kesikli ve durağan bir seri olduğu varsayılmaktadır. Bununla birlikte zaman serilerinin ortalama ve varyansında genellikle zamana bağlı olarak bir değişim gözlenmektedir. Durağan olmayan zaman serilerinde görülen bu değişim, genellikle trend, düzenli, düzensiz dalgalanmalar ve tesadüfi dalgalanmaların etkisiyle gerçekleşir. Durağan olmayan zaman serilerinin ARIMA yöntemiyle tahmin edilebilmesi için fark alma metodu ile durağan hale getirilmesi gerekir. Durağan olmayan ancak fark alma işlemiyle durağan hale dönüştürülmüş serilere uygulanan modellere “durağan olmayan doğrusal stokastik modeller” adı verilmektedir. [22], [23].

ARIMA modelleri, d dereceden farkı alınmış serilere değişkenin t önemindeki değerinin belirli sayıdaki geri dönem değerleri ile aynı dönemdeki hata teriminin doğrusal bir fonksiyonu olarak ifade edildiği AR ve değişkenin t dönemindeki değerinin aynı dönemdeki hata terimi ve belli sayıda geri dönem hata terimlerinin doğrusal fonksiyonu olarak ifade edildiği hareketli ortalama (MA) modellerinin bir birleşimidir. Modelin genel gösterimi ARIMA(p,d,q) şeklindedir. Burada q ifadesi otoregresif modelinin derecesini, d ifadesi fark alma derecesini, p ifadesi ise hareketli ortalama modelinin derecesini ifade etmektedir [12], [24]. Farklı parametre değerlerine ilişkin ARIMA hesaplama yaklaşımları aşağıda görülmektedir.

$$ARIMA(2,0,1) = y_t = \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \beta_1 \varepsilon_{t-1} \quad (3)$$

$$ARIMA(3,0,1) = y_t = \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \alpha_3 y_{t-3} + \beta_1 \varepsilon_{t-1} \quad (4)$$

ortalama filtresi, stokastik eğilim etkisi için tümeleştirme filtresi ve son olarak da beyaz gürültü olarak adlandırılan hata parametrelerinden meydana gelir [10]. Şekil 'de ARIMA sürecinin temel bileşenlerini göstermektedir.

$$ARIMA(1,1,0) = \Delta y_t = \alpha_1 \Delta y_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (5)$$

$$\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$$

$$ARIMA(2,1,0) = \Delta y_t = \alpha_1 \Delta y_{t-1} + \alpha_2 \Delta y_{t-2} + \varepsilon_t \quad (6)$$

Genel ARIMA (p,d,q) modeli ise denklem (7) ile formüle edilebilir.

$$y_t = \varphi_1 y_{t-1} + \varphi_2 y_{t-2} + \dots + \varphi_p y_{t-p} + \delta + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (7)$$

Burada $y_t, y_{t-1}, \dots, y_{t-p}$ d dereceden farkı alınmış gözlem değerlerini $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$ d dereceden farkı alınmış gözlem değerleri için katsayıları, δ sabit değeri, $\varepsilon_t, \varepsilon_{t-1}, \dots, \varepsilon_{t-q}$ hata terimlerini ve $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ hata terimleri ile ilgili katsayıları temsil etmektedir. ARIMA metodu ile zaman serileri oluşturabilmek için p, d ve q değerlerinin hesaplanması gerekmektedir [12].

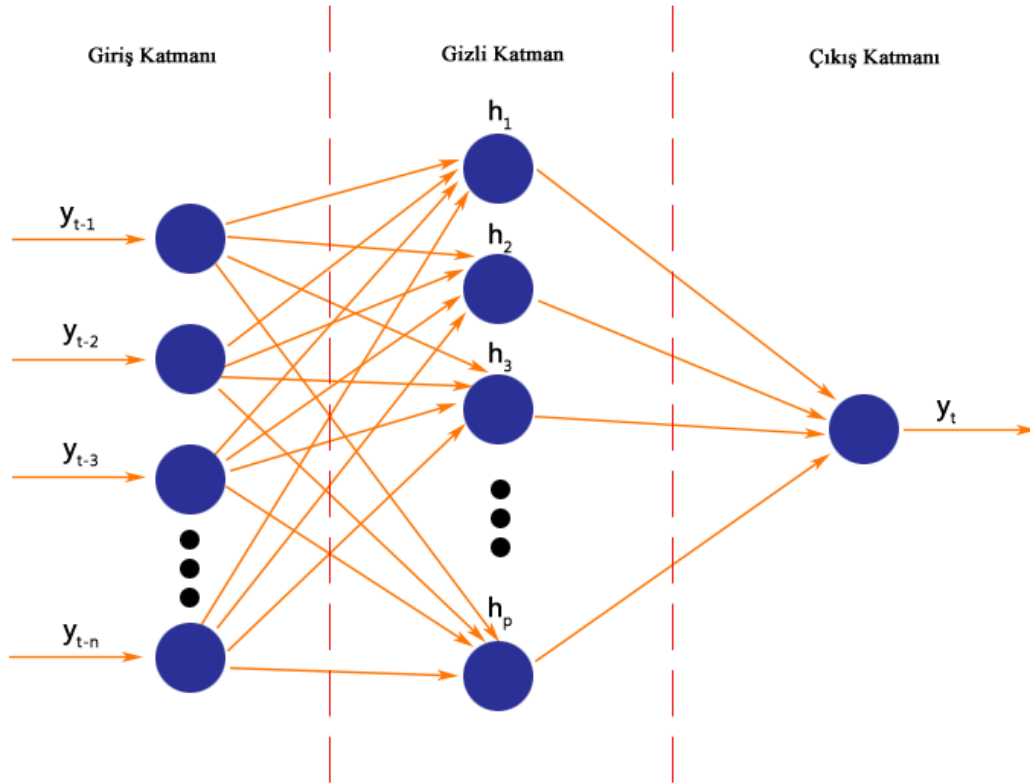
5. ZAMAN SERİLERİ İÇİN YAPAY SİNİR AĞI MODELİ (ARTIFICIAL NEURAL NETWORK MODEL FOR TIME SERIES)

Yapay sinir ağı içerisinde, yapay sinir hücresi (nöron), nöronlar arası bağlantılar ve öğrenme algoritması olmak üzere üç bileşen bulunur. Bir yapay sinir ağının temel işlem elemanı nörondur. Sinir ağı içerisinde bulunan nöronlar, probleme etki eden faktörlere göre bir veya birden fazla girdi alırlar ve problemde beklenen sonuç adedi kadar çıktı oluştururlar. Nöronların birbirleriyle bağlantılar aracılığıyla bir araya gelmeleri yapay sinir ağı yapısını meydana getirir. Genel bir yapay sinir ağı sisteminde nöronların aynı doğrultuda bir araya gelmeleri katmanları meydana getirir. Bir yapay sinir ağında, girdi katmanı (input layer), gizli katman (hidden layer) ve çıktı katmanı (output layer) olmak üzere temelde üç katman bulunur. Şekil 6'da ileri beslemeli çok katmanlı bir yapay sinir ağı yapısı verilmiştir. Buna göre girdi katmanı ilk katmanı oluşturur ve dışarıdan girilen verilerin ağırlıklandırılarak gizli katmana iletilmesiyle görevlidir. Bu verilerin istatistikteki

karşılığı bağımsız değişkenlerdir. Girdi katmanı probleme etki eden parametrelerden oluşmaktadır ve girdi katmanındaki nöron sayısı parametre adedince belirlenmektedir [24].

Son katman çıktı katmanı olarak adlandırılır ve bilgilerin dış ortama aktarılmasını sağlar. Çıktı değişkenlerinin istatistikteki karşılığı bağımlı değişkenlerdir. Modeldeki diğer katmanlar ise girdi katmanı ile çıktı katmanı arasında yer alır ve gizli katman olarak adlandırılır. Gizli katmanda bulunan nöronların dış ortamla herhangi bir

doğrudan bağlantısı bulunmaz. Yalnızca girdi katmanından gelen sinyalleri alır ve çıktı katmanına sinyal gönderirler. Gizli katman ve gizli katman(lar)da yer alacak nöronların sayısının seçimi, nöronlara ait aktivasyon fonksiyonunun belirlenmesi gibi parametreler oluşturulan ağı performansı açısından kritiktir. Temel olarak insan beyninin çalışma şeklini taklit eden yapay sinir ağları veriden öğrenebilme, genelleme yapabilme, çok sayıda değişkenle çalışabilme gibi birçok önemli özelliğe sahiptir [24].



Şekil 6. İleri beslemeli çok katmanlı yapay sinir ağı yapısı (Feed forwarded multilayer artificial neural network structure)

Çalışmada kullanılan zaman serisi için yapay sinir ağı modeli geliştirmede Matlab programının ntstool adlı uygulamasından yararlanılmıştır. Bu eklenti Matlab yazılımının 2010b sürümü ile kullanıma sunulmuştur ve yapay sinir ağını oluşturacak nöron sayısı ve serideki zaman gecikmesi parametreleri belirlenebilmektedir. Zaman serisinin t . değeri zaman serisinde yer alan daha önceki p adet değer bir fonksiyonu olarak denklem (8)'de olduğu şekliyle ele alınır ve fonksiyon ilişkisi bulunmaya çalışılır [2], [25].

$$y_t = f(y_{t-1}, \dots, y_{t-p}) + \varepsilon_t \quad (8)$$

Denklem (9)'da zaman serisinin t . değerinin hesaplanması daha açık bir ifade ile verilmiştir. Buna göre nöronlar arasındaki ağırlık değerleri w_j ve v_{ij} ile gösterilirken, p terimi gizli katmanda yer alan nöron adedini ve f fonksiyonu da gizli katmandaki aktivasyon fonksiyonunu temsil etmektedir.

$$y_t = w_0 + \sum_{j=1}^p w_j f(v_{0j} + \sum_{i=1}^n v_{ij} y_{t-i}) + \varepsilon_t \quad (9)$$

Gizli katmanda kullanılacak olan doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonu için genellikle türevi defalarca alınabilen fonksiyonlar tercih edilmektedir. Geri yayılım hesaplamalarının yapılması esnasında hata oranının azaltılabilmesi ve en uygun ağırlık değerinin belirlenebilmesi için çoğu zaman sigmoid (10) ve tanjant hiperbolik (11) fonksiyonlarından yararlanılmaktadır.

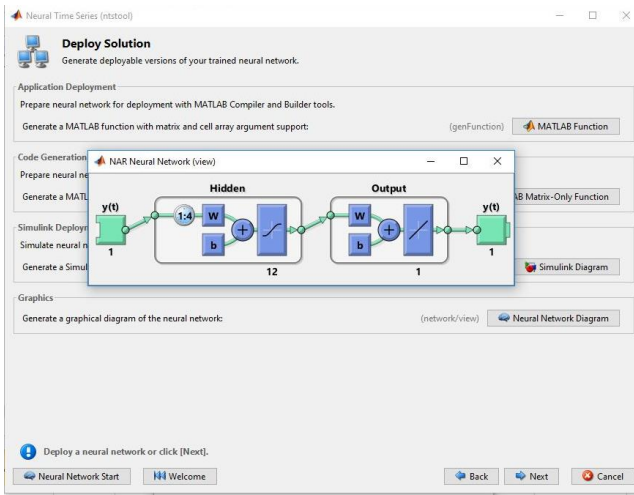
$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (10)$$

$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (11)$$

NAR (Nonlinear Autoregressive) tipi yapay sinir ağlarında 1 adet gizli katman ve 1 adet çıkış katmanı bulunmaktadır. Gizli katman içerisindeki

nöron sayısı ve geriye dönük olarak kaç adet değer işleneceği uygulama üzerinden belirlenebilmektedir. Çalışmamızda gizli katman içerisinde 12 adet nöron kullanılmış ve 1, 2, 4 ve 10 şeklinde farklı gecikme parametre değerleri kullanılmış ve karşılaştırılmıştır.

Yapay sinir ağı oluşturulmadan önce veri setinin bir bölümü ağı eğitimi amacıyla ayrılır. Çalışmamızda mevcut zaman serisinin yüzde 70'lik bölümü eğitim için ayrılmıştır. Geriye kalan yüzde 30'luk bölümün yarısı geçerlilik testi ve diğer yarısı da test işlemleri ve ağı başarısının ölçülmesi için ayrılmıştır. Şekil 7'de nstool tarafından oluşturulan yapay sinir ağının blok diyagramı görülmektedir. Buna göre ağ 1 giriş katmanı, 1 gizli katman ve 1 adet de çıkış katmanına sahiptir. Gizli katmanda 12, çıkış katmanında ise 1 adet nöron vardır.



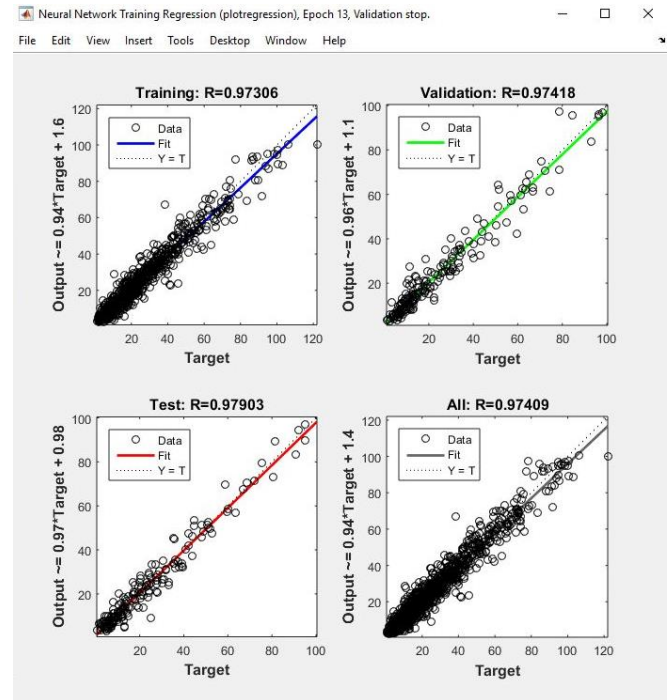
Şekil 7. NAR yapay sinir ağı yapısı
(NAR artificial neural network structure)

6. MODEL BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ (MODEL PERFORMANCE EVOLUTION)

Üretilen modellerin başarımlarını ölçebilmek için standart olarak kabul edilmiş belli metriklerin uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle, ortalama hata, ortalama mutlak hata, ortalama kareli hata,

karekök kare hata gibi değerlendirme ölçütlerine göre on bir farklı yöntem araştırılmakta ve karşılaştırılmaktadır. Tahmin metotlarının başarısının ölçmede kullanılan beş temel metot denklemleri ile birlikte Tablo 3'de verilmiştir.

Modellerin başarımları kullanılan ölçüm kriterine göre farklılık göstermekle birlikte grafikler incelendiğinde bariz farklılıklar olduğu kolayca tespit edilebilmektedir. Tablo 4'de son 12 adet ortalama rüzgâr hızı ölçüm değeri ve 11 farklı modelin bu ölçümler için yapmış olduğu tahmin değerleri görülmektedir. Buna göre ARIMA modellerinin ürettiği değerler birbirlerine yakınen NAR modellerindeki zaman parametresine göre elde edilen sonuçlarda bariz farklılıklar göze çarpmaktadır. Sihirbaz yardımıyla oluşturulan ağ, sonrasında eğitim işlemine tabi tutulmaktadır. Eğitim işleminin başarısı R parametresi ile belirlenmekte ve hata oranı değerlendirilmektedir. Elde edilen sonuçlara ilişkin grafikler Şekil 8'de verilmiştir ve 0.974 gibi hedeflenen değer olan 1'e oldukça yakın bir değer bulunduğu görülmektedir.



Şekil 8. NAR modeline ait eğitim sonuçları
(Training results for NAR model)

Tablo 3. Model başarımlı ölçütleri (Model performance criteria)

Model	Denklem
Ortalama Hata (ME)	$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)$
Ortalama Mutlak Hata (MAE)	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i $
Ortalama Kareli Hata (MSE)	$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$
Kök Ortalama Karesel Hata (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$
Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (MAPE)	$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right $

Tablo 4. Ölçüm değerleri ve model tahminleri (Measured values and model predictions)

Adı m	Ölçü m (m/s)	ARIMA 100	ARIMA 101	ARIMA 102	ARIMA 111	ARIMA 201	ARIMA 211	ARIMA 202	NAR t-1	NAR t-2	NAR t-4	NAT t-10
1	8.25	7.91	7.91	7.91	8.24	8.04	8.03	7.98	8.25	7.07	8.70	10.25
2	3.75	7.83	7.82	7.90	8.40	8.04	8.10	8.00	8.48	6.27	9.37	12.97
3	4.25	7.74	7.73	7.83	8.53	8.01	8.13	7.97	8.69	5.49	9.97	15.01
4	11	7.66	7.65	7.77	8.61	7.97	8.13	7.92	8.87	4.83	10.52	16.50
5	4.5	7.58	7.56	7.70	8.67	7.92	8.13	7.86	9.04	4.33	11.03	18.30
6	5.75	7.50	7.48	7.64	8.72	7.87	8.13	7.80	9.18	3.97	11.50	19.90
7	7.5	7.42	7.40	7.58	8.75	7.81	8.13	7.74	9.31	3.73	11.95	21.82
8	8	7.34	7.32	7.52	8.77	7.75	8.13	7.68	9.43	3.61	12.38	24.03
9	8.5	7.26	7.24	7.45	8.79	7.69	8.13	7.63	9.53	3.56	12.79	26.42
10	7.5	7.18	7.16	7.39	8.80	7.63	8.13	7.57	9.62	3.57	13.19	28.82
11	6	7.10	7.08	7.33	8.81	7.57	8.13	7.51	9.70	3.62	13.58	31.29
12	10.5	7.03	7.00	7.27	8.82	7.51	8.13	7.46	9.78	3.68	13.96	33.97

Ortalama mutlak hata karşılaştırma ölçütü doğrultusunda model tahmin verilerinden elde edilmiş olan hata oranları Tablo 5’de verilmiştir. Buna göre en yüksek mutlak hata değeri NAR (t-10) modelinde görülmektedir.

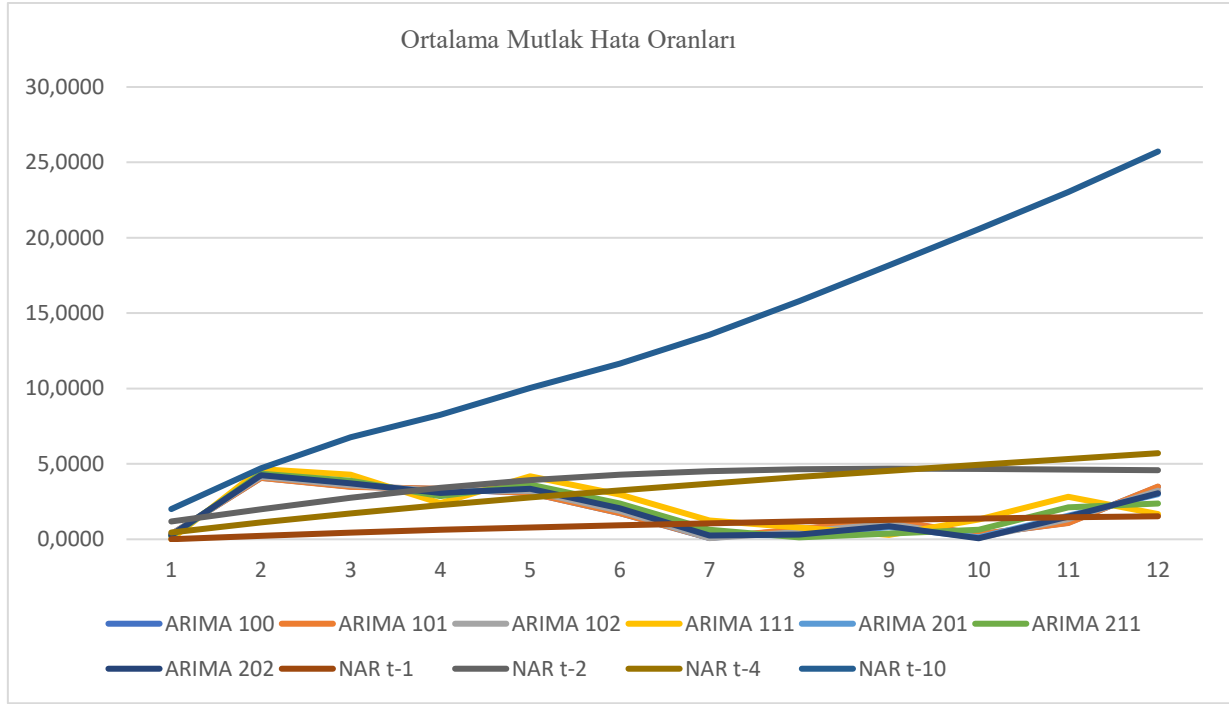
Tablo 5’de yer alan veriler doğrultusunda Şekil 9’da ortalama mutlak hata oranları grafiği elde edilmiştir. Buna göre NAR (t-10) modeli en kötü

performansı gösterirken en iyi başarımlı NAR (t-1) modeli tarafından sağlanmıştır. Bunu takip eden en iyi modeller sırasıyla ARIMA (1,0,2), ARIMA (1,0,0) ve ARIMA (1,0,1) şeklindedir. Bu üç model arasında bariz bir performans farkı gözükmemekte olup yaklaşık başarımlı değerlerine sahiptirler.

Tablo 5. Ortalama mutlak hata değerleri (Mean Absolute Error values)

Adım	ARIMA 100	ARIMA 101	ARIMA 102	ARIMA 111	ARIMA 201	ARIMA 211	ARIMA 202	NAR t-1	NAR t-2	NAR t-4	NAR t-10
1	0.34	0.34	0.34	0.01	0.21	0.22	0.27	0.00	1.18	0.45	2.00
2	4.08	4.07	4.15	4.65	4.29	4.35	4.25	0.23	1.98	1.12	4.72

3	3.49	3.48	3.58	4.28	3.76	3.88	3.72	0.44	2.76	1.72	6.76
4	3.34	3.35	3.23	2.39	3.03	2.87	3.08	0.62	3.42	2.27	8.25
5	3.08	3.06	3.20	4.17	3.42	3.63	3.36	0.79	3.92	2.78	10.05
6	1.75	1.73	1.89	2.97	2.12	2.38	2.05	0.93	4.28	3.25	11.65
7	0.08	0.10	0.08	1.25	0.31	0.63	0.24	1.06	4.52	3.70	13.57
8	0.66	0.68	0.48	0.77	0.25	0.13	0.32	1.18	4.64	4.13	15.78
9	1.24	1.26	1.05	0.29	0.81	0.37	0.87	1.28	4.69	4.54	18.17
10	0.32	0.34	0.11	1.30	0.13	0.63	0.07	1.37	4.68	4.94	20.57
11	1.10	1.08	1.33	2.81	1.57	2.13	1.51	1.45	4.63	5.33	23.04
12	3.47	3.50	3.23	1.68	2.99	2.37	3.04	1.53	4.57	5.71	25.72



Şekil 9. Ortalama mutlak hata oranları grafiği (Mean Absolute Error figure)

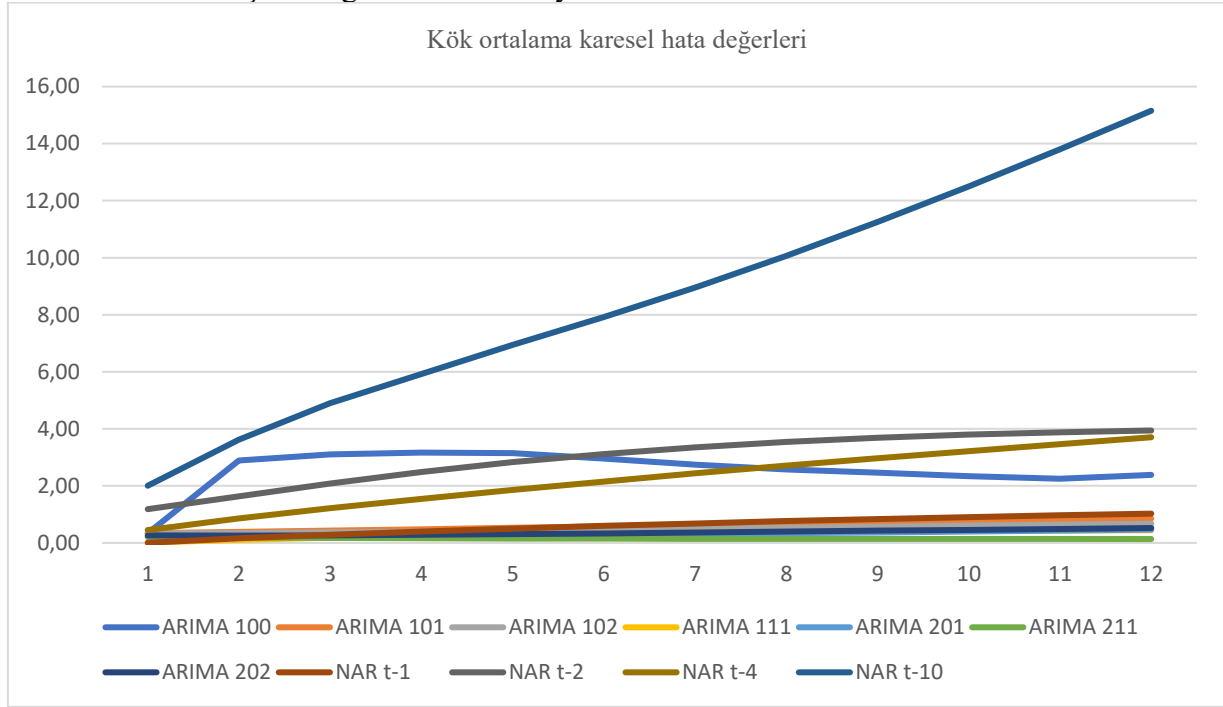
Kök ortalama karesel hata başarımlarına göre değerlendirme yapıldığında modellere ait hata değerleri Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Kök ortalama karesel hata değerleri (Root Mean Square Error values)

Adım	ARIMA 100	ARIMA 101	ARIMA 102	ARIMA 111	ARIMA 201	ARIMA 211	ARIMA 202	NAR t-1	NAR t-2	NAR t-4	NAR t-10
1	0.34	0.34	0.34	0.01	0.21	0.22	0.27	0.00	1.18	0.45	2.00
2	2.89	0.39	0.35	0.11	0.21	0.19	0.26	0.17	1.63	0.86	3.62
3	3.11	0.44	0.37	0.18	0.22	0.17	0.26	0.29	2.08	1.22	4.90
4	3.17	0.48	0.40	0.24	0.23	0.16	0.28	0.40	2.48	1.55	5.92
5	3.15	0.53	0.43	0.29	0.25	0.15	0.31	0.50	2.83	1.86	6.94
6	2.96	0.58	0.47	0.32	0.28	0.15	0.34	0.60	3.12	2.15	7.92
7	2.74	0.62	0.50	0.35	0.31	0.14	0.36	0.68	3.35	2.44	8.95
8	2.58	0.67	0.54	0.38	0.34	0.14	0.40	0.76	3.54	2.71	10.06
9	2.46	0.72	0.57	0.40	0.37	0.14	0.43	0.84	3.69	2.97	11.25
10	2.34	0.76	0.61	0.42	0.40	0.14	0.46	0.90	3.80	3.22	12.50
11	2.26	0.81	0.64	0.43	0.43	0.14	0.49	0.97	3.88	3.46	13.80
12	2.38	0.85	0.67	0.45	0.47	0.14	0.52	1.03	3.94	3.70	15.15

Tablo 6’da verilmiş olan değerler doğrultusunda elde edilen kök ortalama karesel hata grafikleri Şekil 10’da görülmektedir. Buna göre yine NAR(t-10) modeli en kötü başarıyı gösterirken en iyi

başarıyı ARIMA (2,1,1) modeline aittir. Bunu sırasıyla ARIMA (2,0,1), ARIMA(1,1,1), ARIMA (2,0,2) ve NAR(t-1) modelleri takip etmektedir.



Şekil 10. Kök ortalama karesel hata oranları grafiği (Root Mean Squared Error figure)

Son olarak ortalama mutlak yüzde hata kriterleri yönünden yapılan karşılaştırmalar ve elde edilen değerler Tablo 7’de verilirken, bu değerlerden elde edilen karşılaştırma grafiği de Şekil 10’da görülmektedir. Ortalama mutlak yüzde hatası

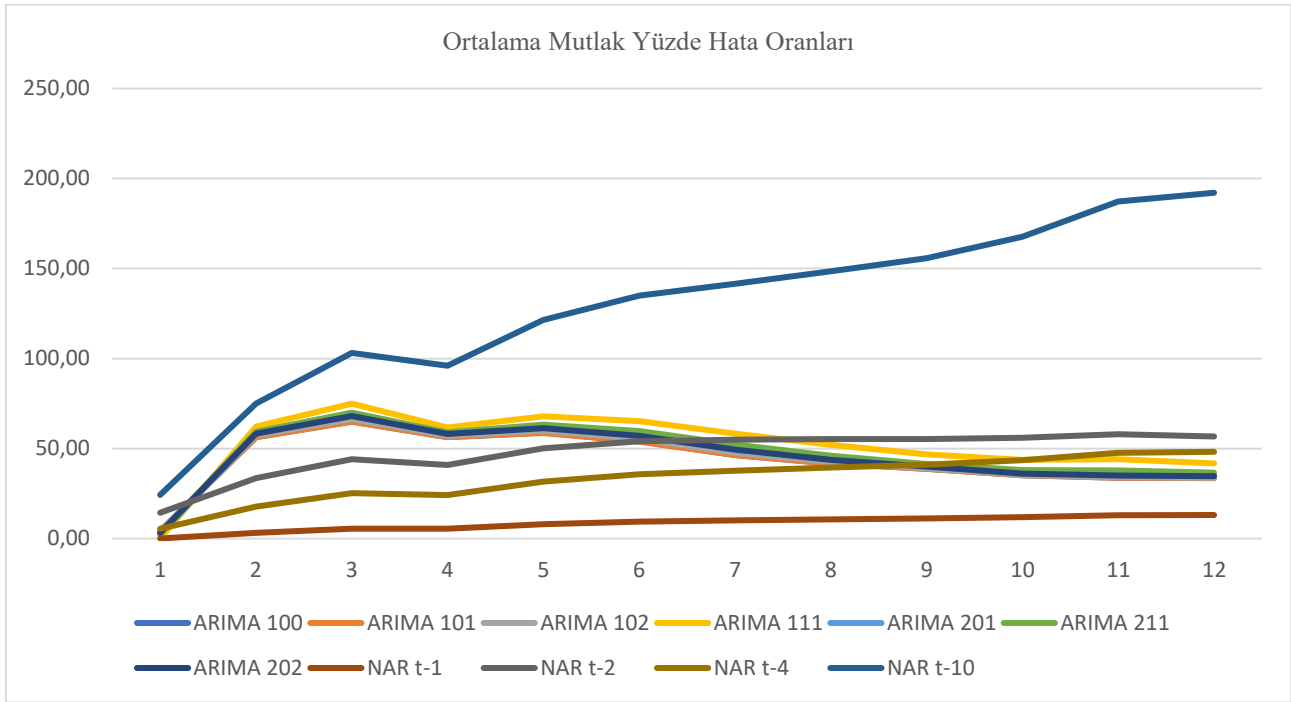
değerlendirmesi için %10 değerinin altı mükemmel kabul edilirken, %10-20 arası iyi, %20-50 arası kabul edilebilir ve %50 üzeri ise kötü olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 7. Ortalama mutlak yüzde hata değerleri (Mean Absolute Percentage Error calculations)

Adım	ARIMA 100	ARIMA 101	ARIMA 102	ARIMA 111	ARIMA 201	ARIMA 211	ARIMA 202	NAR t-1	NAR t-2	NAR t-4	NAR t-10
1	4.07	4.15	4.10	0.18	2.54	2.65	3.24	0.06	14.35	5.47	24.30
2	56.42	56.35	57.35	62.14	58.47	59.34	58.34	3.16	33.60	17.70	75.02
3	65.02	64.89	66.33	74.96	68.51	69.96	68.07	5.56	44.08	25.32	103.04
4	56.35	56.29	57.09	61.65	58.26	58.99	58.06	5.59	40.83	24.15	96.03
5	58.77	58.65	59.91	67.87	61.83	63.32	61.38	7.97	50.07	31.66	121.48
6	54.04	53.89	55.41	65.16	57.67	59.65	57.10	9.35	54.13	35.80	134.99
7	46.48	46.39	47.64	58.24	50.02	52.33	49.40	10.04	55.00	37.73	141.55
8	41.70	41.65	42.44	52.17	44.16	45.98	43.72	10.63	55.38	39.47	148.52
9	38.69	38.68	39.09	46.75	40.31	41.36	40.00	11.13	55.36	41.02	155.77
10	35.25	35.27	35.33	43.81	36.45	38.06	36.10	11.84	56.06	43.51	167.61
11	33.72	33.69	34.13	44.09	35.52	37.82	35.11	12.97	57.98	47.63	187.29
12	33.66	33.66	33.85	41.75	34.93	36.55	34.60	13.10	56.78	48.19	192.10

Ortalama mutlak yüzde hata oranı Şekil 11’de görüldüğü üzere diğer karşılaştırma ölçütlerine göre modeller arasındaki başarıyı daha net olarak görüntüleme imkânı vermektedir. Buna

göre NAR(t-1) modeli en başarılı model olurken bunu NAR(t-4), ARIMA(1,0,1), ARIMA (1,0,0) ve ARIMA(1,0,2) takip etmektedir.



Şekil 11. Ortalama mutlak yüzde hata oranları grafiği (Mean absolute percentage error figure)

Tablo 8’de tüm değerlendirme parametrelerine göre modellerin sahip oldukları hata oranları

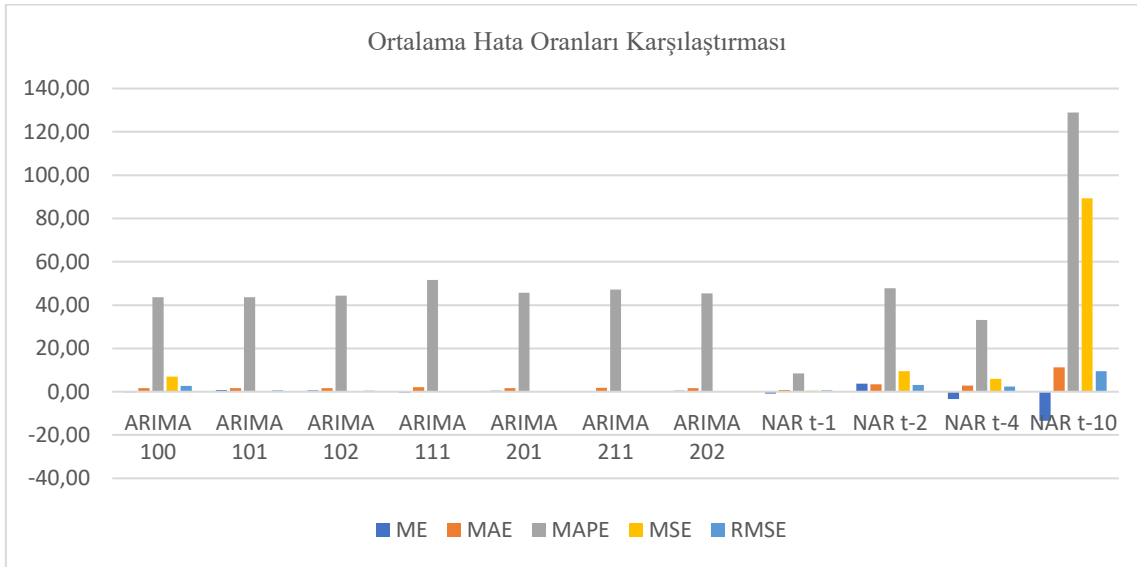
tablosu görülmektedir. Buna göre en iyi değerler altı çizilerek gösterilmiştir.

Tablo 8. Ortalama hata oranları tablosu (Average error rates table)

Hata Ort.	ARIMA 100	ARIMA 101	ARIMA 102	ARIMA 111	ARIMA 201	ARIMA 211	ARIMA 202	NAR t-1	NAR t-2	NAR t-4	NAR t-10
ME	-0.34	0.80	0.64	-0.41	0.43	<u>0.13</u>	0.49	-0.91	3.77	-3.33	-13.36
MAE	1.62	1.63	1.62	2.08	1.66	1.77	1.65	<u>0.78</u>	3.39	2.85	11.21
MAPE	43.68	43.63	44.39	51.56	45.72	47.17	45.43	<u>8.45</u>	47.80	33.14	128.98
MSE	6.94	0.38	0.25	0.11	0.10	<u>0.02</u>	0.14	0.45	9.55	5.92	89.28
RMSE	2.63	0.62	0.50	0.33	0.32	<u>0.16</u>	0.38	0.67	3.09	2.43	9.45

Tablo 8’de matematiksel değerler şeklinde hesaplanmış olan hata oranları Şekil 12’de grafiksel olarak yan yana görülmektedir. Buna göre en yüksek hata oranı NAR(t-10) modeline aittir. En kısa çizgi boyu en iyi hata oranını gösterirken en uzun çizgi de en yüksek hata oranına karşılık gelmektedir. Modeller arasındaki

farklılığı tespit etmek için en belirgin değerlendirme ölçütünün şekilde gri renkte gösterilen MAPE hesaplaması olduğu görülmektedir. MAPE hata oranı en düşük model NAR(t-1) olarak görülmektedir.



Şekil 12. Ortalama hata oranları karşılaştırması (Comparison of the average error rates)

7. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, çok adımlı rüzgâr hızı değerlerini tahmin etmek için TÜBİTAK T60 teleskopuna ait ortalama rüzgâr hızı kayıtları kullanılmıştır. Rüzgâr hızının doğru tahmin edilebilmesi, rüzgârdan üretilebilecek elektrik enerjisini tahmin etmek için şarttır. Çalışmanın amacı bir sonraki rüzgâr hızı değerlerini geçmişe göre mümkün olduğunca doğru tahmin etmeye çalışmaktır.

Pek çok zaman serisi gibi rüzgâr hızı zaman serileri de doğrusal ilişkinin yanı sıra doğrusal olmayan ilişkiler de içermektedir. Bu sebeple sadece geçmiş değerlere bakılarak ileriye yönelik tahminlerde bulunmak değişkenler arasındaki kaotik ilişkiler tam olarak modellenemedikçe oldukça güçtür. Çalışmamızda ileriye yönelik kestirimi oldukça zor olan ve sadece belli sınırlar içerisinde öngörülebilir ve rüzgâr yönü, basınç, yükseklik, sıcaklık gibi meteorolojik pek çok diğer değişkenden doğrudan etkilenen rüzgâr hızına ilişkin geçmiş değerlere göre kestirim işlemi yapılmıştır.

Bu çalışmada, zaman serisini oluşturan ölçümler arasındaki ilişki incelenmiş ve zaman serisi tahmininde sıklıkla kullanılan ARIMA modelleri ile daha yeni bir araç olan ve doğrusal olmayan ilişkiler konusunda da bir çözüm sunan NAR sinir ağı modelleri geliştirilmiştir. On iki farklı model hesaplamasından elde edilen sonuçlar istatistiksel ve grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. İstatistiksel hata oranlarının belirlenmesi amacıyla her bir model için ortalama hata, ortalama mutlak hata, ortalama kareli hata, kök ortalama karesel hata ve

son olarak ortalama mutlak yüzde hatası hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, ARIMA modelleri genel olarak NAR sinir ağı modellerinden daha başarılıdır. Kök ortalama karekök hata değerlerini ana ölçüt olarak aldığımızda ARIMA (2,1,1) ve ARIMA (1,1,1) en iyi RMSE değerlerine sahiptir. NAR (t-1) ve NAR (t-4) bunları takip ederken en kötü sonucu NAR (t-10) modeli vermektedir.

Genel olarak ARIMA modelleri arasında bariz bir başarı farkı gözlenmez iken NAR modellerinde, geriye dönük giriş parametresi sayısı artırıldığında, hata oranının da artmakta olduğu gözlenmektedir. Bu durum çalışmada kullanılan rüzgâr veri setinin ölçümleri arasında geriye dönük doğrudan ilişkinin az olduğu ve rüzgâr hız parametresinin son derece değişken bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Genel itibari ile bu çalışma, NAR yapay sinir ağı modeli ve ARIMA modellerinin kısa vade rüzgâr hızı tahmini için güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak hata oranlarının, zaman serileri verilerinin karakteristiğine doğrudan bağlı olduğu ve en uygun model seçiminin veri setine bağlı olarak değişkenlik gösterebileceği gerçeği her zaman göz önünde bulundurulmalıdır.


BİLGİLENDİRME (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma, International Science and Technology Conference (ISTEC 2016) kapsamında sözlü bildiri olarak sunulmuş ve özet olarak bildiri kitapçığında yayınlanmıştır [26].

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] A. Kerem, I. Kirbas, and A. Saygın, “Performance Analysis of Time Series Forecasting Models for Short Term Wind Speed Prediction,” presented at the International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS), 2016, pp. 2733–2739.
- [2] İ. Kırbaşı and A. Kerem, “Short-Term Wind Speed Prediction Based on Artificial Neural Network Models,” *Meas. Control*, vol. 49, no. 6, Jul. 2016.
- [3] M. Narayana, G. Putrus, M. Jovanovic, and P. S. Leung, “Predictive control of wind turbines by considering wind speed forecasting techniques,” in 2009 44th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2009, pp. 1–4.
- [4] Z. D. Grève et al., “Impact of the geographical correlation between wind speed time series on reliability indices in power system studies,” in 2016 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON), 2016, pp. 1–6.
- [5] M. Lydia and S. S. Kumar, “A comprehensive overview on wind power forecasting,” in 2010 Conference Proceedings IPEC, 2010, pp. 268–273.
- [6] J. Zhong, Y. Hou, and F. F. Wu, “Wind power forecasting and integration to power grids,” presented at the The 2010 International Conference on Green Circuits and Systems (ICGCS), Shanghai, China, 2010, pp. 555–560.
- [7] M. Khanna, N. K. Srinath, and J. K. Mendiratta, “Feature Extraction of Time Series Data for Wind Speed Power Generation,” in 2016 IEEE 6th International Conference on Advanced Computing (IACC), 2016, pp. 169–173.
- [8] D. R. Chandra, M. S. Kumari, and M. Sydulu, “A detailed literature review on wind forecasting,” in *Power, Energy and Control (ICPEC)*, 2013 International Conference on, 2013, pp. 630–634.
- [9] S. S. Soman, H. Zareipour, O. Malik, and P. Mandal, “A review of wind power and wind speed forecasting methods with different time horizons,” in *North American Power Symposium 2010, NAPS 2010*, 2010.
- [10] A. M. Foley, P. G. Leahy, and E. J. McKeogh, “Wind power forecasting & prediction methods,” in 2010 9th International Conference on Environment and Electrical Engineering, 2010, pp. 61–64.
- [11] M. Bhaskar, A. Jain, and N. V. Srinath, “Wind speed forecasting: Present status,” in 2010 International Conference on Power System Technology, 2010, pp. 1–6.
- [12] O. Kaynar and S. Taştan, “Zaman serisi analizinde MLP yapay sinir ağları ve ARIMA modelinin karşılaştırılması,” *Erciyes Üniversitesi İktis. ve İdari Bilim. Fakültesi Derg.*, no. 33, pp. 161–172, 2009.
- [13] E. Erdem and J. Shi, “ARMA based approaches for forecasting the tuple of wind speed and direction,” *Appl. Energy*, vol. 88, no. 4, pp. 1405–1414, 2011.
- [14] I. Khandelwal, R. Adhikari, and G. Verma, “Time Series Forecasting Using Hybrid ARIMA and ANN Models Based on DWT Decomposition,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 48, pp. 173–179, 2015.
- [15] M. Zeng, X. Zhang, J. Li, and Q. Meng, “Multifractal analysis of short-term wind speed time series with different sampling frequencies,” in 2016 12th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA), 2016, pp. 3213–3218.
- [16] J. Zeng and W. Qiao, “Support vector machine-based short-term wind power forecasting,” in *Power Systems Conference and Exposition (PSCE)*, 2011 IEEE/PES, 2011, pp. 1–8.
- [17] “TÜBİTAK Ulusal Gözlem Evi,” TÜBİTAK Ulusal Gözlem Evi, 2017. [Online]. Available: <http://tug.tubitak.gov.tr/tr/teleskoplar/t60-0>. [Accessed: 03-Mar-2017].
- [18] U. Firat, S. N. Engin, M. Saraclar, and A. B. Ertuzun, “Wind Speed Forecasting Based on Second Order Blind Identification and Autoregressive Model,” in *Machine Learning and Applications (ICMLA)*, 2010 Ninth International Conference on, 2010, pp. 686–691.
- [19] S. Rajagopalan and S. Santoso, “Wind power forecasting and error analysis using

- the autoregressive moving average modeling,” in 2009 IEEE Power Energy Society General Meeting, 2009, pp. 1–6.
- [20] K. Yunus, T. Thiringer, and P. Chen, “ARIMA-Based Frequency-Decomposed Modeling of Wind Speed Time Series,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 31, no. 4, pp. 2546–2556, Jul. 2016.
- [21] H. Vergil and F. Özkan, “Döviz kurları öngörüsünde satılma gücü paritesi ve ARIMA modelleri: Trkiye Örneği,” İMKB Derg., vol. 9, no. 35, pp. 41–55, 1997.
- [22] J. C. Palomares-Salas, J. J. G. de la Rosa, J. G. Ramiro, J. Melgar, A. Aguera, and A. Moreno, “ARIMA vs. Neural networks for wind speed forecasting,” in 2009 IEEE International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications, 2009, pp. 129–133.
- [23] O. Kaynar, S. Taştan, and F. Demirkoparan, “Yapay Sinir Ağları ile Doğalgaz Tüketim Tahmini,” Atatürk Üniversitesi İİBF Derg., no. 10. Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı, pp. 463–474, 2011.
- [24] E. İslamoğlu, “Aralık Değerli Zaman Serilerinde Kullanılan Modelleme Teknikleri,” EÜFBED Fen Bilim. Enstitüsü Derg., vol. 8, no. 2, pp. 178–193, 2015.
- [25] R. Ak, O. Fink, and E. Zio, “Two Machine Learning Approaches for Short-Term Wind Speed Time-Series Prediction,” IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst., vol. 27, no. 8, pp. 1734–1747, Aug. 2016.
- [26] İ. Kırbaş, “Short-Term Multi-Step Wind Speed Prediction Using Statistical Methods And Artificial Neural Networks,” presented at the International Science and Technology Conference, 2016, vol. 1, p. 1064.

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 11-01-2017 <u>Kabul/Accepted</u> 29-08-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.285444	

Nesnelerin interneti için yeni bir mimari tasarımı

Tuğrul Çavdar^{*1}, Ercüment Öztürk²

ÖZ

Günümüzde internet sosyal yaşantımızın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Yazılım ve elektronik alanlarındaki gelişmelerin giderek artmasıyla adreslenebilir cihaz/nesne sayısında çok ciddi artışlar meydana gelmiştir ve artan bir ivmeyle bu artış hızla devam etmektedir. Adreslenebilir tüm nesnelerin bir ağa bağlanması ve veri toplama, analiz ve işlemenin yapılarak oluşturulan akıllı sistem / olgu bütünlüğüne Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IoT) denmektedir. IoT geliştirmekte olan bir yapı olmasına rağmen, henüz temel olarak kabul edilebilen bir mimari yapıya sahip değildir. Bu çalışmada, IoT kavramının ne olduğu, kullanım alanları, mimari yapısı ve önerilen mimari modeller ile ilgili bir literatür taraması yapılmış olup IoT'nin standart bir mimari model yapısına kavuşturulması için yeni, katmanlı bir mimari model önerisinde bulunulmuştur. Önerilen mimari modeli diğer önerilmiş mimari modellerden ayıran en önemli fark, dönüşüm ve karar alt katmanlarının bulunmasıdır. Bu alt katmanlarda, gelen veri paketlerinin ve farklı mesaj isteklerinin dönüşümü yapılarak veri trafiğini azaltmak, sistem / veri güvenilirliğini arttırmak ve sistem bütünlüğünü korumak amaç edinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nesnelerin İnterneti, Katmanlı Mimari, Nesnelerin İnterneti Mimarisi

A novel architecture design for internet of things

ABSTRACT

Nowadays, the internet is an integral part of our social life. With the advances in software and electronics, there has been a tremendous increase in the number of addressable devices, and this increase is continuing at an accelerated pace. Internet of Things (IoT) is a new phenomenon that everyday physical objects can be addressed and connected to the internet so that IoT devices are able to sense the physical environment, and to collect, analyze and process the sensed data. Although the beneficial advances of IoT, there is not a common architectural structure in the literature. In this study, we have reviewed the overview of IoT, its usage areas, recent studies in the literature proposing standard IoT architectures. Also, a new layered architectural model has been proposed in order to standardize IoT paradigm. The main difference distinguishing the proposed architectural model from the other proposed architectures is the presence of transformation and decision sublayers. In these sublayers, it is aimed to reduce data traffic, to increase system / data reliability and to protect system integrity.

Keywords: Internet of Things, Layered Architecture, Internet of Things Architecture

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye – ulduz@ktu.edu.tr

² Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye – ercumentozturk@ktu.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

1980’li yılların sonlarına doğru internet günlük hayata girmiş ve internete bağlı nesne (cihaz) sayısı artmıştır. 1990’lı yılların başında Quentin Stafford-Fraser, Paul Jardetzky ve arkadaşlarının, Cambridge Üniversitesi Trojan Room isimli yazılım geliştirme biriminde bulunan bir kahve makinesindeki kahve miktarını ölçmek ve bunu izlemek için bir sistem geliştirmişlerdi. Bu sistemde bir bilgisayara kahve makinesini elektronik olarak bağlamış ve makinede kalan kahve miktarının belirli aralıklarla resimlerini çekerek bir veri iletişimini gerçekleştirmişlerdi [1]. Birbirine elektronik olarak bağlanmış bu makineler “bağlı nesnelere” kavramını gündeme getirdi.

1990 yılında ise John Romkey ilk internete bağlanabilen nesneyi, internet üzerinden açılıp kapatılabilen bir tost makinesi, geliştirdi [2]. Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IoT) kavramı ise ilk olarak 1999 yılında Kevin Ashton tarafından Procter & Gamble isimli bir şirket için hazırladığı bir sunumda kullanıldı.

Sonraki yıllarda artan bir ivmeyle gelişen teknoloji sayesinde akıllı cihazlar, mobil telefonlar, internete bağlanan binlerce cihaz geliştirildi. Öyle ki üretilen tüm teknolojik ya da elektronik cihazlar(nesneler) artık adreslenebilir ve ağ ortamında kullanılabilir duruma geldi.

IoT fiziksel nesnelerin görmesini, verileri algılamasını, düşünmesini, karar vermesini, veri paylaşımını, birbirleri ile iletişim içinde olmasını denetleyen veya düzenleyen sistemler bütünüdür [3]. Literatürde IoT için buna benzer birçok tanım olmakla birlikte bizim tanımımız şu şekildedir; “Nesnelerin (akıllı mobil cihazlar, televizyonlar vb...) adreslendirilip kullanılmasına imkân tanıyan akıllı sistemler bütünüdür.”

Lu Tan ve Neng Wang’ın önerdiği mimari modelde [4] RFID kullanımına dayalı bir mimari model olup, böylesine karışık bir ağda sadece belirli bir teknoloji üzerine odaklanmak problemin çözümüne tam anlamıyla yanıt vermeyecektir.

Luigi Atzori ve arkadaşlarının anlattığı model ise servis odaklı (Service-Oriented Architecture - SOA) mimari tabanlı olup problemleri nesne katmanından değil de daha çok yazılımsal üst katmanlarda ele almayı amaç edinmiştir. Fiziksel

katmanda gerçekleşecek bir veri kaybı ve kullanılan teknolojilere değinilmemiştir [5].

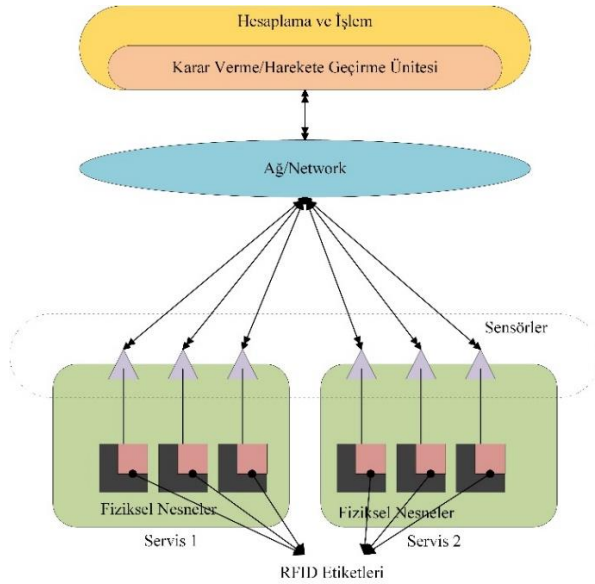
Miao Wu ve arkadaşlarının önermiş olduğu 5 katmanlı mimari modelde ise genel amaçlı olmasına rağmen özel amaçlı ve dağıtık mimari yapıları kapsamamakta ve özel amaçlı uygulama alanları için yeni bir dağıtık veya dağıtık olmayan model geliştirme ihtiyacı duyulmaktadır [6].

Nuno Vasco Lopes ve arkadaşlarının engellilere yardımcı olmak için geliştirdikleri bir mimari model belirli bir amaca hizmet ettiği için genel amaçlı veya temel olarak kabul edilecek bir mimari model değildir. Bu mimari yapılarda olan eksikliklerin giderilmesi ve geniş bir ağ olan IoT’nin daha iyi anlaşılması ve teknolojik uygulama alanına dönüşebilmesi için yeni bir mimari model önerisinde bulunulmuştur.

Birinci bölümde IoT kavramının doğuşu, bu konuda yapılan çalışmalar ve eksiklikleri anlatılıp önerdiğimiz mimari model tanıtılmıştır. İkinci bölümde IoT hakkında genel bilgiler anlatılmış olup, IoT ölçütleri ve önerilmiş mimari modeller ile ilgili literatür taraması anlatılmıştır. Üçüncü bölümde problem tanıtımı ve çözüme odaklanılan noktalar anlatılmış, önerilen mimari model açıklanmış, diğer mimari modeller ile karşılaştırma yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise sonuçlar açıklanıp, gelecek çalışmalar ile ilgili bilgi verilmiştir.

2. NESNELERİN İNTERNETİ (INTERNET OF THINGS)

1990 yıllarından günümüze kadar kavramsal ve teknolojik olarak gelişen IoT, ITU (International Telecommunication Union) tarafından yapılan tanımıyla; herhangi bir zamanda herhangi bir yerde her nesnenin/cihazın birbirine bağlanabileceği bir teknolojidir. IoT hemen her alanda kullanılabilir olup bütün bu kullanım alanlarından gelen verileri gözleme, analiz ve kontrol imkânı tanır. Günümüzde IoT ev uygulamaları, tarım, sağlık hizmetleri, ulaşım, endüstri, alışveriş, eğitim ve araçlarda kullanılan akıllı uygulamaları kapsamaktadır. Bu sistemlerin adreslenebilir ve internet ortamına bağlanabilir olması halinde akıllı bir çevre oluşturulmuş olacaktır. Örnek olarak Avrupa Birliği destekli COMPOSE ve BUTLER projeleri gösterilebilir. Bu projeler akıllı çevre yaratma yolunda atılmış ilk adımlar olarak kabul edilmektedir [2],[3],[7],[8].



Şekil 1. IoT'nin temel yapısı (Basic IoT system) [14].

Şekil 1'de IoT'nin genel mimari yapısının nasıl olduğu gösterilmektedir. Nesnelerin interneti, fiziksel nesnelerin internet ortamına bağlanmasıyla oluşan, algılayıcılar, harekete geçiriciler, ağ ve uygulama kısımlarından oluşan sistem bütünüdür. Sistemde algılayıcıların yanı sıra harekete geçiricilerin olması sistemin dinamikliği açısından büyük bir önem arz etmektedir. IoT genel anlamıyla temel olarak kabul görmüş bir mimari model yapısına sahip olmasa da temelinde bazı ölçütleri sağlaması kabul görmüştür. Bu ölçütler sırasıyla; güvenilirlik, heterojenlik, ölçeklenebilirlik, birlikte çalışabilirlik ve güvenlik/gizlilik ölçütleridir.

Kullanılabilirlik (Availability): IoT Kullanıcıya her zaman ve her yerde servis hizmeti sunabilmelidir. Uygulamalar aynı anda farklı mekânlarda bulunan çok fazla sayıda farklı kullanıcıya hizmet verme yeteneğine sahip olmalıdır. IPv6, 6LowPAN, RPL, CoAP gibi protokoller ile kullanılabilirlik çerçevesi genişletilir. Bu durum IoT'nin fonksiyonel bir yapıya sahip olduğunun da göstergesidir [3].

Güvenilirlik (Reliability): Bir nesneden diğer bir nesneye verinin tam anlamıyla iletildiğinde emin olunması veya gönderici ile alıcı nesnelerinde olan verilerin tutarlılığıdır. Güvenilirlik IoT ortamına bağlanan nesnelerin/cihazların ve tüm sistemin doğru ve akıcı bir biçimde işlenmesini, servislerin iletişimde oluşabilecek gecikme ve hataları azaltmayı amaçlar. Ağa bağlı bir nesnenin hata vermesi durumunda bir diğer nesnenin bu hatayı giderebilmesi ve oluşabilecek veri kaybını önlemeli ve karar sürecinin uzamasına veya hatalı

sonuçların elde edilmesine engel olmalıdır. Bu olası hata durumlarını önceden tahmin edilip, Markov Zinciri veya daha farklı metotlar ve algoritmalar yardımı ile önlenmeli ve verinin alıcı nesneye sağlıklı bir biçimde ulaştırılması sağlanmalıdır [9].

Taşınabilirlik (Mobility): Birçok servis mobil/hareketli kullanıcı veya nesneye hizmet vermek durumundadır. Sürekli bir biçimde kullanıcı veya nesne ile bağlantı halinde olmak ve veri iletişimini gerçekleştirmek son derece önemlidir. Bir ağdan diğer bir ağa geçiş sırasında servis kesintileri meydana gelmektedir. Bu noktada Frieder Ganz ve arkadaşları önbelleğe alma ve tünelleme (caching and tunneling) modlarının kullanılacağı bir model önerisinde bulunmuşlardır [10]. Bu method yardımı ile veriler önce önbelleğe alınır ve geçici bir servis kesintisi durumunda veri iletiminin kesintisiz veri iletimi amaçlanmıştır.

Ölçeklenebilirlik (Scalability): Büyük, karmaşık ve farklı platformların bulunduğu heterojen bir ağ sisteminde ölçeklemenin yapılması kaçınılmazdır. Bu nedenle Chayan Sarkar ve arkadaşları önerdikleri mimari modelde IoT Daemon adını verdikleri bir yapı kullanmayı öngördüler. Bu yapı üç katmandan oluşmakta ve farklı platformlardan gelen verileri ve servis isteklerini tek bir formata dönüştürecek olan yapıdır [11].

Heterojenlik (Heterogeneity): Çok sayıda farklı teknolojik altyapı kullanan nesnenin bağlı olduğu bir ağda heterojenlik probleminin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu nedenle kurulacak olan sistemin platform bağımsız olması gerekmektedir. Bu nedenle ölçeklenebilirlik ve heterojenlik ölçütleri bir bütün olarak değerlendirilebilir.

Birlikte çalışabilirlik (Interoperability): IoT'deki gelişmeler yazılım ve donanım geliştiricileri için temel bir konu olmuştur. Çünkü yapılacak olan uygulama veya üretilen donanımların platform bağımsız olabilmesi gerekmektedir. Bu sayede farklı mimari yapılar sahip nesnelere ve farklı dil veya teknolojik altyapıya sahip uygulamalar aynı platformda çalışabileceklerdir. Örneğin; WiFi, NFC ve GSM operatörleri platform bağımsız olarak çalışmaktadırlar. Sonuç olarak birlikte çalışabilirlik IoT'nin en önemli ve ayrılmaz ölçütlerinden biridir [3].

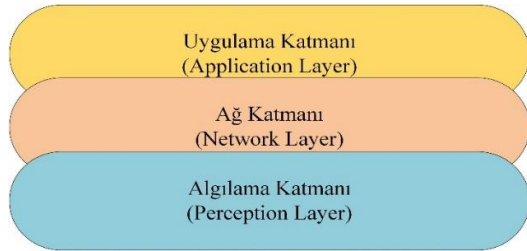
Güvenlik/Gizlilik (Security/Privacy): Kablolu veya kablosuz ağlarda veri iletimi ve veri güvenliği/gizliliği sağlıklı ve verimli olmak

zorundadır. Ancak IoT geliştirmekte olan bir yapı olduğundan halen güvenlik/gizlilik konusunda eksiklikleri bulunmaktadır. Diğer birçok ölçüt laboratuvar ortamına aktarılmış olmasına rağmen güvenlik / gizlilik ölçütü benzetim aşamasında kalmıştır. Yine noktada da temel veya referans kabul edilen bir mimari modelin eksikliği görülmektedir.

Performans (Performance): Binlerce nesnenin ve birden fazla sayıda platform ve teknolojinin birbirine bağlandığı IoT’de performans ölçütü üzerinde yoğunlaşmak gerekmektedir. Çünkü sistemin her bir parçasının performansı sistemi etkileyecektir. Bu nedenle yeni bir mimari model önerisiyle bu teknolojik altyapı farklılıklarından ve nesnelere kaynaklanan problemlerin mimari yapıyı etkilememesi amaçlanmıştır [3].

Literatürde IoT için mimari model önerisinde bulunan birçok çalışma vardır. Bu model havuzundaki çalışmaların genel amaçlı temel dört mimariyi açıklayıp diğer önerilmiş mimari modellere de değinmek gerekir.

2.1. Üç Katmanlı Mimari (Three Layered Architecture)



Şekil 2. Üç katmanlı mimari model (Three-layered architecture model)

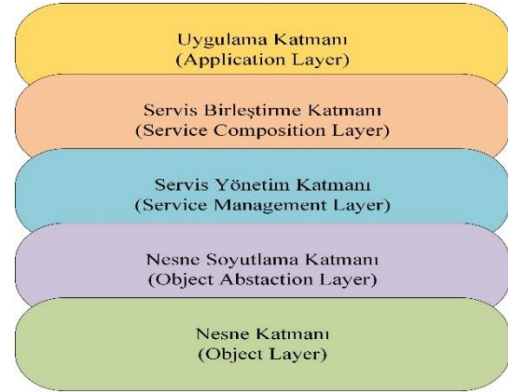
Nesnelerin İnterneti mimari modellerinden genel amaçlı olarak temel kabul edilen mimari yapılardan birisidir. Üç katmandan oluşan bu modelde katmanlar sırasıyla;

Algılama katmanı (Perception layer): Bu katman nesnelerin internetinin duyu organları olarak kabul edilir. Veri toplama ve nesnelerin algılandığı katman olarak özetlenebilir. RFID, ZigBee ve NFC gibi protokoller bu katmanda kullanılır [12].

Ağ katmanı (Network layer): Temel olarak veri iletimi ve veri işleminin gerçekleştiği katmandır. Sistemin beyin kısmı da denebilir. Algılama katmanından gelen verileri işler ve bir üst katmana iletir. IPv6, LowPAN, UDP, ICMP gibi protokoller ise bu katmanda kullanılmaktadır [12].

Uygulama katmanı (Application layer): Diğer iki katmanı tamamlayıcı katmandır. Verilerin kullanılabilir ve sonuçlarının gözlemlenebildiği katmandır. Uygulama katmanında CoAP protokolü kullanılır [12].

2.2. Servis Odaklı Mimari (SOA) Tabanlı Mimari (SOA Based Architecture)



Şekil 3. SOA tabanlı mimari model (SOA based architecture model)

Servis odaklı mimari (Service-Oriented Architecture - SOA) tabanlı mimari temelinde 5 katmandan oluşur. Bu katmanları inceleyecek olursak;

Nesne katmanı (Object layer): Bu katman mimari yapının ilk katmanıdır ve fiziksel işlemlerin gerçekleştiği, algılayıcılardan verinin toplandığı, tahminlerin yapıldığı katmandır. Analog olarak alınan veriler bu katmanda dijital sinyallere dönüştürülerek bir sonraki katmanda kullanılabilir hale getirilip iletilir. Algılayıcı ve veri toplayıcıların koordineli olarak çalıştığı bu katman Nesnelerin İnternetinde ayrıca bir öneme sahiptir. Bunun nedeni büyük veri kümelerinin ya da büyük verilerin bu katmanda oluşmaya başlamasıdır [5].

Nesne soyutlama katmanı (Object abstraction layer): Servis yönetim katmanı için verilerin çeşitli kanallara yönlendirildiği katmandır. GSM, WiFi, 3G, ZigBee gibi çeşitli teknolojilerde kullanılacak verilerin dönüşümünün de gerçekleştiği katmandır. Veri yönetimi ve bulut bilişim (Cloud Computing)’de bu katmanda karşımıza çıkmaktadır [5].

Servis yönetim katmanı (Service management layer): Adres ve toplanan verilerin isimlerinin istemciden gelen isteğe bağlı olarak bir servis yardımıyla karşılaştırıldığı katmandır. Kısaca bu katman verileri alır, işler, karar verir ve istemciye

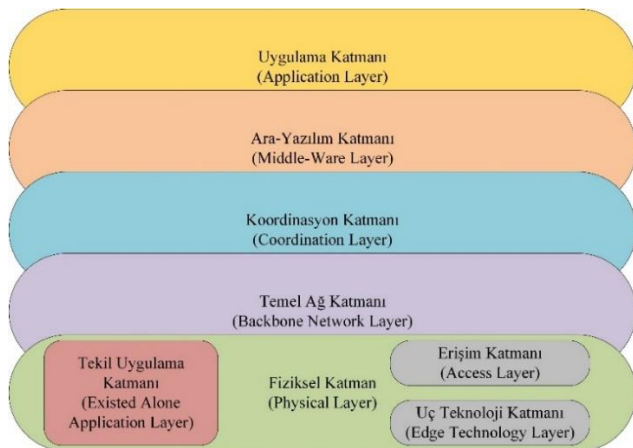
görmek üzere servis birleştirme katmanına yönlendirir [5].

Servis birleştirme katmanı (Service composition layer): Servis katmanlı mimari yapıların hemen hepsinde bulunan bu katmanda nesne notasyonu olmayıp gelen veri kümeleri ve servis yönetimindeki servisleri birleştirerek toplu bir hizmet sunan katmandır. Ayrıca bu katmanda birlikte bir anlam taşıyan servisler birden fazla uygulama için kullanılabilir.

Uygulama katmanı (Application layer): Mimari yapının en üst kısmını oluşturan bu katman, bütün işlenmiş veriyi kullanıcıya sunan ve kullanılmasına imkân veren katmandır.

2.3. Ara-Yazılım Tabanlı Mimari (Middle-Ware Based Architecture)

Lu Tan ve Neng Wang tarafından 2010 yılında geliştirilen mimari model 7 katmandan oluşur [3], [4]. Bu katmanlar sırasıyla şu şekildedir;



Şekil 4. Ara-Yazılım tabanlı mimari model (Middle-Ware based architecture model)

Uygulama katmanı (Application layer): Kullanıcının veri erişimi yapabildiği ve veriler üzerinden işlemler yaparak gözlemleyebildiği katmandır.

Ara-Yazılım katmanı (Middle-Ware layer): Yazılımsal bir katman olup teknoloji ve uygulamalar arasındaki iletişimi gerçekleştiren, teknolojik altyapı farklılıklarını ortadan kaldıran, alt katmanlardan gelen verileri anlamlı hale getiren katmandır. Son yıllarda giderek önemi artan bu katman SOA ilkeleriyle bağdaşmaktadır. Yeni eklenen nesnelerin sisteme kolay entegre edilmesi ve çalışmasını sağlar.

Koordinasyon katmanı (Coordination layer): Ağ katmanından gelen verilerin mantıklı bir bütün oluşturabilmesi için verilerin işlenip anlamlı hale

getirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle ortak katmanda gerçekleştirilecek işlemler için verilerin yazılımsal altyapıya uygun hale getirildiği katmandır.

Temel ağ katmanı (Backbone network layer): Veri iletiminin genel anlamıyla taşındığı katman olup IPv6, LowPAN, UDP, ICMP gibi protokollerin de kullanıldığı katmandır [4].

Tekil uygulama katmanı (Existed alone application layer): Bu katman tekli uygulamalar veya iki nesne arası haberleşmede kendini sürdürebilir bir bağın olmasını amaçlayan katmandır. Diğer mimari yapılardan ayıran farklarından biri de budur. Bu mimari modelde kısmen olan bu sistem bizim önerdiğimiz mimari modelde tüm nesnelere desteklemek üzere tasarlanmıştır.

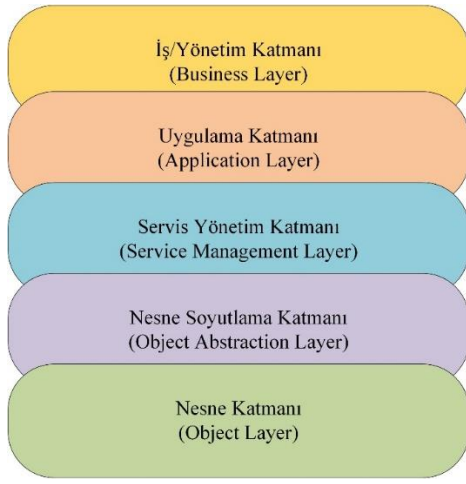
Erişim katmanı (Access layer): Son teknoloji katmanından gelen verilerin temel ağ katmanına iletilmesi için kanallara yönlendirildiği katmandır. Burada verilere erişim son teknoloji katmanındaki veri algılama teknolojisine bağlı olarak değişmektedir.

Uç teknoloji katmanı (Edge technology layer): Daha çok tak çalıştır (Plug and Play) mantığına dayalı bu katmanda verilerin algılanması, hesaplanması ve iletme uygun hale getirilmesi yönüyle 3 katmanlı (3-Layered Architecture) [12] mimarinin algılama katmanı (Perception Layer) benzerlik göstermektedir.

2.4. Beş Katmanlı Mimari (Five Layered Architecture)

Nesnelerin İnterneti mimari yapılarının içinde en çok bahsedilen ve genel anlamıyla en temel kabul edilen mimari yapıdır.

ITU (International Telecommunication Union) tarafından geliştirilmiş bir mimari modeldir [13]. Temelinde beş katmandan oluşan bu mimari yapıyı diğerlerinden ayıran en önemli özelliği ise en üstte bir yönetim katmanının bulunmasıdır. Bu katmanda (Business Layer) diğer katmanlarda meydana gelen aksaklıklar veya yönlendirmelere müdahale edilebilir ve hatalar bir yönetici olarak giderilebilir. Bu katmanın bir diğer ayırt edici özelliği ise işlem süreçlerinin ve işlemlerin gözlemlenebilir olmasıdır.



Şekil 5. Beş katmanlı mimari model (Five-layered architecture model)

Nesne katmanı (Object layer): Algılama katmanı olarak tanımlanabilir. Diğer mimari modellerde olduğu gibi ısı, sıcaklık, hız, titreşim gibi fiziksel veya analog verilerin algılandığı ve ilk işlendiği katmandır. Önceki mimari modellerde bahsettiğimiz gibi Nesnelerin İnterneti için büyük verilerin (Big Data) [3] oluştuğu katman bu katmandır.

Nesne soyutlama katmanı (Object abstraction layer): Nesne katmanından gelen verilerin dönüştürülerek servis yönetimi katmanına gönderilmek üzere kanallara yönlendiren katmandır. Kısaca Kızılötesi, Bluetooth Low Energy, WiFi gibi çeşitli teknolojilerde kullanılmak üzere dönüştürür. Bulut Bilişim (Cloud Computing) ve veri yönetimi işlemleri bu katmanda gerçekleşir [3].

Servis yönetimi katmanı (Service management layer): Middle-Ware Based [3],[12] mimarisindeki servis yönetimi katmanında olduğu gibi adres ve toplanan verilerin isimlerinin istemciden gelen isteğe bağlı olarak bir servis yardımıyla karşılaştırıldığı katmandır. Verileri alınır, işlenir ve uygulama katmanına yönlendirir [3].

Uygulama katmanı (Application layer): Kullanıcıya verilerin anlaşılabilir bir halde sunulduğu katmandır. En önemli özelliği kullanıcılara istedikleri gibi verilerin gösterilebileceği uygulama ve ortamların olmasıdır. Akıllı evler, akıllı taşımacılık, akıllı tarım uygulamaları gibi [3].

İş / yönetim katmanı (Business layer): Diğer dört katmanı da kontrol eden tek katmandır. Yönetim ve gerektiğinde yönlendirilmelerin yapılabildiği bu katmanda her katmanın çıktısı karşılaştırılır ve sistemin doğru bir biçimde işleyişini sağlar. Sistemdeki büyük veri

kümelerinin analizi, işlenmesini ve karar vermesini mümkün kılar [6], [14].

2.5. Diğer Önerilmiş Mimari Modeller (Other Proposed Architectures)

2.5.1. Beş katmanlı mimari model (Five-layered architecture model)

Kenar teknoloji, erişim geçidi, internet, ara yazılım, uygulama katmanlarından oluşur. Furness tarafından geliştirilmiş bir mimari modeldir. Algılama teknolojisi olarak RFID kullanma mantığına dayalı bir mimari modeldir [15].

2.5.2. Altı katmanlı mimari model (Six-layered architecture model)

Kodlama, bilgi toplama, bilgi erişimi, ağ, bilgi birleştirme, uygulama katmanlarından bu mimari model 2012 yılında X. Cheng ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş bir modeldir [16].

2.5.3. Dört katmanlı mimari model (Four-layered architecture model)

Cihaz, ağ, servis, uygulama katmanlarından oluşan bu mimari model P. Furtado NV. Lopes ve arkadaşları tarafından engellilere yardımcı olabilmek adına geliştirdiği mimari modeldir [17].

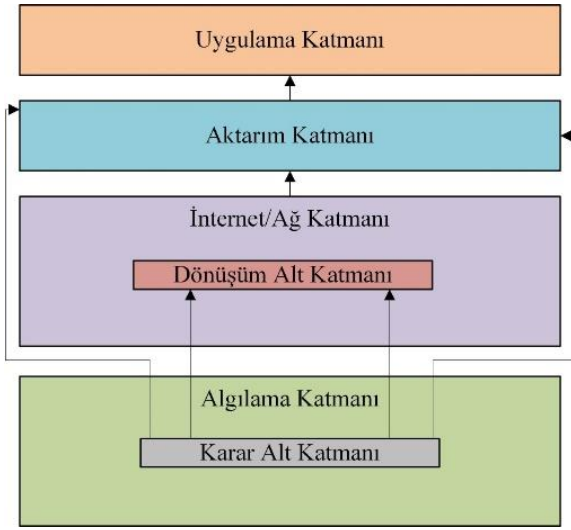
Bu mimari modeller gibi çok sayıda önerilmiş mimari model bulunmaktadır. Önerilmiş mimari model havuzunda bulunan modellerin temel olmayan ancak genel olarak kabul görmüş dört modeli ve literatürde adı sıkça geçen diğer mimari modeller açıklanmıştır. Önerilen modeller açıklanırken bütün eksiklikler ve referans bir mimari modelin olmamasından dolayı yeni bir model önerisinde bulunulmuştur.

3. ÖNERİLEN MİMARİ MODEL (SUGGESTED ARCHITECTURE MODEL)

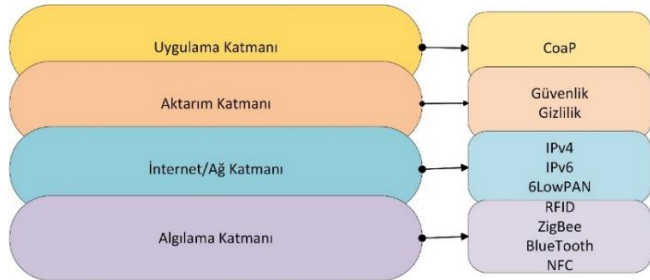
Bu çalışmada, literatürde geçen tüm mimari modeller taranıp genel amaçlı olan mimari modeller listelenmiştir. Önerilen mimari modeller havuzunda bulunan mimari yapılar içerisinde henüz bir temel veya referans model olacak kadar kapsamlı bir yapı bulunmadığından, referans model olabilecek yeni, katmanlı ve geniş teknolojik altyapı kullanabilen bir mimari model ihtiyacı doğmuştur.

Önerilen mimari model 4 katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar sırasıyla; algılama

katmanı, internet/ağ katmanı, aktarım katmanı ve uygulama katmanlarından oluşur. Katmanlar, katmanlarda gerçekleşen veri iletimi ve bu katmanlarda kullanılacak protokoller Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 6. Önerilen mimari modelin katmanlı yapısı (The layered structure of proposed architecture model)



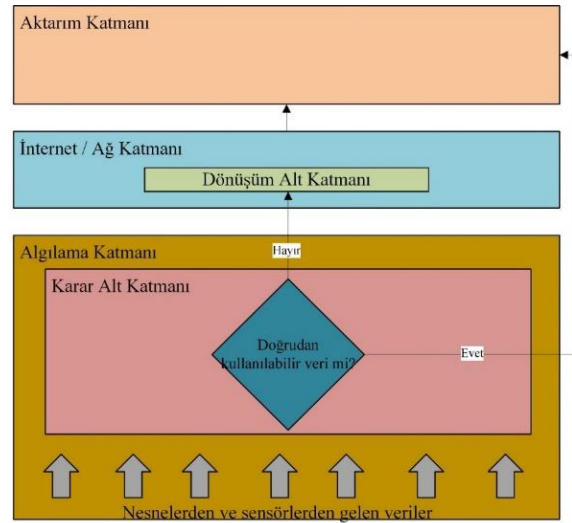
Şekil 7. Katmanlar ve protokol yığın yapısı (Structure of layers and stack of protocols)

Şekil 7’de önerilen mimari modelin protokol yığın yapısı gösterilmiştir. Önerilen modelin en önemli farklarından bazıları, karar alt katmanı (KAK) ve dönüşüm alt katmanlarının olmasıdır. Bu alt katmanlar sayesinde toplanan veriler analiz edilerek internet/ağ katmanına iletilir. İnternet/ağ katmanına gelen istekler ve veriler dönüşüm alt katmanı yardımı ile bilimli bir formata dönüştürülür ve aktarım katmanına iletilir. Buradaki amaç veri iletimini sağlıklı hale getirip güvenilirliğini arttırmak ve daha hızlı veri iletişimi ve kullanıcılara daha etkin hizmet sunulmasıdır.

Algılama katmanı (Perception layer): Bu katman algılayıcı ve harekete geçiricilerden (actuators) oluşmaktadır. Bu katmanda algılayıcılardan toplanan veriler sıralanır ve bir üst katman olan internet / ağ katmanının dönüşüm alt katmanına gönderilir. Algılama katmanında

BlueTooth, ZigBee, NFC algılayıcıları, RFID etiketleri bulunur, veri toplama ve analiz işini yapar. Büyük veri kümelerinin oluşması ve büyük verilerin işlenmesi ilk olarak bu katmanda başlar. Yine algılama katmanında bulunan harekete geçiriciler yardımı ile anlık cevap verilmesi ve eylemin tamamlanabilmesini sağlar. Örneğin; yangın çıkması halinde duman, ısı ve sıcaklık algılayıcılarından gelen veriler değerlendirilerek anında müdahale edilmesi gerekirse harekete geçiriciler uyarılır ve müdahale gerçekleştirilir.

Karar alt katmanı (Decision sub layer): Algılayıcılardan toplanan verilerin analizi yapılarak, bazı uygulamalarda doğrudan kullanılabilir olmasından dolayı dönüşüm alt katmanına uğramadan direkt olarak ulaşım katmanına iletilerek veri trafiğine neden olmadan bu verilerin uygulamalarda kullanılmasını sağlar. Örneğin ısı, sıcaklık, basınç algılayıcılarından gelen verilerin dönüşüme ihtiyacı olmadığından, doğrudan ulaşım katmanına iletilir. Şekil 8’de karar alt katmanının yapısı ve çalışma biçimi gösterilmiştir.

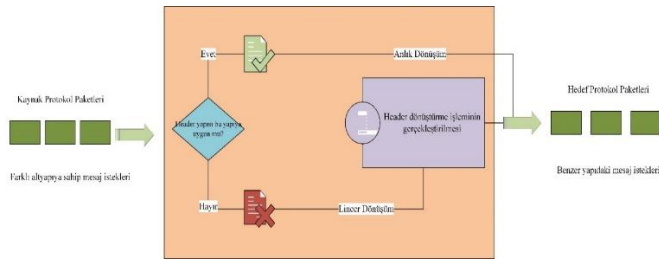


Şekil 8. Karar alt katmanı yapısı (structure of decision sub layer)

İnternet / Ağ katmanı (Internet / Network layer): İnternet / Ağ katmanı farklı ağ yapısına, platform veya teknolojik alt yapıya sahip nesnelere gelen verilerin düğümler arası veya nesnelere arası iletiminin gerçekleştirildiği katmandır. Önerilen modelde internet/ağ katmanında diğerlerinden farklı olarak dönüşüm alt katmanı bulunmaktadır. IPv6, 6LowPAN, Physical Radio gibi protokoller internet/ağ katmanında kullanılır.

Dönüşüm alt katmanı (Transform sub layer):

Algılayıcılardan ve harekete geçiricilerden gelen istek mesajlarının yönlendirilmesinden sorumlu merkez konumundadır. Farklı uygulamalardan gelen mesaj isteklerinin ve veri paketlerinin (farklı yapı / boyuttaki isteklerin) dönüştürülmesi dönüşüm alt katmanında gerçekleştirilmektedir. Gelen istek mesajının header kısmına bakan dönüşüm alt katmanı, onaylanabilir bir yapıda olması halinde doğrudan iletip, farklı bir yapıda ise uygun bir formata dönüştürme işlemini gerçekleştirir. Bu işlemdeki amaç farklı altyapıdan gelen mesaj isteklerindeki farklılıkları ortadan kaldırmaktır. Bu sayede istem dışı bir isteğin veya bir saldırının da önüne geçilmiş olur ki bu da güvenlik aşamasında yapılacak işlemleri kolaylaştırır. Dönüşüm alt katmanının yapısı ve veri iletim biçimi şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 9. Dönüşüm alt katmanının yapısı (Structure of decision sub layer)

Aktarım katmanı (Transport layer): Gelen mesaj istekleri ve verilerin sağlıklı bir biçimde güvenilirlik (reliability) ilkesini temel alarak aktarıldığı katmandır. Güvenlik/Gizlilik (Security/Privacy), güvenilirlik (reliability), ölçeklenebilirlik (scalability) ve heterojenlik (heterogeneity) ölçütlerinin sağlanması için gerekli tüm işlemlerin gerçekleştirildiği katmandır. Ayrıca servis kalite kuralları (Quality of Service - QoS) uygulanır [18].

Uygulama katmanı (Application layer): Bütün cihazlardan ve veri toplayan algılayıcılardan gelen verilerin işlenmiş ve anlaşılabilir hale getirilip son kullanıcıya sunulduğu yazılımsal katmandır. Uygulama katmanında gerçek veriler görüntülenir ve görülebilir sonuçlardan değerlendirmeler yapılır. Bu değerlendirmeler sonucu sisteme yeni entegrasyonların yapılıp yapılmamasına veya mevcut yapıların güncellenmesine karar vermekte yardımcı olur. Ancak uygulama katmanını algılama katmanındaki KAK gibi verileri aldığı andan itibaren değil, işlenmiş verilerin sonuçlarını gözlemleyerek yeni güncelleştirmeler veya eklemeler yapmayı sunar.

Kullanım alanları: Önerilen mimari modelin akıllı ev, işyeri, şehir ve okul uygulamaları gibi sosyal alanlarda, doğal afet erken uyarı sistemleri uygulamaları ve endüstriyel uygulamalar gibi ekonomik ve yaşamsal öneme sahip alan ve durumlarda, akıllı sağlık uygulamaları, akıllı araç, haberleşme ve yol uygulamaları gibi iletişim ve ulaşım alanlarında kullanılması amaç edinilerek önerilmiştir.

Önerilen modelin diğer modellerden farkı da ağ katmanında ICMP, ARP, IP gibi protokoller kullanılarak doğru bir routing işleminin gerçekleştirilmesidir. Klasik ağ yapılarında mantıksal adresleme yapılarak gönderilen her paketin header kısmına adres bilgileri eklenir, son paketin header kısmına ise gönderilen verinin kaç paketten oluştuğu gibi bazı sayısal veya istatistiksel veriler eklenir. Önerilen mimari modelde ise bunların yanı sıra farklı uygulamalardan gelen mesaj isteklerinin tek bir formata dönüştürülerek adresleme işlemlerinin kolay ve doğru yapılabilmesi, farklı mesaj isteklerinin her uygulamada kullanılabilmesi amaçlanmıştır. Önerilen mimari modelin diğer mimari modellerle karşılaştırılması Tablo 1’de verilmiş olup, öne çıkan ölçütler ise şunlardır;

Akıllı kontrol: Önerilen mimari modelde nesnelere veya algılayıcılardan doğrudan gelen mesaj isteklerinin yönlendirilip veri iletim hızının artırılması sağlanır. Ayrıca bazı nesnelere gelen verilerin uygulamalarda herhangi bir dönüştürme işlemine ihtiyaç duyulmadan kullanılması gerekebilir. Bu tür veriler dönüştürme işlemine tabi tutulmadan iletilirler. Bu yönlendirme işlemlerinin gerçekleşmesi için akıllı bir karar mekanizmasının olması gerektirir ki bu noktada KAK devreye girmiş olacaktır. KAK sisteme akıllı bir kontrol mekanizması kazandırmış olur.

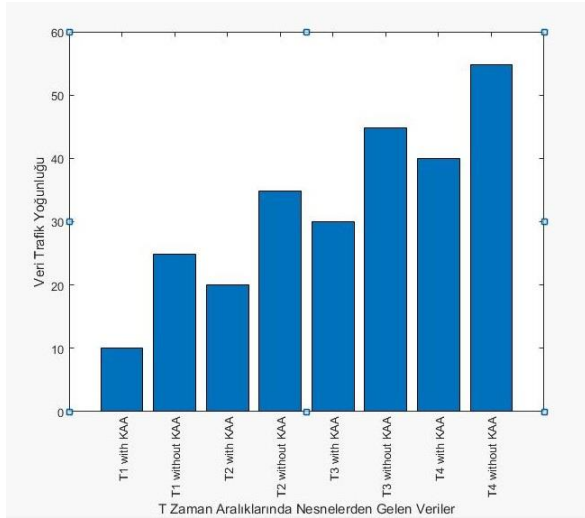
Dinamiklik: Önerilen mimari modelin dinamik bir yapıda olması, herhangi bir hata veya yeni donanım / nesnelere algılanmasında meydana gelebilecek sorunlar veya veri iletiminde oluşabilecek problemler karşısında müdahale edilebilir / değiştirilebilir bir yapıya sahip olmasıdır. Ayrıca önerilen mimari modelde veriler üzerinde işlemlerin daha fiziksel katmanda başlaması sistemin temelden dinamik bir yapıya sahip olduğunu da göstermektedir.

Tablo 1: Önerilen mimari modelin diğer mimari modellerle karşılaştırılması

Ölçütler	Beş- Katmanlı SOA Tabanlı	Ara Yaz. Tabanlı Üç-Katmanlı	Önerilen Mimari
Güvenilirlik	✓	✓	✓
Heterojenlik	✓	✓	✓
Ölçeklenebilirlik	✓	✓	✓
Birlikte çalışabilirlik	✓	✓	✓
Güvenlik / Gizlilik	✓	✓	✓
Dinamiklik	✓	✗	✓
Smart Control	✗	✗	✓

4. SONUÇ (CONCLUSION)

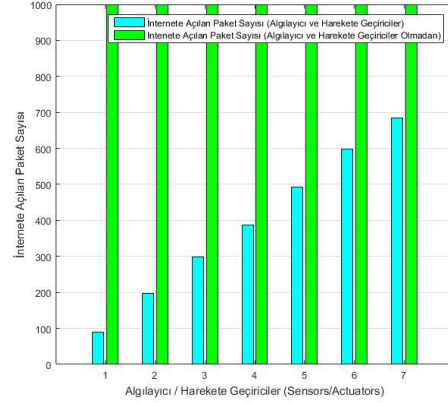
IoT hakkında genel bilgiler verilmiş olup çoklu nesne bağlantılarında veri iletişimi ve nesne tanıma/tanımlama ile ilgili sorunların oluşabileceği ile ilgili noktalara değinilmiş ve temel veya referans olabilecek mimari bir modelin olmamasından dolayı akıllı kontrol ve dinamik bir yapıya sahip katmanlı bir mimari model önerisinde bulunulmuştur. Önerilen bütün mimari modellerde herhangi bir benzetim veya matematiksel bir karşılaştırma yapılmamıştır.



Şekil 10. T zaman aralığında ağdaki veri yoğunluğu (Data density at T time periods)

Şekil 10'da Matlab ortamında gerçekleştirilen algılama katmanı bulunan karar alt katmanının benzetiminde normal bir ağ ve önerilen mimari model kullanılan ağdaki veri yoğunluğu gösterilmiştir. Buna göre T zaman aralıklarında algılayıcılardan alınan verilerin bir kısmı internet ortamına açılmadan harekete geçiricilere yönlendirilerek internete açılan paket sayısında ciddi bir oranda azalma gözlemlenmiş ve veri trafiğinde ciddi bir azalma görülmüştür. Burada veri paketlerindeki azalmalar kayıp değil

paketlerin harekete geçiricilere yönlendirilmesinden kaynaklanmaktadır. Karar alt katmanında algılayıcılardan gelen veriler analiz edilerek internet ortamına aktarılacak veriler aktarılır ve kalan diğer paketler internet ortamına aktarılmadan harekete geçiricilere yönlendirilerek o anda beklenen eylem aktive edilir.



Şekil 11. Algılayıcı ve harekete geçiriciler kullanıldığında ağdaki paket sayısı (Number of packages on network when sensor and actuators are used)

Şekil 11'de ise algılama katmanında bulunan algılayıcı ve harekete geçiricilerin Matlab ortamında bir benzetimi yapılmıştır. Ağ ortamına gönderilmesi gerekli olmayan verilerin internete açılmadan değerlendirilip doğrudan uygulama katmanına veya harekete geçiricilere yönlendirilmesiyle ağdaki veri trafiğini bir kez daha ciddi bir oranda azalttığı gözlemlenmiştir. Diğer önerilmiş mimari modellerde herhangi bir benzetim yapılmamasına karşın önerilen modelde algılama katmanı farklı yönleriyle simüle edilmiştir. Diğer katmanlar ve sistem bütünü benzetim çalışmaları da devam etmektedir.

Ayrıca önerilen mimari modelin yapısı, katmanları ve kullanılacak protokoller açıklanmıştır. Önerilen mimari modelde veri iletiminin hızlı ve etkili olabilmesi ve veri trafiğinde herhangi bir aksaklığın yaşanmaması için katmanlarda bulunan alt katmanlarda veriler uygun bir şekilde yönlendirilip bir üst katmana iletilir ve bir üst katmanda bulunan alt katmanda belirli bir formata dönüştürülerek hem veri iletimindeki aksaklıklar giderilmeye çalışılmıştır. Bu yönüyle önerilen mimari model diğer mimari modellerden daha farklı bir yapıya sahip olup hem veri iletimi hem de platform problemleri göz önüne alınmıştır. Diğer önerilmiş mimari modellerde bu durumlar göz önüne alınmadığı gibi veri iletimi konusuna da değinilmemiştir. Bu yönüyle de diğer önerilmiş mimari modellerden farklı ve daha etkili çözümler

getirmiş ve literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Gelecekte önerilen mimari modelin veri trafiği yükünü azaltmak, farklı teknolojilere ait nesnelerin ve farklı platformlardan kaynaklanan problemlerin minimize edilebilmesi için yeni protokollerin yazılması ve/veya kullanılacak protokollerde mevcut bulunan algoritmik yapılarının güncellenmesi, kullanılacak protokollerin ve alt katmanlardaki veri iletiminin bilgisayar ortamındaki benzetimlerinin yapılması ve sayısız adreslenebilir kablolu ve kablosuz nesneden oluşan sistem bütününde özellikle kablosuz nesnelerin haberleşmesinde meydana gelecek olan spektrum yetersizliği problemi giderilmeye yönelik çalışmaların yapılması planlanmaktadır. Son olarak gelecek çalışmalarda nano nesnelerin interneti (Internet of Nano Things) ve uzak nesnelerin interneti (Internet of Remote Things) üzerine çalışmaların yapılması da düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] <https://www.cl.cam.ac.uk/coffee/qsf/coffee> Erişim tarihi: 04.11.2016
- [2] <https://romkey.com> – Erişim tarihi: 04.11.2016
- [3] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, M. Ayyash, “Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications,” *IEEE Communication surveys & tutorials vol. 17, No 4, fourth quarter, pp. 2347-2376, 2015.*
- [4] D. Evans, “The Internet of things: How the next evolution of the Internet is changing everything,” *CISCO, San Jose, CA, USA, White Paper, 2011.*
- [5] J. Gantz, and D. Reinsel, “The digital universe in 2020: Big data, bigger digital shadows, and biggest growth in the far east,” *IDC iView: IDC Anal. Future, vol. 2007, pp. 1–16, Dec. 2012.*
- [6] S. Taylor, “The next generation of the Internet revolutionizing the way we work, live, play, and learn,” *CISCO, San Francisco, CA, USA, CISCO Point of View, 2013.*
- [7] <http://www.compose-project.eu> – Erişim tarihi: 15.11.2016
- [8] <http://www.iot-butler.eu/> - Erişim tarihi: 15.11.2016
- [9] D. Macedo, I. Silva, “A dependability evaluation for internet of things incorporating redundancy aspects,” *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, pp. 417 - 422, 2014.*
- [10] F. Ganz, P. Barnaghi, H. Hiroaki, “A Resource Mobility Scheme for Service-Continuity in the Internet of Things,” *IEEE International Conference on Green Computing and Communications, pp. 261-264, 2012.*
- [11] C. Sarkar et al. "DIAT: A Scalable Distributed Architecture for IoT," *IEEE Internet of Things Journal, pp. 230 - 239, 2015.*
- [12] Z. Yang, Y. Peng, Y. Yue, X. Wang, Y. Yang, and W. Liu, “Study and application on the architecture and key Technologies for IoT,” *978-1-61284-774-0/11/\$26.00 IEEE, pp. 747-751, 2011.*
- [13] “Principles for a Telecommunications Management Network, Telecommunication Standardization Sector of ITU,” *ITU, ITU-T Recommendation M.3010, pp. 15-19.*
- [14] R. Khan, S. U. Khan, R. Zaheer, and S. Khan, “Future Internet: The Internet of Things architecture, possible applications and key challenges,” *in Proc. 10th Int. Conf. FIT, pp. 257–260, 2012.*
- [15] Furness A, CASAGRAS and the Internet of Things, <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4461/2>, 2008. Erişim tarihi: 16.15.2016
- [16] M. Zhang, X. Cheng, F. Sun, “Architecture of internet of things and its key technology integration based-on RFID,” *IEEE Fifth International Symposium on Computational Intelligence and Design, pp. 294-297, 2012.*
- [17] N. V. Lopes, P. Furtado, F. Pinto, J. Silva, “IoT Architecture proposal for disabled people,” *IEEE, 2014 Third International Workshop on Internet of Things (IoT) Communications and Technologies, pp. 152-158, 2014.*
- [18] Bozdoğan Z, “Nesnelerin interneti için mimari tasarımı”, *Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2015.*

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Gelis/Received</u> 03-05-2017 <u>Kabul/Accepted</u> 29-08-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.310240	

Hata bulma yöntemlerinin yanlış alarm oranları

Yusuf Sevim^{*1}

ÖZ

Bu çalışma bağımsız bileşen analiz (BBA) ve temel bileşen analiz (TBA) algoritmalarının Tennessee Eastman (TE) süreci üzerindeki hata bulma ve yanlış alarm oranları (YAO) üzerine yoğunlaşmaktadır. TBA ve ICA algoritmaları, veri tabanlı hata bulmak için oldukça fazla uygulanmalarına rağmen, algoritmaların YAO üzerine sınırlı çalışma vardır. Bu çalışmada, algoritmaların YAO'ları TE süreci üzerinde incelenecektir. Simülasyon çalışmaları, sunulan algoritmalar hata bulmada oldukça doğruyken, YAO'ları için BBA'nın TBA'dan daha yüksek performansa sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Süreç Gözlemeleme, Hata Bulma, Bağımsız Bileşen Analiz, Temel Bileşen Analiz, T^2 istatistik

False alarm rates of fault detection methods

ABSTRACT

This study focuses on the fault detection (FD) and false alarm rates (FAR) of Principal component analysis (PCA) and independent component analysis (ICA) algorithms on the Tennessee Eastman (TE) process. However, PCA and ICA algorithms have been applied widely to systems for data driven fault detection, there are limited work on FARs of the algorithms. In this work, FARs of the algorithms are investigated on TE process. Simulation study indicates that the proposed algorithms are robust for fault detection, and ICA has higher performance than PCA for FARs.

Keywords: Process Monitoring, Fault Detection, Independent Component Analysis, Principal Component Analysis, T^2 Statistics

* Yusuf SEVİM / Corresponding Author

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, ysevim@ktu.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde, fabrika veya kimyasal üretim süreçlerinin güvenliği için süreçlerde meydana gelen hataların tespiti oldukça önem kazanmıştır. Sürecin güvenle sürdürülebilmesi için hatanın veya süreci bozan işlemin hızlı bir şekilde bulunması ve ortadan kaldırılmaları gerekmektedir. Hata tespiti için kullanılan yöntemler model tabanlı [1] ve veri tabanlı [2] olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadırlar. Veri tabanlı yöntemler model tabanlı yöntemlere göre daha basit olmalarına karşın, özellikle çapraz ilintili olan çok boyutlu çok değişkenli veriler uygulamada problem oluşturmaktadır [3]. Çok boyutlu çok değişkenli veri tabanlı süreçlerde hata bulmak için istatistiksel yöntemler kullanan pek çok algoritma geliştirilmiştir. Bu tür algoritmalara temel bileşen analiz (TBA) ve bağımsız bileşen analiz (BBA) algoritmaları örnek verilebilir [4,5]. TBA algoritmasının amacı çok değişkenli veriyi ilintisiz hale getirmek iken [6], BBA algoritmalarının amacı çok değişkenli veriyi istatistiksel olarak bağımsız hale getirmektir [7]. Literatürde en çok bilinen ve kullanılan BBA algoritması HızlıBBA algoritmasıdır. Süreç gözlemeleme uygulamalarında TBA ve BBA algoritmalarının pek çok farklı versiyonları kullanılmıştır [8-10].

TBA tabanlı çok değişkenli istatistiksel süreç gözlemeleme algoritmaları gözlemlenen tüm sinyallerin istatistiksel olarak ilintisiz olduklarını varsayarken, BBA tabanlı algoritmalar tüm verinin istatistiksel olarak birbirinden bağımsız olduğu varsaymaktadır [7,11]. Çoğu süreç için veri üzerinde yapılan bu varsayımlar doğru iken bazı süreçlerde bu varsayımlar süreçteki değişkenlerin farklı olasılık dağılımlara sahip olmalarından dolayı doğru değildir. Özellikle BBA algoritmalarında birden fazla değişken Gauss dağılıma sahip ise BBA algoritmaları bu değişkenleri birbirinden ayıramamaktadır. BBA algoritmalarında sadece bir değişkenin Gauss dağılıma sahip olmasına izin verilir [7]. Bu tür veride hata bulmak için ikinci dereceden istatistikten faydalanan, ikinci dereceden kör kaynak ayrıştırma (İDKKA) algoritmalarının kullanılması gerekir [12]. İkinci dereceden istatistik kullanan bu yöntemde Gauss dağılıma sahip sinyallerin ayrıştırılabilmesi için sinyallerin farklı spektruma sahip olmaları gerekmektedir. Hata bulma uygulamalarının çoğunda bu durum

göz ardı edilir ve süreçten elde edilen verilerin sadece belirli olasılık dağılımlarına sahip oldukları varsayılarak süreç verisine uygulanacak algoritmalar belirlenmektedir. Bu uygulama ile seçilen algoritmanın varsayımına uyan değişkenler için iyi sonuç alınır iken varsayımına uymayan değişkenlerde ise sonuçlar kötü çıkmaktadır. Bu çalışmanın katkısı süreç gözlemeleme tek bir algoritma kullanma yerine farklı algoritmalar kullanarak elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve en iyi sonuç veren algoritmanın sonuçlarının göz önünde bulundurulması süreci hakkında karar verilmesidir.

Bu yayında, ikinci dereceden ve yüksek dereceden istatistik kullanan algoritmaların hata bulma performansları farklı sinyal dağılımları için araştırılmıştır. Bunun için TBA, HızlıBBA ve İDKKA algoritmaları sinyal ayrıştırma için kullanılmış ve elde edilen ayrıştırılmış sinyaller kullanılarak algoritmaların hata bulma performansları karşılaştırılmıştır.

2. VERİ TABANLI SÜREÇ GÖZLEMELEME, HATA BULMA METOTLARI (DATA BASED PROSESS MONITORING, FAULT DETECTION METHODS)

Bu bölümde, temel süreç gözlemeleme ve hata bulma metotları incelenecektir. Aynı zamanda bu yöntemler arasında küçük farklılıklardan bahsedilecektir.

2.1. Temel Bileşen Analizi (TBA) (Principal Component Analysis (PCA))

TBA algoritması, orijinal veriye dönüşüm uygularken önemli olan değişken bilgiyi korumaktadır. TBA algoritmasının pek çok farklı alanda başarılı uygulamaları bulunmaktadır. Süreç gözlemeleme uygulaması olarak da pratikte pek çok kez kullanılmıştır [13-15]. TBA uygulamalarında $x(k) = [x_1(k) \dots x_m(k)]^T$ sıfır ortalamaya sahip, normalize edilmiş ve birim varyansa sahip bir vektör olduğu varsayılırsa, TBA algoritmasının amacı bu vektör için optimum bir lineer dönüşümü bulmak ve veriyi aşağıdaki ifade ile dönüştürmektir.

$$t(k) = P^T x(k) = [t_1(k) \dots t_m(k)]^T \quad (1)$$

bu denklemde ki t_i 'ler temel bileşenler olarak ifade edilirler ve bu temel bileşenler birbirleri ile ilintisizdirler ($PP^T = I$). P matrisinin kolon vektörleri p_i 'ler, λ_i öz değerlerine karşılık gelen öz

vektörleri temsil etmektedir. Bu öz değer ve özvektörler veri matrisi X in ilinti veya kovaryans (Σ) matrisinin öz değer ayrıştırmasına uğratılması ile aşağıdaki denklemdeki gibi elde edilir.

$$\Sigma = P\Lambda P^T \quad (2)$$

Bulunan özdeğer ve özvektör matrisleri iki bölüme ayrıştırılır. İlk bölüm muhafaza edilen süreç değişimine karşılık gelirken ikinci bölüm ihmal edilen süreç değişimine karşılık gelmektedir.

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \hat{\Lambda} & 0 \\ 0 & \tilde{\Lambda} \end{bmatrix} \quad P = [\hat{P} \mid \tilde{P}] \quad (3)$$

Aynı zamanda temel bileşen vektörü de iki parçaya bölünür.

$$t(k) = [\hat{t}(k) \mid \tilde{t}(k)]^T \quad (4)$$

Üstteki denklem daha açık bir şekilde yazılabilir.

$$\hat{t}(k) = \hat{P}^T x(k) \quad , \quad \tilde{t}(k) = \tilde{P}^T x(k) \quad (5)$$

Bu denklemlerdeki $\hat{t}(k)$ önemli süreç değişimini temsil ederken, $\tilde{t}(k)$ süreç değişkenleri arasındaki yapay boş kombinasyonu temsil eder. Üstteki ifadeyi temel olarak $x(k)$ veri vektöründe aşağıdaki denklemdeki gibi ayrıştırılabilir.

$$\begin{aligned} x(k) &= \hat{x}(k) + e(k), \quad \hat{x}(k) = \hat{C}x(k), \\ e(k) &= \tilde{C}x(k) \end{aligned} \quad (6)$$

Üstteki denklemdeki $\hat{x}(k)$ TBA modelinden elde edilen veri tahmin vektörünü temsil ederken, $e(k)$ hata vektörünü temsil etmektedir. Burada ki $\hat{C} = \hat{P}\hat{P}^T$ ve $\tilde{C} = I_m - \hat{C}$ şeklinde ifade edilirler. Bu işlem ile veri uzayı birbirine dik iki alt uzaya ayrıştırılır. Temel alt uzay, ilk $m - i$ özvektörler ile şekillendirilir iken en son i özvektörler ile kalan alt uzay şekillendirilir.

2.1.1. TBA ile Hata Tespiti (Fault Detection with PCA)

TBA algoritması ile hata tespiti yapabilmek için ilk önce sistemde arıza yokken sistemden ölçülen veriler toplanır. Toplanan bu verinin Hotelling'in T^2 istatistiği veya karesel tahmini hatalar (KTH) istatistiği çıkarılır ve bu hatasız verilere göre güven bölgesi belirlenir. Belirlenen bu güven bölgesini aşan sinyal olursa hata sinyali olarak değerlendirilir. Hatasız veri için T^2 istatistiğinin hesaplanması aşağıdaki denklem ile yapılmaktadır.

$$T^2(k) = \hat{t}(k)^T \hat{\Lambda}^{-1} \hat{t}(k) \quad (7)$$

Bu istatistik için güven bölgesinin üst sınırı aşağıdaki denklemde F-dağılımı kullanarak elde edilir.

$$T_{a,n,\alpha}^2(k) = \frac{a(n-1)}{n-a} F_{a,n-a,\alpha} \quad (8)$$

Bu denklemdeki n örnek sayısını, a ayrıştırılan ilk bölümdeki temel bileşenlerin sayısını ve α yüzdelik olarak önem seviyesini temsil etmektedir. Benzer şekilde hatasız veri için KTH istatistiği aşağıdaki denklem ile elde edilir.

$$\begin{aligned} KTH(k) &= e(k)^T e(k) \\ KTH(k) &= x(k)^T (I - \tilde{P}\tilde{P}^T)x(k) \end{aligned} \quad (9)$$

Bu denklemdeki I birim matrisi temsil etmektedir. KTH için güven bölgesinin üst sınırı aşağıdaki denklemler ile belirlenir.

$$KTH_\alpha = \theta_1 \left(\frac{h_o c_\alpha \sqrt{2\theta_2}}{\theta_1} + 1 + \frac{\theta_2 h_o (h_o - 1)}{\theta_1^2} \right)^{\frac{1}{h_o}} \quad (10)$$

Üstteki denklemdeki c_α güven aralığıdır ve hata fonksiyonu tablosundan elde edilebilirken, denklemdeki θ_i ve h_o aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\theta_i = \sum_{j=a+1}^m \lambda_j^i \quad (11)$$

$$h_o = 1 - \frac{2\theta_1\theta_3}{3\theta_2^2} \quad (12)$$

2.2. Bağımsız Bileşen Analizi (BBA) (Independent Component Analysis (ICA))

BBA amacı Gaussian olmayan dağılıma sahip kaynak sinyallerinin ayrıştırılarak elde etmektir. m değişkene sahip bir süreç için HızlıBBA algoritması aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1.adım: n tane örnek toplanır ve ortalaması sıfır olacak halde merkezleştirilir.

2.adım: Merkezleştirilen veri $Z^T = QX^T$ işlemi ile beyazlaştırılır. Bu işlemde kullanılan $Q = \Lambda^{-1/2}P^T$ ile hesaplanır. Bu denklemdeki Λ , X veri matrisinin kovaryans matrisinin özdeğerleri iken, P bu matrisin özvektörleridir.

3.adım: Aşağıdaki amaç fonksiyonunu m değişken için m defa optimize et

$$b_k = \arg \max_{\forall b_k, E\{y^T\}=1} [E\{G(y)\} - E\{G(v)\}]^2 \quad (13)$$

$$y = b_k^T z \quad (14)$$

Üstteki denklemde v sıfır ortalamalı birim varyansa sahip gauss değişkeni iken, G karesel olmayan nonlinear bir fonksiyondur. Optimizasyon işlemi ile bulunan tüm b_k 'ler bir matrisin içine konularak $B = [b_1 \dots b_m] \in R^{m \times m}$ oluşturulur. Ayırıştırıcı matris ise aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$W = B^T Q \quad (15)$$

2.2.1. BBA ile Hata Tespiti (Fault Detection with ICA)

BBA algoritması ile hata tespiti için ayırıştırıcı matris W , W 'nin baskın bölümü W_b ve dışta bırakılan parça W_d olmak üzere iki kısma ayrıştırılır. Bu ayrıştırılan matris kullanılarak $B_b = (W_b Q^{-1})^T$ hesaplanır. Hata tespiti yapmak için TBA algoritmasında olduğu gibi hatasız veri için istatistiklerin hesaplanması gerekir. BBA algoritmaları için önerilen üç tane istatistiksel ölçüm aşağıdaki denklemlerde görülmektedir [5].

$$I^2(k) = x(k)^T W_b^T W_b x(k) \quad (16)$$

$$I_e^2(k) = x(k)^T W_d^T W_d x(k) \quad (17)$$

$$KTH(k) = e(k)^T e(k) \quad (18)$$

$$KTH(k) = (x(k) - \hat{x}(k))^T (x(k) - \hat{x}(k))$$

KTH denklemindeki $\hat{x}(k)$ aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\hat{x}(k) = Q^{-1} B_b W_b x(k) \quad (19)$$

Bu istatistikler için güven bölgelerinin üst sınırları çekirdek yoğunluk tahmini yöntemi ile bulunmasıdır [5]. Sınır değeri yoğunluk dağılımının alanlarının %99'unun seçilmesi ile belirlenir. Tek değişkenli çekirdek tahmin edicisi aşağıdaki denklemdeki gibi tanımlanır.

$$\hat{f}(z) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k \left(\frac{z - z_i}{h} \right) \quad (20)$$

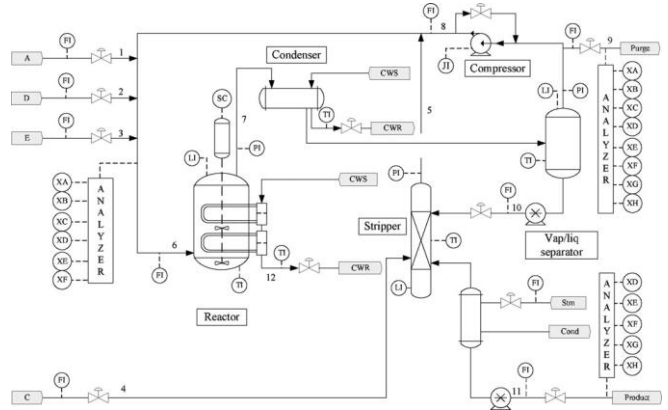
Bu denklemde n örnek sayısı, h çekirdeklerin varyansdır ve $h = 1.06\sigma n^{-1/5}$ denklemi ile

hesaplanmaktadır. Denklemdaki $k(u)$ çekirdek fonksiyonunu temsil etmektedir ve genellikle çekirdek fonksiyon olarak Gauss çekirdek fonksiyonu tercih edilmektedir. Gauss çekirdek fonksiyonu aşağıdaki denklemdeki gibi tanımlanmaktadır.

$$k(x) = \frac{1}{2\pi} \exp\left(-\frac{1}{2}x^2\right) \quad (21)$$

3. BENZETİM ÇALIŞMALARI (SIMULATION STUDIES)

Hata bulma algoritmalarının performanslarını karşılaştırmak için oldukça yaygın kullanılan Tennessee Eastman (TE) süreci kullanılmıştır. TE süreci Şekil 1'de de görüleceği üzere, reaktör, toplayıcı, sıyırıcı, kompresör ve ayırıcı olmak üzere beş ana birimden oluşmaktadır.



Şekil 1. TE süreci (TE process)

TE sürecinde, A, C, D, E ve B etkisiz gazı ile reaktör beslenerek G, H ve F yan ürünü üretilir. Süreçten, 22 tane sürekli ölçüm, 19 tane birleşik ölçüm ve 12 tane müdahale edilebilir ölçüm yapılabilmektedir. Öğrenme ve test verisi için sürecin örnekleme aralığı 3 dakika olarak seçilmiştir. TE sürecinde hataları üretmek için programlanabilir hatalar mevcuttur ve bu programlanabilir hataların listesi Tablo 1'de görülmektedir.

Öğrenme aşamasında kullanılan hatasız verinin uzunluğu 480 örnek iken, test aşamasında kullanılan hatalı veri uzunluğu 960 örnek olarak seçilmiştir. Hatalı verilerdeki tüm hatalar 160.örnekten sonra sisteme dahil edilmiştir. Yapılan çalışmada adil karşılaştırma yapmak için tüm veri hata bulma algoritmaları uygulanmadan önce ölçeklendirilmiştir ve her algoritma için 53 değişkenin tümü kullanılmış olup hiçbir veri boyutu indirgeme yöntemi kullanılmamıştır.

Yapılan çalışmanın sonuçları aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 1. TE süreci için programlanabilir hatalar

Hata Sinyali	Süreç Değişkeni	Hata Türü
1	A/C besleme oranı, B sabit	Birim Basamak
2	B, A/C oranı sabit	Birim Basamak
3	D besleme sıcaklığı	Birim Basamak
4	Reaktör soğutma suyu giriş sıcaklığı	Birim Basamak
5	Toplayıcı soğutma suyu giriş sıcaklığı	Birim Basamak
6	A besleme kaybı	Birim Basamak
7	C bağlantı basınç kaybı	Birim Basamak
8	A, B, C besleme birleşimi	Rastgele Değişim
9	D besleme sıcaklığı	Rastgele Değişim
10	C besleme sıcaklığı	Rastgele Değişim
11	Reaktör soğutma suyu giriş sıcaklığı	Rastgele Değişim
12	Toplayıcı soğutma suyu giriş sıcaklığı	Rastgele Değişim
13	Reaksiyon kinetikleri	Yavaş Kayma
14	Reaktör soğutma suyu vanası	Sıkışma
15	Toplayıcı soğutma suyu vanası	Sıkışma
16	Bilinmiyor	Bilinmiyor
17	Bilinmiyor	Bilinmiyor
18	Bilinmiyor	Bilinmiyor
19	Bilinmiyor	Bilinmiyor
20	Bilinmiyor	Bilinmiyor
21	Vana kalıcı durumda sabitlenmiş	Sabit Pozisyon

Tablo 2'den görüldüğü üzere algoritma performansları 7 hata sinyali (1, 2, 8, 9, 13, 14 ve 17) kullanılarak elde edilmiştir. Bu 7 hata 5 farklı hata türünden elde edilmiştir. 9. ve 17.hata sinyali hariç her iki algortmada 800 hatanın hemen hemen hepsini iyi bir şekilde bulmaktadır. 9.hata sinyali olan D besleme sıcaklığı tüm değişkenler üzerinde etkisini algortmalar tarafından giderilememektedir. Bundan dolayı tüm algortmaların HBO oranları bu hata sinyali için düşük çıkmaktadır. Aynı sorun 17.hata sinyali içinde geçerlidir, fakat algortmaların HBO'ları 9.hata sinyaline göre daha yüksektir. Hata bulmak için kullanılan istatistiksel yöntemlerin bir tanesi bile hata oranını yüksek bulması hata bulma yöntemi için yeterlidir.

Tablo 2'deki algortmaların YAO'ları göz önünde bulundurulduğunda, TBA algortmasının YAO oranları 9. ve 17. hatalar hariç BBA

algortmasından yüksek çıktığı görülmektedir. Bu yüksek çıkmanın anlamı, sistemde hata olmadığı halde algortmanın hata varmış gibi yanlış alarm verdiği anlamına gelmektedir. 9. ve 17.hata sinyalleri sonuçlarında ise BBA algortmasının YAO oranları yüksek, HBO düşük çıktığından dolayı bu hata sinyalleri için TBA algortmasının bu tür sinyaller için daha uygun olduğu anlamına gelmektedir.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME (RESULTS AND CONCLUSIONS)

Yapılan çalışmada TBA ve BBA algortmalarının hata bulma performansı TE süreci üzerinde incelenmiştir. Yapılan çalışmalar her iki algortmanın HBO'larının yaklaşık olarak eşit olduğu fakat YAO'larının farklı olduğu görülmektedir. Sistemde hata yokken bile TBA algortması hata varmış gibi göstermektedir. Bu onun hata bulma algortması olarak tercih edilmemesine neden olabilir. BBA algortması YAO oranları oldukça düşüktür. 9.hata sinyalinde ise her iki algortmanın hata tespitinde yetersiz kaldığı gözlemlenmektedir. Bu da bu algortmaların bu sinyal için yetersiz olduğu ve sinyalleri oluşturan temel bileşenleri iyi ayırtıramadığı anlamına gelmektedir. Hata teşhisinde algortma seçiminde süreci oluşturan temel bileşenlerin başlangıçta bilinmesi ve buna göre algortma tercihi yapılması oldukça önemlidir. Eğer temel bileşenler bilinmiyor ise hibrit algortmalar ile hata teşhisi yapılması daha doğru sonuçlar verecektir.



Tablo 2. Benzetim çalışmaları (Simulation results)

Hata Sinyali	ALGORİT MALAR	Hata Bulma Oranı (HBO)			Yanlış Alarm Oranı (YAO)			Hata Türü
		KTH	T ² -I ²	I _e ²	KTE	T ² - I ²	I _e ²	
1	TBA	800	796		29	15		Birim Basamak
	BBA	797	796	797	3	0	3	
2	TBA	798	790		33	11		Birim Basamak
	BBA	789	747	789	2	0	3	
8	TBA	787	785		33	11		Rastgele Değişim
	BBA	791	725	795	5	2	10	
9	TBA	218	131		44	32		Rastgele Değişim
	BBA	100	1	139	41	2	53	
13	TBA	772	766		30	7		Yavaş Kayma
	BBA	767	747	765	3	0	3	
14	TBA	798	800		34	15		Sıkışma
	BBA	800	722	800	3	1	2	
17	TBA	631	386		36	47		Bilinmiyor
	BBA	473	262	570	60	1	66	

KAYNAKLAR

- [1] J. Chen ve R. J. Patton, Robust Model-Based Diagnosis for Dynamics Systems, Kluber Academic Publisher, 1999.
- [2] T. Kourti, "Process analysis and abnormal situation detection: from theory to practice," *Control Systems, IEEE*, vol. 22, no. 5, pp. 10-25, 2002.
- [3] S. Yin, ve ark., "A comparison study of basic data-driven fault diagnosis and process monitoring methods on the benchmark Tennessee Eastman process," *Journal of Process Control*, vol. 22, no. 9, pp. 1567-1581, 2012.
- [4] T. Villegas, M. J. Fuente ve M. Rodríguez, "Principal component analysis for fault detection and diagnosis. experience with a pilot plant," in *CIMMACS'10 Proceedings of the 9th WSEAS international conference on computational intelligence, man-machine systems and cybernetics*, 2010.
- [5] J. Lee, C. K. Yoo ve I. Lee, "Statistical process monitoring with independent component analysis," *Journal of Process Control* vol. 14, no. 5, pp. 467-485, 2004.
- [6] H. Abdi ve J. W. Lynne, "Principal component analysis," *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, vol. 2, no. 4, pp. 433 -459, 2010.
- [7] A. Hyvärinen, "Fast and robust fixed-point algorithms for independent component analysis," *Neural Networks, IEEE Transactions on* 10.3, 626-634, 1999.
- [8] J. F. MacGregor, T. Kourti ve P. Nomikos, "Analysis, monitoring and fault diagnosis of industrial processes using multivariate statistical projection methods," in *Proceedings of 13th IFAC World Congress, San Francisco, USA*, 1996.
- [9] B. Wise ve N. B. Gallagher, "The process chemometrics approach to process monitoring and fault detection," *Journal of Process Control* 6.6, 329-348, 1996.
- [10] D. Dong ve T. J. McAvoy, "Nonlinear principal component analysis—based on principal curves and neural networks," *Computers & Chemical Engineering* 20.1, 65-78, 1996.
- [11] A. Belouchrani ve ark., "A blind source separation technique using second-order statistics," *Signal Processing, IEEE Transactions on* 45.2, 434-444, 1997.

- [12] A. Yeredor, "Blind separation of Gaussian sources via second-order statistics with asymptotically optimal weighting," *IEEE Signal Processing Letters* 7.7, 197-200, 2000.
- [13] S. Ding ve ark., "On the application of PCA technique to fault diagnosis," *Tsinghua Science & Technology* 15.2, 138-144, 2010.
- [14] J. E. Jackson ve G. S. Mudholkar, "Control procedures for residuals associated with principal component analysis," *Technometrics* 21.3, 341-349, 1979.

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 04-04-2017 <u>Kabul/Accepted</u> 31-08-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.303850	

Görüntü işleme teknikleri ve kümeleme yöntemleri kullanılarak fındık meyvesinin tespit ve sınıflandırılması

Serdar Solak¹, Umut Altınışık^{2*}

ÖZ

Yapılan çalışmada, ortamda bulunan nesnelere gerçek zamanlı olarak tespit edilmesi, sınıflandırılması ve elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Önerilen yönteme ait deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesinde fındık meyvesi kullanılmaktadır. Çalışma ortamında bulunan fındıklara ait görüntü, kamera ile alındıktan sonra görüntü işleme teknikleri kullanılarak işlenmektedir. Fındıkların görüntü düzlemi üzerinde kapladıkları boyut ve alan verileri hesaplanmaktadır. Elde edilen veriler değerlendirilerek, fındıklar gerçek zamanlı olarak küçük (K1), orta (K2) ve büyük (K3) olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Bu işlem ortalama tabanlı sınıflandırma ve K-means kümeleme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Küme merkezlerinin belirlenmesi ve sınıflandırma işlemi fındık meyvesi verilerinden elde edilen bilgi veritabanı kullanılarak sağlanmaktadır. Çalışma ortamında bulunan fındık meyveleri, görüntü işleme teknikleri kullanılarak %100 başarıyla tespit edilmektedir. Fındık meyvelerinin, ortalama tabanlı ve K-means kümeleme yöntemleri kullanılarak sınıflandırılması karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonucunda, gerçekleşen iki yöntemin %90 ile %100 oranında benzerlik gösterdiği bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Görüntü İşleme, Nesne Tespiti, Morfoloji, Moment, Kümeleme

Detection and classification of hazelnut fruit by using image processing techniques and clustering methods

ABSTRACT

In this study, the objects found in the environment are detected and classified in real time, the results obtained are presented. Hazelnut fruit is used in the experimental studies of the proposed method. The image belongs to hazelnut that is in a work environment is taken with the camera, it is processed by using image processing techniques. The size and area data of hazelnut on the image plane is calculated. By evaluating the obtained data, the hazelnut is divided into three classes as small (K1), medium (K2) and big (K3) in real time application. This process is performed using mean-based classification and K-means clustering methods. Detection and classification of cluster centers is provided by using the information database obtained from the data of hazelnut fruit. Hazelnut fruits found in the experimental environment are determined with 100% accuracy using image processing techniques. The classification of hazelnut fruits using the mean-based and K-means clustering methods has been compared. As a result of the comparison, it is observed that the two methods realized are similar ratio of 90% to 100%.

Keywords: Image Processing, Object Detection, Morphology, Momentum, Clustering

¹ Kocaeli Üniversitesi, Rektörlük, Enformatik Bölümü, Kocaeli-serdars@kocaeli.edu.tr

² Kocaeli Üniversitesi, Rektörlük, Enformatik Bölümü, Kocaeli-umuta@kocaeli.edu.tr

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Görüntü işleme ve bilgisayarlı görme uygulamaları son yıllarda ciddi bir artış göstermektedir. Özellikle araç içi otomasyon, güvenlik sistemleri, gezgin robot uygulamaları, askeri alanlarda dost ve düşman kuvvetlerinin gözetilmesi, tarım uygulamaları, biyomedikal ve tıp alanlarında, coğrafi bilgi sistemlerinde, tasarım ve imalat uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [1].

Görüntü işleme teknikleri kullanılarak yapılan çalışmalarda, ilk olarak kameradan görüntüler alınmaktadır. Alınan görüntüler üzerinde, görüntü ön işleme adımları uygulanmakta ve ilgilenilen nesnelere ait özellik çıkartımı gerçekleştirilmektedir. Ortamda bulunan nesnelere doğru bir şekilde tespit edilmesi, özellik çıkarımı aşaması için çok önemlidir. Nesnelere tespit edilmesi veya tanınması amacıyla yapılan çalışmalarda farklı yöntemler önerilmektedir. Nesnelere ait basit özellikler kullanılarak hızlı ve etkili nesne tanıma yönelik çalışmalar [2], karmaşık arka plan çıkarımı ile tanıma [3], şekil tanıma, renk tanıma, kenar ve köşe tanıma, istatistiksel örüntü tanıma, şablon eşleme gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır [4].

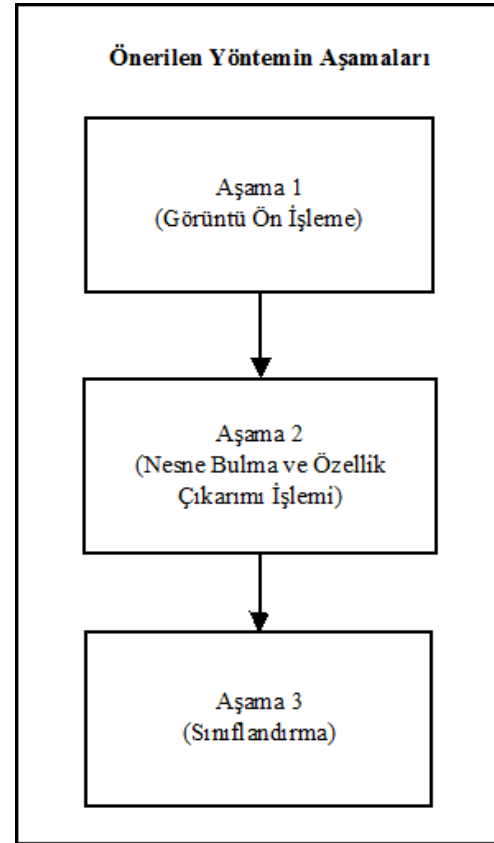
Bilgisayarlı görmenin yaygınlaşması sonucunda, tarım alanında ürün kalitesinin gözlenmesi [5], ürün sulama [6], ilaçlama, hasat, ürün sınıflandırma, ürün gelişimlerinin gözlenmesi gibi çalışmalar yapılmaktadır [7]. Ayrıca tarım alanında, görüntü işleme tekniklerinin kullanılması ile yapılan çeşitli çalışmalarda şeftali [8,9], elma [9,10], buğday [11], fındık [12,13], kiraz [14,15], ceviz [16], badem [17] vb. meyveler sınıflandırılmakta ve özellikleri belirlenmektedir. Bu özelliklerin belirlenmesinde sayısal görüntü analizi, sınıflama, kümeleme gibi yöntemler kullanılarak, araştırılan nesnelere boyut, cins veya kalite bakımından sınıflandırılması gerçekleştirilmektedir.

K-means ve türevleri yaygın olarak kullanılmakta olan kümeleme algoritmalarıdır. K-means algoritması ile aynı türden nesnelere farklı özelliklerine göre, benzer kümeler ayrılmaktadırlar [18]. Görüntü işleme süreci ile özellikleri belirlenmiş olan nesnelere, benzerlik veya benzemezlik oranlarına göre farklı sınıflarda kümelenebilirler.

Makalede, çalışma ortamında bulunan nesnelere tespit edilmesi, özelliklerinin belirlenmesi ve sınıflandırılmasına yönelik üç aşamalı bir sistem önerilmektedir. Önerilen sistemin ilk aşamasında kameradan alınan görüntü üzerinde, görüntü ön işleme adımı uygulanmaktadır. İkinci aşamada, ortamda bulunan nesnelere tespit edilmekte ve nesnelere ait veriler bilgi veritabanına aktarılmaktadır. Son aşamada ise bilgi veritabanı kullanılarak nesnelere sınıflandırılması gerçekleştirilmektedir.

2. ÖNERİLEN YÖNTEM (PROPOSED METHOD)

Ortamda bulunan aynı nesnelere tespit edilerek, sınıflandırılmasına yönelik yapılan çalışmada üç aşamalı bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yönteme ait aşamalar Şekil 1’de sunulmaktadır

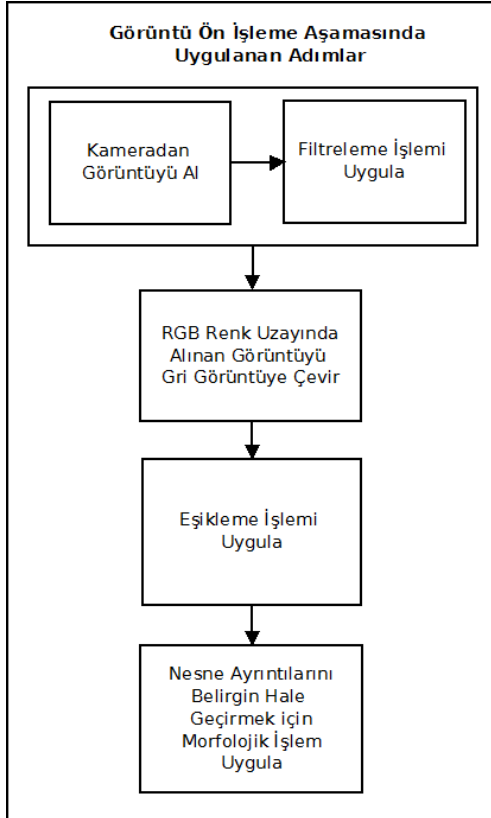


Şekil 1. Önerilen yöntemin aşamaları (The stages of proposed method)

Nesnelere bulunduğu ortamdan alınan görüntü, aşama 1 adımıyla yer alan “Görüntü Ön İşleme” işlemine tabi tutulmaktadır. Aşama 2’de “Nesne Bulma ve Özellik Çıkarımı İşlemi” ile ortamdaki nesnelere, boyut ve alan gibi özellikleri çıkarılmaktadır. Son aşamada ise, aşama 2’de elde edilen veriler kullanılarak her bir nesnenin sınıflandırılması gerçekleştirilmektedir.

2.1. Görüntü ön işleme aşaması (Image pre-processing)

Görüntü ön işleme aşamasında, kameradan alınan görüntü üzerinde sırasıyla filtreleme, resmin grileştirilmesi ve ikili resme çevrilmesi işlemleri uygulanmaktadır. Bu işlemlerin gerçekleştirilmesinden sonra görüntü üzerinde yer alan ve ilgilenilen nesnelere daha belirgin ve kolay işlenebilir hale getirilmektedir. Şekil 2’de görüntü ön işleme aşamasında uygulanan adımlar sunulmaktadır.



Şekil 2. Görüntü ön işleme aşamasında uygulanan adımlar (The steps of image pre-processing stage)

Filtre uygulama adımında, görüntü üzerinde yer alan tuz biber gürültülerinin giderilmesi ve resimde yer alan gereksiz ayrıntıların azaltılması sağlanmaktadır. Kameradan alınan görüntü matrisi üzerinde, 3x3, 5x5 vb küçük bir çekirdek matrisinin gezdirilmesi sonucunda filtreleme işlemi gerçekleşmektedir. Çalışmada, 3x3 boyutlarında çekirdek matrisi kullanan, ortalama filtreleme yöntemi kullanılmaktadır. Çekirdek matrisin boyutlarının büyük seçilmesi, görüntü üzerindeki gürültüleri azaltırken, bulanıklaştırmada yapmaktadır. Çalışmada ortalama filtre uygulaması için seçilen çekirdek matris, denklem 1’de sunulmaktadır. Çekirdek matrisi, görüntü üzerinde kayan pencere yöntemi kullanılarak gezdirilmekte ve her bir piksel için, yeni değerler hesaplanmaktadır.

$$K = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

K , $N \times N$ boyutlarında filtreleme için kullanılan çekirdek matrisini, I_R , kameradan alınan renkli görüntüye ait matrisi, I_R^1 , filtreleme sonunda oluşan yeni görüntü matrisini ifade etmektedir. Denklem 2’de her piksele ait yeni değerlerin hesaplanmasını gösteren formül sunulmaktadır.

$$\text{temp} = \frac{N}{2}$$

$$I_R^1(x, y) = \frac{1}{N \times N} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N K(i, j) \times I_R(x+i-\text{temp}, y+j-\text{temp}) \quad (2)$$

Filtreleme işlemi sırasında, I_R matrisinde negatif değerler kullanılmak istenmektedir. Bu durumda, ilgili indislere en yakın indisteki değer kullanılmaktadır. Örneğin, hesaplama sırasında $I_R^1(0,0)$ için $K(0,0) \times I_R(-1,-1)$ ile çarpılması sırasında matris içerisindeki en yakın değer olan $I_R(0,0)$ kullanılmaktadır. Kameradan alınan görüntü üç kanallı olup RGB (Red, Green, Blue) renk uzayında alındığından, I_R görüntü matrisinde üç renk için bulunan değerler denklem 2 kullanılarak güncellenmektedir.

Filtreleme işleminden sonra renkli görüntünün, grileştirilmesi adımı gerçekleştirilmektedir. Grileştirme işlemine ait formül denklem 3’te sunulmaktadır. Denklemde, I_G grileştirilmiş yeni görüntü matrisini, I_{RK}^1 , I_{RY}^1 ve I_{RM}^1 sırasıyla filtrelenmiş renkli görüntüdeki kırmızı, yeşil ve mavi renk değerini ifade etmektedir [19,20].

$$I_G(x, y) = 0.299 \times I_{RK}^1(x, y) + 0.587 \times I_{RY}^1(x, y) + 0.114 \times I_{RM}^1(x, y) \quad (3)$$

Gri olarak elde edilen görüntü üzerinde, eşikleme işlemi uygulanarak sadece ilgili nesnelere ait yer alan bölümler kullanılmaktadır. Eşikleme işleminde kullanılan en küçük (min) ve en büyük değerler (max) deneysel çalışmalar sonucunda belirlenmektedir. Gri görüntü içerisinde yer alan piksel değerleri min ve max değerleri arasında bulunup bulunmadığı karşılaştırılarak, ikili görüntü için yeni değer ataması gerçekleştirilmektedir. Denklem 4’te ikili görüntü oluşturma işlemine ait formül sunulmaktadır.

$$I_1(x, y) = \begin{cases} 255 & \leftarrow (I_G(x, y) \geq \min) \text{ ve } (I_G(x, y) < \max) \\ 0 & \leftarrow \text{Uymayan Veriler} \end{cases} \quad (4)$$

Eşikleme işleminden sonra siyah ve beyaz renkleri içeren görüntü oluşturulmaktadır. Görüntü içerisinde, siyah bölgelerde istenmeyen beyaz noktalar, beyaz bölgelerde istenmeyen siyah noktalar bulunmaktadır. Elde edilen ikili görüntü üzerinde yer alan gürültüleri silmek amacıyla morfolojik işlem uygulanmaktadır. Morfolojik işlemde, girdi olarak verilmekte olan, ikili görüntü üzerinde yapısal element adı verilen 3x3, 5x5 vb. kare matris gezdirilmektedir. Morfolojik işlem adımında, yapısal element ve ikili görüntü değerlerindeki komşu piksel değerleri kullanılarak görüntü güncellenmektedir. Önerilen çalışmada, ikili görüntü üzerinde, aşındırma (erosion) ve genişleme (dilation) morfolojik işlemleri uygulanmaktadır.

Aşındırma işlemi, ikili resim üzerinde yer alan beyaz alanları daraltmak ve siyah bölgelerdeki beyazlıkları temizlemek için kullanılmaktadır. Genişleme işlemi ise, beyaz alanların sınırlarını genişletirken aynı zamanda beyaz bölgede yer alan siyah noktaları temizlemektedir. Sırasıyla denklem 5 ve denklem 6 'da aşındırma, genişleme işlemlerine ait matematiksel ifadeler sunulmaktadır. Denklemlerde, Y yapısal elemente ait matrisi, I_M aşındırma işlemi uygulanmış ikili görüntü matrisini, I_M^I aşındırma işleminden sonra genişleme işlemi uygulanmış ikili görüntü matrisini ifade etmektedir [21].

$$I_M(x, y) = \bigcap_{i=0}^{N-1} \bigcap_{j=0}^{N-1} Y(i, j) \cup I_I(x+i, y+j) \quad (5)$$

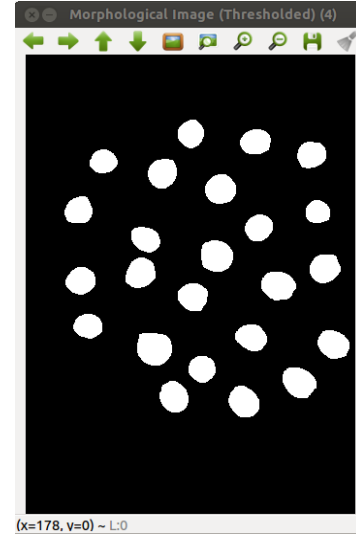
$$I_M^I(x, y) = \bigcup_{i=0}^{N-1} \bigcup_{j=0}^{N-1} Y(i, j) \cap I_M(x-i, y-j) \quad (6)$$

Şekil 3'de kameradan alınan ham görüntü gösterilmektedir.



Şekil 3. Görüntü ön işleme aşaması kamera görüntüsü (Image pre-processing camera image)

Şekil 4'te ise, filtreleme, grileştirme, eşikleme ve morfolojik işlemlerin kameradan alınan ham görüntüye uygulanması sonucunda oluşan görüntü sunulmaktadır. Elde edilen görüntü ile ortamda bulunan nesnelere ait kenarların belirlenmekte ve özellik çıkarımı için hazır duruma getirilmektedir.



Şekil 4: Görüntü ön işleme adımından sonra oluşan görüntü (Image after pre-processing step.)

2.2. Nesne bulma ve özellik çıkarımı işlemi aşaması (Object detection and feature extraction stage)

Nesne bulma ve özellik çıkarımı işlemi aşamasında, görüntü ön işleme aşamasından geçirilerek elde edilen ikili görüntü üzerinde nesnelere ait özelliklerin çıkarımı işlemleri gerçekleştirilmektedir. Nesnelere ait görüntü düzleminde kaplamış olduğu alan, nesne boyları ve nesne merkezine ait koordinatlar özellik çıkarım vektörlerinde bulunmaktadır.

Görüntü ön işleme sonunda elde edilen ikili resimde her bir nesneye ait dış hatlar, Suzuki ve Abe tarafından 1985 yılında geliştirilmiş olan algoritma kullanılarak bulunmuştur [20,22].

Her bir nesneye ait dış hatlar ve nesne numaraları belirlendikten sonra, nesnenin alanını hesaplamak için moment alma işlemi gerçekleştirilmektedir. Denklem 7'de moment alma işlemi gösteren genel formül sunulmaktadır [21]. Denklem 7'de $G(x,y)$, momenti alınacak ikili görüntüyü, m_{pq} momenti, p ve q değerleri ise, momentin derecesini belirlemektedir. Denklemde yer alan x ve y değerleri, görüntüyü oluşturan matristeki satır ve sütunları ifade etmektedir.

$$m_{pq} = \iint_{x,y} x^p y^q G(x, y) dx dy \quad (7)$$

Denklem 7’de p ve q değerleri 0 olması durumunda, m_{00} değeri nesnenin piksel cinsinden alanını ifade etmektedir. Ayrıca, sırasıyla p ve q değerlerine 1 değerleri verilerek m_{10} ve m_{01} değerleri hesaplanmıştır. Denklem 8, 9 ve 10 da gerçekleştirilen işlemlere ait matematiksel ifadeler sunulmaktadır [21].

$$p = 0 \text{ ve } q = 0 \rightarrow m_{00} = \iint_{x \ y} G(x, y) dx dy \quad (8)$$

$$p = 1 \text{ ve } q = 0 \rightarrow m_{10} = \iint_{x \ y} x G(x, y) dx dy \quad (9)$$

$$p = 0 \text{ ve } q = 1 \rightarrow m_{01} = \iint_{x \ y} y G(x, y) dx dy \quad (10)$$

İkili görüntü üzerinde yer alan herhangi bir nesneye ait alan değeri denklem 8, x ağırlıklı moment denklem 9 ve y ağırlıklı moment denklem 10 ile hesaplanmaktadır. Bu durumda, ilgili nesnelere ait merkez noktasının x koordinatı denklem 11, merkez noktasına ait y noktasının koordinatı denklem 12’de verilen formüller kullanılarak bulunmektedir.

$$x = \frac{m_{10}}{m_{00}} \Rightarrow x = \frac{\iint_{x \ y} x G(x, y) dx dy}{\iint_{x \ y} G(x, y) dx dy} \quad (11)$$

$$y = \frac{m_{01}}{m_{00}} \Rightarrow y = \frac{\iint_{x \ y} y G(x, y) dx dy}{\iint_{x \ y} G(x, y) dx dy} \quad (12)$$

Ortamda yer alan nesnelere ait alan ve boyut bilgilerinin cm veya mm cinsinden hesaplanabilmesi amacıyla, A4 kağıdının köşesine 50mm x 50mm boyutlarında referans bir kare çizilmiştir. Referans karesinin alanı piksel cinsinden hesaplanarak, gerçek alana oranlanmaktadır. Bu sayede piksel / mm dönüşüm işlemi program tarafından otomatik olarak gerçekleştirilmektedir.

2.3. Sınıflandırma işlemi aşamasına ait adımlar (Classification stage steps)

Kümeleme, fiziksel veya soyut nesnelere benzer nesne sınıfları içerisinde gruplama sürecidir [23]. Veri kümeleme, küme analizi olarak da tanımlanmaktadır. Kümeleme analizinde desen, nokta veya nesnelere doğal olarak gruplandırılması yapılmaktadır. Kümeleme analizi ile çok değişkenli özellikler içeren veriler kümelendirilebilmektedir. Kümeleme yöntemi görüntü tanıma, veri analizi, görüntü işleme, market

araştırmaları, vb. gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Önerilen çalışmada ortamda bulunan nesnelere, alan, çap, yarıçap, genişlik, yükseklik vb. özellikleri kullanılarak sınıflandırılmaktadır. Yapılan çalışmada, görüntü işleme teknikleri kullanılarak bulunan nesnelere sınıflandırma işleminde iki farklı kümeleme yöntemi önerilmektedir.

2.3.1. Ortalama tabanlı sınıflandırma (Mean-based classification)

Önerilen ilk yöntemde ortamda bulunan nesnelere kendi aralarında otomatik olarak 3 sınıfa ayrıştırılmaktadır. Sınıflandırma işleminde oluşturulan ilk küme merkezi hesaplanırken denklem 13’te sunulan formül kullanılmaktadır. Denklemde K_2 , ortanca (ikinci) küme merkezini, N ortamda bulunan nesne sayısını, A_x (m_{00}) x indisli nesnenin alanını ifade etmektedir.

$$K_2 = \frac{1}{N} \sum_{x=1}^N Alan_x \quad (13)$$

Diğer iki küme merkezi hesaplanırken ilk olarak en büyük (maksAlan) ve en küçük (minAlan) alan hesaplanmaktadır. K_1 ve K_3 küme merkezlerinin hesaplanmasını gösteren ifadeler, denklem 14 ve denklem 15’te sunulmaktadır.

$$K_1 = \frac{K_2 + 3 \times \min Alan}{4} \quad (14)$$

$$K_3 = \frac{K_2 + 3 \times \max Alan}{4} \quad (15)$$

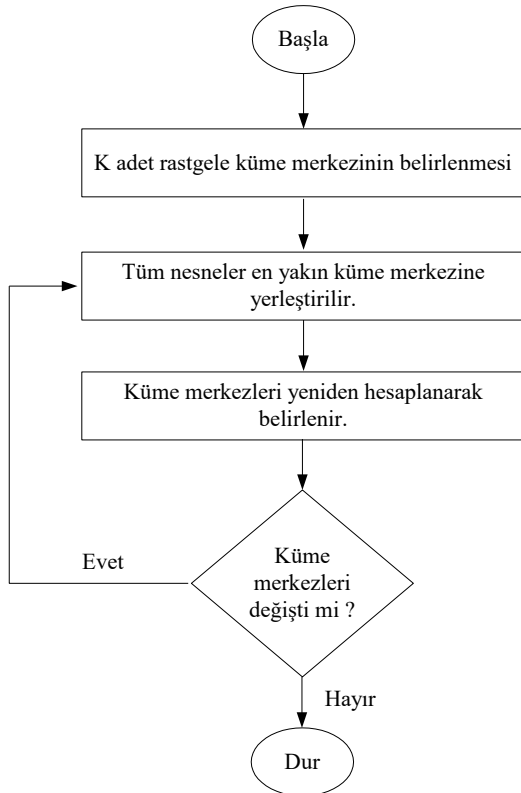
Nesnelere sınıflandırma aşamasında, ilgili nesnenin alanı ile her bir küme merkezi arasındaki mesafe hesaplanmaktadır. Nesnelere kendilerine en yakın noktada bulunan küme merkezlerine yerleştirilerek sınıflandırılmaktadır.

2.3.2. K-means kümeleme yöntemi (K-means clustering method)

K-means algoritması, N adet veri nesnesinin K adet kümeye bölünmesidir. K-means kümeleme, karesel hatayı en aza indirmek için N tane veriyi K adet kümeye bölümlenmeyi amaçlamaktadır [18, 24]. K-means algoritmasının temel amacı bölümlenme sonucunda elde edilen küme içindeki verilerin benzerliklerinin maksimum, kümeler arasındaki benzerliklerin ise minimum olmasıdır. K-means algoritmasının çalışma sürecini maddeler halinde sunulan 4 aşamada ifade edilmektedir.

1. İlk olarak, K adet küme için rastgele başlangıç küme merkezleri belirlenmektedir,
2. Her nesnenin seçilmiş olan küme merkez noktalarına olan uzaklığı hesaplanmaktadır. Küme merkez noktalarına olan uzaklıklarına göre tüm nesnelere k adet kümeden en yakın olan küme yerleştirilmektedir,
3. Yeni oluşan kümelerin merkez noktaları, o kümedeki tüm nesnelere ortalamaları değerlerinden elde edilmiş veriye göre değiştirilmektedir,
4. Küme merkez noktaları sabit olmadıkça sürece 2. ve 3. adımlar tekrarlanmaktadır.

Makalede kullanılmakta olan K-means algoritmasının akış diyagramı Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. K-means algoritmasının akış diyagramı (The flowchart of K-means algorithm)

Kümeleme işlemi nesnelere birbirleri ile olan benzerlik veya benzersizliklerine göre gerçekleştirilmektedir. Benzerlik ve benzersizlik ölçümlerinde en yaygın olarak kullanılan mesafe ölçüm yöntemleri Euclidean, Manhattan ve Minkowski yöntemleridir. Euclidean, Manhattan ve Minkowski mesafelerinin hesaplanması Denklem 16, 17 ve 18'de sırası ile gösterilmektedir [25].

$$d(p, q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (16)$$

$$d(p, q) = |p_1 - q_1| + |p_2 - q_2| + \dots + |p_n - q_n| = \sum_{i=1}^n |p_i - q_i| \quad (17)$$

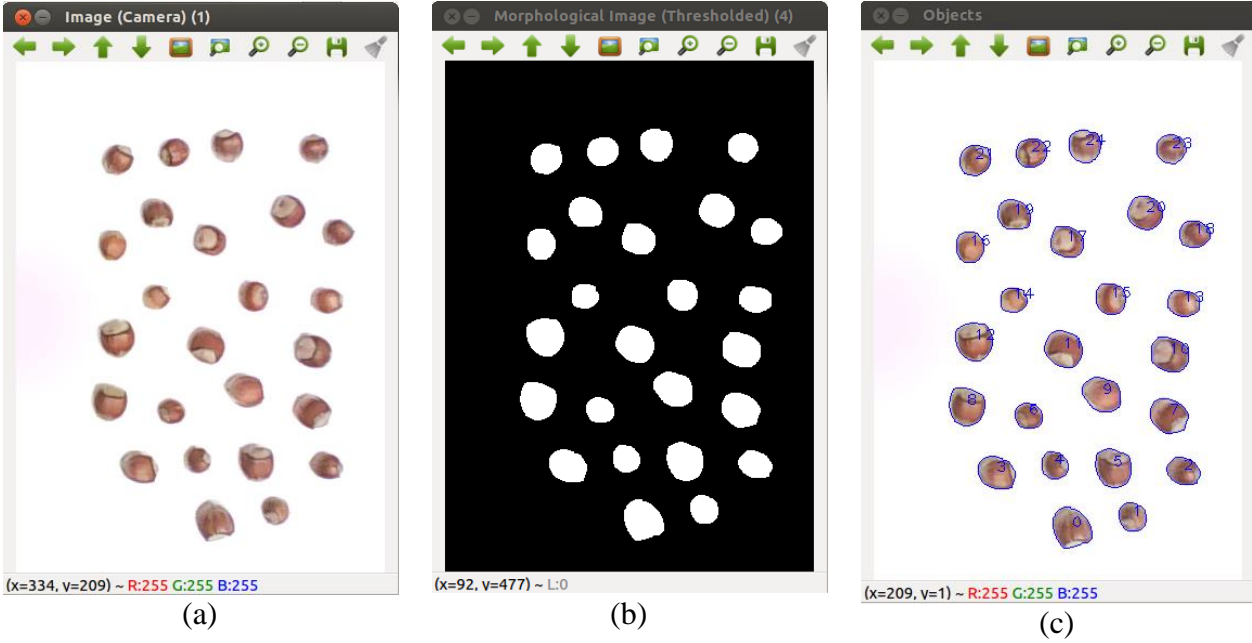
$$d(p, q) = \sqrt{|p_1 - q_1|^j + |p_2 - q_2|^j + \dots + |p_n - q_n|^j} = \sqrt{\sum_{i=1}^n |p_i - q_i|^j} \quad (18)$$

Bu çalışmada nesnelere kümeleme işlemi aşamasında benzerliklerinden yararlanılmıştır. Nesnelere küme merkezlerine uzaklıklarının hesaplanmasında ve kümeleme işleminin gerçekleştirilmesinde Denklem 16'da gösterilmekte olan Euclidean mesafe ölçümü kullanılmaktadır.

Görüntü ön işleme, nesne bulma ve özellik çıkartımı ile elde edilmiş olan nesnelere, piksel olarak hesaplanmış olan alan verileri kullanılarak bilgi veritabanı oluşturulmaktadır. Bilgi veritabanında toplanmış olan veriler K-means kümeleme yöntemi kullanılarak 3 küme ayrılmakta ve bu kümelerin merkez noktaları belirlenmektedir. Çalışmaya yeni bir veri seti eklendiğinde gerçek zamanlı olarak, eklenen veri setindeki nesnelere alanları piksel cinsinden hesaplanmaktadır. Hesaplanan nesne alanlarının, küme merkezlerine uzaklığı Euclidean yöntemi kullanılarak bulunmaktadır. Hesaplanan Euclidean uzaklıkları arasında en düşük olan değer hangi kümeye aitse, nesne o küme yerleştirilmektedir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Önerilen yöntem ile ortamda bulunan fındıkların tespit edilerek kümelenebilmesine yönelik deneysel çalışma yapılmaktadır. Çalışmada 1.3 Megapiksel CMOS, 640 x 480 çözünürlükteki Logitech C110 USB kamera kullanılarak görüntüler alınmaktadır. Alınan görüntüler, Ubuntu 12.04 işletim sistemine sahip bir bilgisayar üzerinde işlenmektedir. Görüntülerin işlenmesi ve sınıflandırılması aşamalarında OpenCV Kütüphanesi ve Weka yazılımları kullanılmaktadır. Şekil 6'da deneysel çalışmadan alınan örnek bir görüntü sunulmaktadır. Şekil 6 (a)'da kameradan alınan görüntüye ait ilgilenilen kısım sunulmaktadır. Kameradan alınan ham görüntüde, çalışma alanı dışında kalan dörtgenin bulunduğu alan kesilmiştir.



Şekil 6: Deneysel çalışmadan alınan örnek görüntü, (a) Kameradan alınan görüntü, (b) Ön işleme aşamasından sonra elde edilen görüntü, (c) Nesne bulma ve özellik çıkarım işleminde elde edilen görüntü. (Image pre-processing stage (a) Camera image, (b) Image after pre-processing step, (c) Object detection and feature extraction image)

Bu işlemten sonra görüntü ön işleme aşamasına geçilmektedir. Görüntü ön işleme aşamasında, resim üzerinde filtreleme, grileştirme, eşikleşme ve morfolojik işlem uygulanmaktadır. Bu işlem basamakları sonucunda elde edilen görüntü Şekil 6 (b)'de sunulmaktadır. Bu görüntü nesne bulma ve özellik belirleme aşamasına girdi olarak verilmektedir. Ortamda bulunan ve ilgilenilen nesnelerin dış hatları belirlenmektedir. Çalışmada kullanılacak alan, çap, yarıçap ve merkez noktasına ait koordinatlar elde edilmektedir. Şekil 6 (c)'de ortamda bulunan nesnelerin dış hatları ve indis numaraları sunulmaktadır.

Ortalama tabanlı ve K-means algoritmasına göre kümeleme işleminde, piksel cinsinden bulunan alan değerleri kullanılarak küme merkezleri elde edilmektedir. Küme merkezleri elde edilirken çalışma ortamına 150 adet fındık yerleştirilerek bilgi veritabanı oluşturulmaktadır. Ortalama tabanlı ve K-means algoritmaları kullanılarak elde edilen küme merkezleri tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Küme merkezleri (Cluster Centers)

Küme Merkezi	Küme Özelliği	Ortalama Tabanlı	K-means
K1	Küçük	388.510	462.560
K2	Orta	612.040	597.610
K3	Büyük	880.885	783.370

Örnek çalışmada ortamda bulunan 25 adet fındık önerilen yöntem kullanılarak %100 başarı oranı ile tespit edilmektedir. Ayrıca, çalışmanın yöntem kısmında sunulan kümeleme metotlarına göre fındıklar ayrıştırılmaktadır.

Tablo 2. Örnek Çalışma Verileri (Case study data)

İndis No	Alan (piksel)	Alan (mm ²)	Ortalama Tabanlı	K-means Algoritması
0	1041	385.355	K3	K3
1	534	197.765	K2	K2
2	603	223.295	K2	K2
3	826	305.620	K3	K3
4	489	181.115	K1	K1
5	946	350.020	K3	K3
6	478	177.045	K1	K1
7	871	322.270	K3	K3
8	939	347.615	K3	K3
9	888	328.745	K3	K3
10	909	336.515	K3	K3
11	924	341.880	K3	K3
12	969	358.715	K3	K3
13	584	216.080	K2	K2
14	461	170.755	K1	K1
15	644	238.465	K2	K2
16	597	220.890	K2	K2
17	713	263.995	K2	K3
18	567	209.790	K2	K2
19	689	255.115	K2	K2
20	778	287.860	K3	K3
21	642	237.540	K2	K2
22	612	226.625	K2	K2
23	572	211.825	K2	K2
24	720	266.585	K2	K3

Deneysel çalışmada, ortalama tabanlı yöntem kullanılarak 3 adet küçük, 12 adet orta ve 10 adet büyük sınıf fındık bulunmaktadır. K-means algoritması kullanılarak yapılan kümelemede 3 adet küçük, 10 adet orta, 12 adet büyük fındık tespit edilmektedir.

Tablo 2’de örnek çalışmada elde edilen bazı veriler sunulmaktadır. Bulunan fındıkların indis numarası, piksel cinsinden görüntü düzleminde kaplamış oldukları alan, mm² cinsinden hesaplanan alan, ortalama tabanlı yöntem ve K-means algoritması kullanılarak hangi fındığın hangi kümeye girdiğini gösteren bilgiler sunulmaktadır. Sunulan örnek çalışmada, iki yöntem ile kümelemenin %92 oranda benzerlik gösterdiği gözlenmektedir.

Tablo 3’te deneysel çalışma ortamına farklı sayıda fındıklar yerleştirilerek kümeleme işlemi gerçekleştirilmekte ve elde edilen sonuçlar özet

halinde sunulmaktadır. Ortama yerleştirilen fındıkların görüntü işleme tekniği kullanılarak %100 oranında tespit edildiği gözlenmiştir. K-means ve ortalama tabanlı kümeleme yöntemleri kullanılarak yapılan sınıflama sonuçlarındaki benzer fındık sayısı ve iki yöntemin benzerlik oranları tablo 3’te sunulmaktadır.

Örneğin, tablo 3’te yer alan durum 1 incelendiğinde, küme dağılımlarının %91 oranında benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. Durum 4’te ortama yerleştirilen fındıkların tamamı iri tespit edilmiş ve benzerlik oranı %100 olarak bulunmuştur. Benzerlik oranlarının düşük olduğu durumlarda, uç noktalarda olan fındıklarda sınıflama kayması olduğu gözlenmektedir. K-means ve ortalama tabanlı kümeleme yöntemleri ile elde edilen sınıflama sonuçlarının birbirine benzerlik oranı %90 ile %100 arasında bulunmaktadır.

Tablo 3: Örnek deneysel çalışmalar (Experimental work examples)

Durumlar	Ortamdaki Fındık	Tespit Edilen Fındık	Ortalama Tabanlı			K-means			Benzer Fındık	Benzerlik Oranı (%)
			K1	K2	K3	K1	K2	K3		
Durum 1	33	33	6	17	10	6	14	13	30	90.91
Durum 2	23	23	6	17	0	8	15	0	21	91.30
Durum 3	10	10	8	2	0	9	1	0	9	90.00
Durum 4	25	25	0	0	25	0	0	25	25	100.00
Durum 5	46	46	12	20	14	14	17	15	43	93.48
Durum 6	52	52	14	30	8	16	27	9	49	94.23
Durum 7	53	53	12	41	0	15	38	0	50	94.34

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Makalede, görüntü işleme teknikleri kullanılarak ortamda bulunan nesnelerin tespit ve sınıflandırılmasına yönelik çalışma sunulmaktadır. Çalışma ortamında bulunan nesnelerin tespit ve sınıflandırılması amacıyla üç aşamalı bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntemin ilk aşaması olan görüntü ön işleme bölümünde kameradan alınan görüntü üzerinde filtreleme, grileştirme, ikili resme çevirme ve morfolojik işlemler uygulanmaktadır. Nesne tespiti ve özellik çıkarımı aşamasında ise, ortamda yer alan nesnelerin bulunması ve alan, boyut ve konum gibi özellik bilgileri elde edilmektedir. Sınıflandırma aşamasında, bilgi veritabanında bulunan veriler, ortalama tabanlı ve K-means algoritmaları kullanılarak sınıflandırılmaktadır.

Makalenin, deneysel çalışma bölümünde örnekleme işlemi için fındık meyvesi


kullanılmaktadır. Çalışma ortamında bulunan fındık meyveleri gerçek zamanlı olarak %100 başarıyla tespit edilmektedir. Ortalama tabanlı ve K-means kümeleme yöntemleri kullanılarak fındık meyvelerinin küçük, orta ve büyük olarak sınıflandırılması gerçekleştirilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda, gerçekleştirilen iki algoritma ile sınıflandırmanın %90 ile %100 oranlarında benzerlik gösterdiği tespit edilmektedir.

Önerilen yöntem, açık kaynak kodlu yazılımlarla gerçekleştirildiğinden lisans maliyeti bulunmamaktadır. Ayrıca, tek kart bilgisayar sistemleri üzerinde gerçekleştirilebilir olarak hazırlanmıştır. Sonuç olarak, gömülü sistem uygulamaları için uygun olup, yüksek performans ve düşük maliyetli olarak gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntemin deneysel çalışmasında farklı nesneler kullanılarak tespit ve sınıflandırma işlemleri de gerçekleştirilebilmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] G. Samtaş and M. Gülesin, "Sayısal Görüntü İşleme ve Farklı Alanlardaki Uygulamaları", *Electronic Journal of Vocational Colleges*, Vol:2(1), pp:85-97, 2011.
- [2] P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," *Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on*, vol: 1, pp.:I-511-I-518, 2001.
- [3] R. Hussin, M.R. Juhari, N.W. Kang, R.C. Ismail and A. Kamarudin, "Digital image processing techniques for object detection from complex background image". *Procedia Engineering*, vol:41, pp:340-344, 2012
- [4] M. Sonka, V. Hlavac and R. Boyle, "Image processing, analysis, and machine vision. Cengage Learning", 2014
- [5] D. Wu and D.W. Sun, "Colour measurements by computer vision for food quality control—A review", *Trends in Food Science & Technology*, vol : 29, no. 1, pp: 5-20, 2013.
- [6] A. Hof and N. Wolf, "Estimating potential outdoor water consumption in private urban landscapes by coupling high-resolution image analysis, irrigation water needs and evaporation estimation in Spain", *Landscape and Urban Planning*, vol:123, pp:61-72, 2014
- [7] M. Latha, A. Poojith, B.A. Reddy and G. V. Kumar, "Image Processing in Agriculture", *International Journal of Innovative Research In Electrical, Electronics, Instrumentation And Control Engineering*, vol. 2, no. 6, pp:1562-1565, 2014.
- [8] F. Kurtulmuş, A. Vardar ve İ. Kavdır, "Bahçe Koşullarında Alınmış Renkli Görüntülerde Doku ve Şekil Öznitelikleriyle Genç Şeftali Meyvelerinin Saptanması", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, vol. 9, no. 2, pp: 141-148, 2013.
- [9] E. Sert, D. Taşkın ve N. Suçsuz, "Görüntü İşleme Teknikleri İle Şeftali Ve Elma Sınıflandırma", *Trakya Univ J Sci*, vol. 11, no. (2), pp: 82-88, 2010.
- [10] M. Sofu, O. Er, M.C. Kayacan ve B. Cetişli, "Elmaların görüntü işleme yöntemi ile sınıflandırılması ve leke tespiti". *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, vol. 8, no. 1, pp:12-25, 2013.
- [11] H.Y. Demirbaş ve İ. Dursun, "Buğday tanelerinin bazı fiziksel özelliklerinin görüntü işleme tekniğiyle belirlenmesi" *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, vol. 13, no. 3, pp: 176-185, 2007.
- [12] S. Bayrakdar, B. Çomak, D. Başol ve İ. Yücedağ, "Determination of type and quality of hazelnut using image processing techniques". *In Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, pp. 616-619, May 2015.
- [13] S. A. Guvenc, F.A. Senel and B. Cetisli, B. "Classification of processed hazelnuts with computer vision", *In Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, pp. 1362-1365, May 2015.
- [14] M. Balcı, A. A. Altun ve Ş. Taşdemir, "Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Napolyon Tipi Kirazların Sınıflandırılması", *Selçuk-Teknik Dergisi*, vol. 15, no. 3, pp. 221-237, 2016
- [15] M. Beyer, R. Hahn, S. Peschel, M. Harz and M. Knoche, "Analysing fruit shape in sweet cherry (*Prunus avium* L.)". *Scientia Horticulturae*, vol. 96, no. 1, pp.139-150, 2002.
- [16] S. Ercisli, B. Sayinci, M. Kara, C. Yildiz and I. Ozturk, "Determination of size and shape features of walnut (*Juglans regia* L.) cultivars using image processing", *Scientia horticulturae*, vol. 133, pp. 47-55, 2012.
- [17] F. Antonucci, C. Costa, F. Pallottino, G. Paglia, V. Rimatori, D. De Giorgio and P. Menesatti, "Quantitative method for shape description of almond cultivars (*Prunus amygdalus* Batsch)", *Food and bioprocess technology*, vol.5, no.2, 768-785, 2012.
- [18] A.K. Jain and R. C. Dubes, R. C. "Algorithms for clustering data", *Prentice-Hall, Inc.*, 1988.
- [19] W. Pratt, "Digital image processing", *Wiley-Interscience*, 2007.
- [20] G. Bradski and A. Kaehler, "Learning OpenCV: Computer vision with the

- OpenCV library”, *O’Reilly Media, Inc.*, 2008.
- [21] S. Solak S., “Gezgin Robotların Konum Belirleme ve Engel Sakınım Probleminin Tek Kartlı Bilgisayar Sistemi Kullanılarak Çözümü”, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2016
- [22] S. Suzuki, “Topological structural analysis of digitized binary images by border following”, *Computer vision, graphics, and image processing*, vol. 30, no. 1, pp. 32-46, 1985.
- [23] L. Kaufman and P.J. Rousseeuw, “Clustering by means of medoids”, *Statistical Data Analysis Based on The L1-Norm and Related Methods*, pp. 405–416, 1987.
- [24] J. MacQueen, “Some methods for classification and analysis of multivariate observations”, *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, University of California Press, Berkeley, Calif., vol. 1: pp. 281-297, 1967.
- [25] S.L. France, J.D. Carroll and H. Xiong, “Distance metrics for high dimensional nearest neighborhood recovery: compression and normalization”, *Information Sciences*, vol. 184, no. 1, pp. 92-110, 2012.

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 26-04-2016 <u>Kabul/Accepted</u> 25-09-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.221353	

Sakarya şehri için dış ve iç yönlendirmeli rezervasyon tabanlı otopark yönetim sistemi tasarımı ve sistem başarımı

Metin Varan^{*1}, Ceylan Karakuş²

ÖZ

Günümüz şehirlerinin her geçen gün artan nüfus yoğunlukları şehrin çoklu kullanım alanlarının verimli, sağlıklı ve güvenli olarak paylaşılması çalışmalarını zorlaştırmaktadır. Bunun üstesinden gelmek için şehir altyapı planlamalarının geleceğe yönelik revize edilmesi başta olmak üzere şehrin ortak kullanım alanlarının optimize kullanılmasıyla ilgili birçok çözüm stratejisi geliştirilmiştir. Bu altyapı optimizasyonunda en önemli bileşenlerden biri hiç şüphesiz trafik koordinasyonudur. Sağlıklı bir şehiriçi araç parklanma yönetiminin sağlanması günümüz şehirlerinde trafik altyapı koordinasyonunda oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada çeşitli endüktif sensörler, kameralar ve trafik yönlendirme ve bilgilendirme panoları kullanılarak parklanma sahası içinde veya trafikte hareket halinde olup park yeri bulmaya çalışan araçların en kolay ve en kısa sürede park edebilmesini sağlayacak bir parklanma rezervasyon sistemi geliştirilmiştir. Şehir içerisinde bulunan otoparkların şehir parklanma sorununa katkıda bulunacak koordineli bir yönetim sistemi ile atıl vaziyetten kurtulması ve daha işlevsel hale getirilmesi çalışmanın hedefidir. Kurgulanan akıllı park yönetim sistemi pilot park kapasitesi dikkate alınarak başta sürücülerin günüçi yoğun saatlerde park yeri bulmada yaşadığı ortalama 7.3 dakikayı bulan parklanma süresinin 1.6 dakikaya kadar düşürülebilmesi bununla beraber kazanılan parklanma süresi kısaltımı ile hem trafik akışının sürekliliğine katkıda bulunulacak sadece parklanma yapacak aracın değil trafikte olan diğer araçların CO2 emisyonunun ve yakıt tüketiminin pilot park kapasitesi üzerinden oransal olarak en az %74.5 daha düşük seviyelere çekilmesi ve işgücü zamanının aynı oran üzerinden % 10 artırılması hedeflenmektedir. Bununla beraber şehir altyapılarının daha akıllıca kullanılması ve basitleştirilmiş parklanma verilerinin toplanması ile günüçi atıl durumdan kurtulacak olan park yerlerinin işletme kârlılığının oransal olarak en az %20 artırılarak park ücretlerinin de %15 minimize edilebilmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bildirim Panelleri, Şehir İçi Akıllı Parklanma Çözümü, Trafik Koordinasyonu, Ulaşım Sistemi Entegrasyonu

¹ Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Serdivan, SAKARYA

² Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Serdivan, SAKARYA

Design and performance assessment of reservation based parking system management for Sakarya city

ABSTRACT

Constantly growing population of modern cities makes it difficult to share the public areas efficiently, healthy and securely. Especially revising the infrastructures of urban regions according to future, there are a lot of strategies including optimum operating of public areas to overcome this problem. Undoubtedly, one of the most important components of optimization facilities is the traffic coordination. Studies on building the multi-lane roads, subways, undergrounds and pedestrian bridges, positioning the pedestrian and vehicle lanes for these roads, designing the traffic lights according to traffic jam are the most important backbones of the traffic management. Intelligent signalization applications integrated with this backbone, traffic routing and pinboards are some main components of the coordination for this traffic infrastructure. For this reason, the management of city car parking is crucial for this coordination works. In this study, it has been intended to design a system enables cars, in motion at traffic or parking area, to park in a easiest way as soon as possible via various inductive sensors, cameras, traffic routing and pinboards. Intelligent car parking solutions integrated with city traffic management systems have been formed by providing data coordination via cellular and fiber communication infrastructures in accordance to the proposed structure of the system. The parking time with an average of about 7.3 minutes during the day can be reduced by up to 5.3 minutes through considered parking system. Thus, time saving and labor force efficiency will be achieved about 74,5% which means CO2 emissions, are not only for cars in traffic but also for other vehicles, will be reduced at least about 15% in accordance with total pilot parking time. At the same time, more effective utilization of city infrastructure and data collection of simplified parking system will provide us to gain at least 20% operating profit and minimize proportionally parking fees about 15%.

Keywords: Variable Message Systems(VMS), Smart Parking, Traffic Coordination, Transportation Integration Systems

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüz şehirlerinin her geçen gün artan nüfus yoğunlukları şehrin çoklu kullanım alanlarının verimli, sağlıklı ve güvenli olarak paylaşılması çalışmalarını zorlaştırmaktadır. Bunun üstesinden gelmek için şehir altyapı planlamalarının geleceğe yönelik revize edilmesi başta olmak üzere şehrin ortak kullanım alanlarının optimize kullanılmasıyla ilgili birçok çözüm stratejisi geliştirilmiştir [1,2]. Bu çözüm stratejileri arasında hiç şüphesiz günümüz metropollerini için uluslararası düzeyde kabul gören sürdürülebilir şehir politikaları eylem planıdır. Sürdürülebilir şehir politikaları, yeşil çevre ve yeşil enerji kavramları günümüz şehir yönetimlerinin en önemli hedefi haline gelmiştir. Bu politikalar bir yandan artan yaşam standartlarını en yüksek düzeyde karşılamaya çalışırken diğer yandan yeşil çevre, gürültü azaltımı ve güvenli şehir altyapısı oluşturmayı da hedeflemektedir [3]. Refah seviyesinin artması bireysel taşıt kullanımını arttırmış ve halkın ortak kullanımında olan yerler

her geçen gün daha fazla kişi ve araç tarafından paylaşılmaya başlamıştır [4,5]. Bu durum karbondioksit salınımı, gürültü ve yoğun trafik oluşumu olarak sürdürülebilir şehir standartlarını olumsuz etkilemektedir. Şehrin trafik koordinasyonu ile ilgili yapılan çalışmalar yeşil çevre ve yeşil enerji uyumlu sürdürülebilir şehir politikaları hedefleri arasında yer alan küresel ısınma etkisinin ve şehrin gürültü seviyesinin azaltımı ve şehrin güvenliğinin artırılması çalışmalarında [6] etki değeri yüksek bir koordinasyon rolüne sahiptir. Şehir içi çok şeritli yolların, alt ve üst geçişlerin yapılması, bu yollara ait yaya ve araç şeritlerinin düzgün konumlandırılması, trafik akış yönlerinin şehrin hareket yoğunluğunu kaldırabilecek şekilde düzenlenmesi çalışmaları şehrin trafik yönetimi açısından en temel omurga yapılarıdır. Bu omurga ile entegre akıllı sinyalizasyon uygulamaları, trafik yönlendirme ve bilgilendirme panoları modern şehirlerde trafik altyapı koordinasyonunun belli başlı bileşenleridir [7,8]. Geniş toplu parklanma alanlarının yetersiz kalması ve şehrin altyapı planlamasının nüfus artış oranlarına yeterince

cevap veremeyişi, altyapı ve araç parklanma yerlerini en uygun kullanabilme arayışları doğurmuştur. Bu kapsamda günümüz şehirlerinde trafik altyapısı ile entegre sağlıklı bir şehiriçi araç parklanma yönetiminin sağlanması elzem hale gelmiştir [9,10].

Akıllı park rezervasyon sistemleri akıllı ulaşım sistemleri (AUS)' nin bir parçası olup Çin, Japonya, Avrupa ve Amerika'da bir çok şehirde uygulaması bulunan sistemlerdir [11]. Bu sistemlerin bazılarında araçıçi navigasyon sistemleri entegrasyonu ilave edilmiş olup, internet kullanıcılarının da sisteme bağlı otoparkların gerçek zamanlı parklanma bigilerini, lokasyon bilgilerini, tarife bilgilerini ve yer uygunluğu durumlarının takip ederek rezervasyon yapılabilmesi mümkün haldedir. Bundan başka bazılarında yolüstü ve kapalı park uygunluk durumları ile ilgili bildirimlerin yapıldığı bilinmektedir [12]. Müşteriler tüm bu bilgileri kullanarak karar verme süreçlerinde bulunarak; (i) kişisel tercihlerine uygun parklanma yeri seçimi, (ii) daha az zamanda park süresi, (iii) ödeme sırası beklememek için park rezervasyon ücretlerinin önceden ödenmesini sağlayan bir sistemden hizmet alabilmektedirler. Böylelikle trafik oluşumu ve kirliliğin azaltılmasına olumlu katkıda bulunabilmektedirler [13]. Önerilen Dış ve İç Yönlendirmeli Rezervasyon Tabanlı Otopark Yönetim Sistemi bünyesinde hücrel ve fiber haberleşme altyapıları veri koordinasyonu sağlanarak şehir trafik yönetim sistemleri ile entegre şehiriçi akıllı parklanma çözümleri oluşturulmuştur.

Bu çalışmada, çeşitli endüktif sensörler, kameralar ve trafik yönlendirme ve bilgilendirme panoları kullanılarak parklanma sahası içinde veya trafikte hareket halinde olup park yeri bulmaya çalışan araçların en kolay ve en kısa sürede park edebilmesini sağlayacak rezervasyon tabanlı bir sistem geliştirilmiştir.

Geliştirilen akıllı park yönetim sistemi pilot park kapasitesi dikkate alınarak başta sürücülerin günüçi yoğun saatlerde park yeri bulmada yaşadığı ortalama 7.3 dakikayı bulan parklanma süresinin 1.6 dakikaya kadar düşürülebilmesi bununla beraber kazanılan parklanma süresi kısaltımı ile hem trafik akışının sürekliliğine katkıda bulunulacak sadece parklanma yapacak aracın değil trafikte olan diğer araçların CO2 emisyonunun ve yakıt tüketiminin pilot park kapasitesi üzerinden oransal olarak en az %74.50 daha düşük seviyelere çekilmesi ve işgücü

zamanının aynı oran üzerinden % 10 arttırılması hedeflenmektedir. Bununla beraber şehir altyapılarının daha akıllıca kullanılması ve basitleştirilmiş parklanma verilerinin toplanması ile günüçi atıl durumdan kurtulacak olan park yerlerinin işletme kârlılığının oransal olarak en az %20 arttırılarak park ücretlerinin de %15 minimize edilebilmesi hedeflenmiştir.

2. GEREÇ VE YÖNTEM (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Akıllı Park Yönetim Sistemleri (IntelligentPark Management Systems)

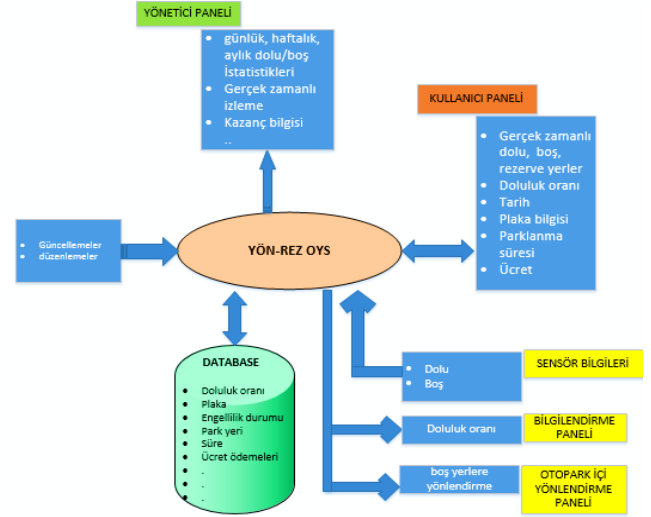
Kent yaşamında kullanılan birçok bilgi iletişimi altyapısı şehir hayatını kolaylaştırmakta ve sürdürülebilir şehir yönetimine katkıda bulunmaktadır. Bilgi paylaşımının düzenli ve koordineli yapıldığı akıllı şehirler olarak adlandırılan şehirlerde ekonomik verilerin paylaşımı, yönetsel bilgilerin paylaşımı, kentin çevre ile ilgili bilgilerin paylaşımı ve kent içi hareket bilgilerinin paylaşımı yapılmaktadır [14]. Bu bağlamda akıllı ulaşım sistemleri (AUS) haberleşme, gelişmiş veri iletişimi, bilgisayar ve diğer teknolojileri ulaşım alanında kullanarak insanları, araçları ve yolları da bu sisteme dahil eden entegre bir sistemdir. Yol yönetim sistemlerinin amacı ileri teknolojiler kullanarak trafik sıkışıklığını azaltmak, yol kapasitesini arttırmak ve yol kullanıcılarına yol bilgisi ve uygun hizmetler sunmaktır [15]. Kent içi hareket bilgilerinin paylaşımı akıllı ulaşım sistemlerinin en önemli girdisi olup bu bilgi akıllı parklanma sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Özellikle refah seviyesine bağlı olarak artan bireysel araç kullanımı sürdürülebilir trafik ve park yönetimi için bu bilginin etkin kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. İlk akıllı park yönlendirme bilgi sistemi (PYBS) altyapısı 1971 yılında Almanya Aachen'da kurulmuş ve bu bilgi altyapısı sayesinde akıllı parklanma üzerinde çalışan araştırmacılara önemli çalışma verisi sağlamıştır. Bu verilere kullanan araştırmacılar çeşitli parklanma modelleri geliştirerek park yönetiminde verimlilik arayışı çalışmalarında bulunmuşlardır [16].

Thompson ve arkadaşları, araç sahibinin parklanma davranış modellerini [17,18] yaptıkları çalışmalarla oluşturmaya çalışmışlardır. Thomson'un geliştirdiği modelde deterministik olmayan araç park özellikleri ve sürücülerin park seçim metodolojileri parkın iç faktörlerine bağlı

etkilere göre puanlanmıştır. Bu eksik kalan bilgi yönetimini Peter Bansel ve arkadaşı (2004) çalışarak parklanma tercih modellerini simüle edip analiz etmişlerdir. Ancak bu çalışmada da parklanma verileri sürücülerini anlık değişim durumu bilinmeyen bir parklanma girdisi kullanmaktan kurtaramamıştır. Sonraki araştırmacılar Mei ve arkadaşları [19] yayınlarında opsiyonel ve tercihli parklanma modelleri oluşturarak, park yönlendirme sisteminin güvenilirlik analizlerini yapmışlardır. Bu çalışma geliştirilen kullanıcı park tercihlerinin güvenilirliğinin sorgulandığı ve analiz edildiği ilk çalışmadır. Sürücülerin park yeri bulmada kaybettiği zamanı minimize etmek amacıyla Mingkai Chen ve arkadaşları [20] sürücülerin parklanma alışkanlıkları ve tercihleri üzerinde analizler yaparak en uygun park yeri bulmada bir optimizasyon tekniği geliştirmişlerdir. Park yerlerinde artan park ücretleri tarifeleri üzerinden bir optimizasyon çalışması da Khandker ve arkadaşları [21] tarafından yapılmıştır. Mariano Gallo ve arkadaşları [22] ise park tercihleri ve bunun trafik oluşumuna etkilerini inceleyen bir çalışmayı çok katmanlı ağ topolojisine göre simüle edip modellemişlerdir.

2.2. Geliştirilen Dış ve İç Yönlendirmeli Rezervasyon Tabanlı Otopark Yönetim Sistemi (Developed Reservation Based Parking Management System)

Dış ve İç Yönlendirmeli Rezervasyon Tabanlı Otopark Yönetim Sistemi adlı (YÖN-REZ OYS) önerilen modelde, otopark içerisindeki park yerlerinde bulunan endüktif sensörler yardımı ile doluluk, boşluk bilgisi alınarak veritabanına aktarılmaktadır. Bu bilgiler hem kullanıcı panelinden hem bilgilendirme panellerinden hem de yönetim panellerinden gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir. Kullanıcı arayüzü üzerinden park yeri seçerek rezervasyon yapan kullanıcılar, otoparka geldiklerinde kameralar üzerinden plaka okuma yapılarak park yerine en kısa sürede yönlendirileceği gibi, otoparka rezervasyonsuz gelen diğer kullanıcılarda otopark içi yönlendirme panelleri ile boş park yerlerine yönlendirilmektedir. Yönetici paneli ile otopark ile ilgili günlük, haftalık, aylık doluluk istatistikleri, kar durumu izlenebilmektedir. Şekil 1. de önerilen araç parklanma yönetim sistemi modeli bulunmaktadır.



Şekil 1. Önerilen Araç Parklanma Yönetim Sistemi Modeli
(Proposed Parking Management System Model)

2.3. Geliştirilen Sistemin Başarımının Değerlendirilmesi (Assessment of Developed System Success)

Rezervasyon tabanlı parklanma sisteminin şehir park yönetimi üzerindeki katkılarının değerlendirilmesine ilişkin senaryo oluşturulurken Sakarya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı'ndan alınan gerçek veriler baz alınarak araç sayılarının trafiği etkileme süreleri, parklanma yapacak ve trafikte seyir halindeki araçların ortalama yakıt tüketimleri ve gecikmeler uluslararası ortalamalar göz önüne alınarak tahmini olarak değerlendirildi. Senaryo sonucunda geliştirilen YÖN-REZ OYS modelinin şehir park yönetimine entegrasyonu ile sürücülerin en uygun şekilde parklanma alanlarına yönlendirilerek park yapma süresi, yakıt tüketimi ve CO2 salınımına ilişkin değerler üzerinden sistem başarımları sorgulanmıştır.

Sistem değerlendirmesinde oluşturulan senaryo, bir sürücünün şehir merkezinde gitmek istediği lokasyona (hedef noktası) uygun olarak aracına park yeri aramasına dayanmaktadır. Thompson R.G.[17] Giuffrè T. ve arkadaşlarının [23] yaptığı çalışmalar ile FU Jiabin ve arkadaşlarının [10] yaptığı çalışmalar referans alınarak yeni oluşturulan senaryo için kabuller ve parametreler belirlenmiştir.

Sisteme Kent Meydanı Yeraltı Otoparkı (A), Garaj 54 Otoparkı (B), Kent Otopark (C) ve Katlı Otopark (D) olmak üzere 4 adet otoparkın entegre olduğu varsayılmaktadır. Otoparkların tamamen boşken saat başı ücretleri sırasıyla 5 TL, 6 TL, 5 TL ve 5 TL olarak belirlenmiştir. Ancak park ücretlerinin sabit kalmadığı, otoparkın doluluk

oranları arttıkça düştüğü kabul edilerek doluluk oranına göre uygulanan indirimler Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Doluluk Oranlarına Göre Uygulanan İndirimler

% Doluluk Oranı (DO)	Ücret
DO≤ 30	Sabit değer
30<DO≤50	%2 indirimli
50<DO≤70	%20 indirimli
70<DO≤90	%50 indirimli
DO> 90	%60 indirimli

Her otoparkın katılımcılara sunduğu rezervasyon kontenjanının sistemdeki katılımcı sayısı ve otoparklardaki boş park yerleri ile orantılı olduğu kabul edilerek Tablo 2. deki ilişki oluşturulmuştur. Boş park yeri Sf ile gösterilmiştir.

Tablo 2. Katılımcı sayısına göre rezervasyon kontenjanları

Katılımcı Sayısı (KS)	Rezervasyon kontenjanı
KS≤50	Sf * %1
50<KS≤500	Sf * %5
500<KS≤2000	Sf * %10
2000<KS≤5000	Sf * %50
KS> 5000	Sf * %60

Parklanmada hedef noktaya maksimum uzaklık ideal olarak 500 metre kabul edilmektedir[24]. Sürücü sistemin sunduğu kullanıcı web arayüzü üzerinden hedef noktasını girdiğinde, hedef noktası etrafında yarıçap 500 m olacak şekilde bir çember ile alan taranır ve sisteme kayıtlı olan otoparklardan otoparktan hedef noktasına yürüme mesafesi, mevcut lokasyonun otoparklara uzaklığı, park ücretleri ve otoparkların rezervasyon kontenjanları kapsamında sürücüye en uygun otopark seçimi yaptırılacaktır. Bu şekilde sürücünün trafikte sıkışıklık yaratmasının önüne geçilerek sürücü direk otoparka yönlendirilecek ve otopark içerisinde bulunan plaka tanıma sistemi ve yönlendirme panelleri ile maksimum 1 dk da park yerini bulacağı kabul edilmiştir. Sürücünün aracını park etme süresi parklanma yerine göre farklılık göstermeyerek ortalama 30 sn olarak alınmıştır. Geleneksel parklanma, Park yeri arayan araçların %20'si yol üstü parklanma imkanı bularak, parklanma esnasında yapılan

manevralardan dolayı ortalama trafik yoğunluğuna bağlı olarak saatte her 500 araç için 5 sn süreyle trafikte sıkışıklığa sebep olarak trafik akışını yavaşlattığı ve yol üstü parklanma imkanı bulamayan araçların otoparka gittiği, otoparkın doluluk oranına göre değişecek şekilde park yeri bulma süresinin maksimum 5 dk, aracı park etme süresinin maksimum 30 sn olduğu kabul edilmiştir. Park ücreti ödeme süresi ise ortalama 1 dk olarak alınmıştır. Şehir içinde seyir halinde araçların ortalama hızı: 40 km/sa; yakıt tüketimi: 100km de 5 lt ve CO2 salınımı 132 g /km olarak alınmıştır. Sisteme entegre olan kullanıcılar için en uygun otopark seçimine ait hesaplamalar eşitlik (1) de ve parametreler aşağıda verilmiştir.

Otopark Puanı ;

$$OP=(a.YM(m;x)+b.PÜ(tl;x)+c.T(m;x)+d.RK(adet;x)) \quad (1)$$

YM(m); hedef noktasına yürüme mesafesi otoparktan, $0 \leq YM(m;x) \leq 1$

PÜ(tl); park ücreti, $0 \leq PÜ(m;x) \leq 1$

T(m) ; mevcut sürücü lokasyonundan otoparka olan mesafe, $0 \leq T(m;x) \leq 1$

RK(m); otoparkın sunduğu rezervasyon kontenjanı, $0 \leq RK(adet;x) \leq 1$

a,b,c ve d katsayıları otopark seçiminde kullanılan hedef noktanın otoparka mesafesi, park ücreti, mevcut sürücü lokasyonunun otoparklara mesafesi ve otoparkların rezervasyon kontenjanları parametrelerinin ağırlıklarını belirtmektedir. Sırasıyla 0.4 – 0.3 – 0.2 – 0.1 olarak kabul edilmiştir [1]. Bu durumda OP değeri 0-1 aralığında çıkacaktır.

Değerlendirmede kullanılan diğer parametreler;

Sa; otopark kapasitesi,

DO; doluluk oranı,

Rezer. Kon; rezervasyon verilen kontenjan

Kamp. Kon; kampanyalı park yeri kontenjanı, rezervasyon kontenjanının %10 u kampanyaya sunulan park yeri sayısı olarak kabul edilmiştir.

Tablo 3. Hedef Lokasyon Baz Alınarak Sisteme Entegre Olan Otoparkların Öznitelikleri

Katılımcı durumları	Sisteme Entegre Olan Otoparklar	YM (m)	Sa (adet)	DO	Rezerv. Kon.	Kamp. Kon.	PÜ (tl)	T (m)
Durum 1: katılımcı sayısı 50	A otopark	600	370	0,5	2	1	4,900	5000
	B otopark	250	150	0,45	1	1	5,880	4500
	C otopark	100	200	0,2	1	1	5,000	4800
	D otopark	350	300	0,5	2	1	4,900	5700
Durum 2: katılımcı sayısı 500	A otopark	600	370	0,6	12	2	4,000	5000
	B otopark	250	150	0,55	5	1	4,800	4500
	C otopark	100	200	0,3	3	1	5,000	4800
	D otopark	350	300	0,6	9	1	4,000	5700
Durum 3: katılımcı sayısı 1000	A otopark	600	370	0,8	30	3	2,500	5000
	B otopark	250	150	0,75	12	2	3,000	4500
	C otopark	100	200	0,5	10	1	4,900	4800
	D otopark	350	300	0,8	24	3	2,500	5700

Tablo 3. de görüldüğü gibi uygulanan modele göre sisteme entegre olan katılımcı sayısı arttıkça ve otoparkların doluluk oranları arttıkça rezervasyon kontenjanları ve kampanyalı park yerleri sayısı artırılmış parklanma ücretleri düşürülmüştür. Böylelikle, sistem kullanıldıkça fiyatı düşecek, fiyatı düştükçe de tercih edilmesi artacaktır. Tablo 4. de katılımcının otopark tercih değerleri oluşturulmuştur.

Her iki parklanma sisteminde parklanan araçlar için Toplam Yakıt Tüketimi, Toplam CO2 Salınımı

ve Parklanma Süresi hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik (2), (3) ve (4) parametreleri kullanılmıştır [23].

Toplam Yakıt Tüketimi;

$$TYT = \text{Birim yakıt miktarı} \times (A (St, t) + B(Sg, t, Q) + C(Sr, t, Pr(p)) + D(Sr, t) + E(Sr, t)) \quad (2)$$

Toplam CO2 salınımı;

$$TCO_2 = \text{Birim miktarda salınım} \times (A (St, t) + B(Sg, t, Q) + C(Sr, t, Pr(p)) + D(Sr, t) + E(Sr, t)) \quad (3)$$

Tablo 4. Katılımcı Otopark Tercih Puantaj Tablosu

Ağırlıklar	Otoparklar	0.4	0.3	0.2	0.1	En uygun Otopark
		YM (puanı)	PÜ (puan)	T (puan)	R.K. (puan)	
Durum 1: katılımcı sayısı 50	A	seçim havuzunda değil	0.833	0.877	0.000	-
	B	0.5	1.000	0.789	0.500	0.708
	C	0.2	0.850	0.842	0.500	0.554
	D	0.7	0.833	1.000	0.000	0.730
Durum 2: katılımcı sayısı 500	A	seçim havuzunda değil	0.800	0.877	0.000	-
	B	0.5	0.960	0.789	0.583	0.704
	C	0.2	1.000	0.842	0.750	0.623
	D	0.7	0.800	1.000	0.250	0.795
Durum 3: katılımcı sayısı 1000	A	seçim havuzunda değil	0.510	0.877	0.000	-
	B	0.5	0.612	0.789	0.600	0.601568
	C	0.2	1.000	0.842	0.667	0.615088
	D	0.7	0.510	1.000	0.800	0.653

Araç parklanma süresi;

$$PS = (A (St, t) + B(Sg, t, Q) + C(Sr, t, Pr(p)) + D(Sr, t) + E(Sr, t)) \quad (4)$$

A(Sr, t); Park yeri aramak için trafik yoğunluğunu artırma süresi,

B(Sg, t, Q); Yol üstünde parklanma manevrasından dolayı trafiği aksatma süresi

C(Sr, t, Pr(p)); Otopark içinde yer arama süresi

D(Sr, t); Park etme süresi

E(Sr, t); Ücret ödeme süresi

Hedeflerin etkinliği aşağıdaki parametreler üzerinden değerler hesaplanmıştır.

Q (taşıt/sa); trafik akışı

Trafik akışı; Sakarya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı ‘ndan alınan C Otoparka bağlanan 1. Hat dan 2014 Ağustos ayına ait bir günde 07:30-08:30 saatleri arasında Atatürk Bulvarı’ndan gelen araç sayısı 923, Adnan Menderes den gelen araç sayısı 1288, Palmiye den gelen araç sayısı 656 ve Patates Hali güzergahından gelen araç sayısı 514 olmak üzere toplam 3301 adet araç sayımı gerçekleştirilmiştir. Bu veriler  hat üzerindeki trafik yoğunluğu ve park yeri arayan araç sayısı değerlerinin ortalaması olarak kabul edildi.

L(m); Parklanma için trafiğin sıkıştırıldığı, yönlendirme panosunun bulunduğu mesafe
Sp_{av} (km/sa); Araçların ortalama hızları
TSS₁(sn/sa); parklanma yapacak araçların Q trafik akışında toplam seyahat süresi
D₁(sn/s a); bir saat içinde bütün araçların toplam otopark içinde park yeri arama süresi
D₂(sn/s a); bir saat içinde bütün araçların toplam park etme süresi
TSS₂(sn/s a); D₁ve D₂ ye bağlı olarak toplam otopark içinde geçen süre
S (sn/sa);ücret ödeme için geçen süre

Tablo 5. C Otoparkına Ynlenen Aracın Geleneksel Parklanma ve Rezervasyon Tabanlı Parklanma Karşılaştırılmalı lm ve Değerlendirme Verileri

Parklanma Profili	Q (araç/sa)	L (m)	SPav (km/sa)	TSS 1 (s)	D1 (s)	D2 (s)	TSS2 (s)	S (s)	YM (m3)	CO 2 (g/km)	PS (dk)
Sisteme Entegre olan Kullanıcı	3301	400	40	36	30	30	60	0	0.05363898	141.60691	1.6
Geleneksel Kullanıcı	3301	400	30	48	300	30	330	60	0.21030564	555.20691	7.3

Tablo 5 de geleneksel parklanma ve nerilen YN-REZ OYS’i arasında önemli farklılıklar oluşmuştur. Buna göre;

- Veriler incelendiğinde C otoparkına parklanma için rezervasyon yapacak araçların Q trafik akışında toplam seyahat süresi geleneksel park yönetimine göre %25 azaldığı grlmştir.
- Bununla birlikte D1 sürelerine bakıldığında rezervasyon ve otopark içi yönlendirme panolarının katkısıyla araç sahiplerinin yer bulma kaygısı taşımadan geleneksel parklanmaya göre çok kısa sürede boş park yerine ulaştığı görülmektedir. Buna dayanarak TSS₂ değerleri de düşmektedir.
- Rezervasyon sistemi kullanılarak yapılan parklanma süreci boyunca yakıt tüketimi değerleri ve buna bağlı CO₂ değerlerinin YN-REZ OYS modelinde %74.50 azaldığı grlmştir.

Hatların trafik yoğunluğu ve otoparktaki yoğunlukla ilişkili olarak her iki durumda elde edilen parklanma için toplam harcanan srelerin YN-REZ OYS modeli ile yaklaşık 7.3 dakikalık parklanma süresinin 1.6 dakika seviyelerine çekildiği görülmektedir. Yzdeye vurduğumuzda parklanma sresinde %78.08 luk bir azalma söz konusudur.

3. SONUÇLAR(CONCLUSIONS)

Bu çalışmada akıllı teknolojilerle güçlendirilmiş bir parklanma rezervasyon sisteminin şehir altyapı yatırımlarının daha yüksek doğrulukta projeksiyonlarla oluşturulmasına ve araç sahiplerinin şehrin park altyapısını daha düzenli bir şekilde kullanmasına ve hizmet almasına sağlayacağı katkı değerlendirilmiştir. Önerilen model bünyesinde hücresel ve fiber haberleşme altyapıları üzerinden veri koordinasyonu sağlanarak şehir trafik yönetim sistemleri ile entegre şehiriçi akıllı parklanma çözümleri oluşturulmuştur. Entegreli sistem tahmini veriler üzerinden geleneksel parklanma ile

karşılaştırıldığında parklanma süresindeki %78.08'lik azalma, yakıt tüketiminin azalmasına bağlı olarak CO2 emisyonunda %74.50'lik bir azalma ile geliştirilen sistem başta sürücülerin günüçi yoğun saatlerde park yeri bulmada yaşadığı uzun sürelerin azaltılması bununla beraber kazanılan parklanma süresi kısaltımı ile hem trafik akışının sürekliliğine katkıda bulunulması hem de sadece parklanma yapacak aracın değil trafikte olan diğer araçların CO2 emisyonunda düşük seviyelere çekilmesi ve trafikte kaybolan işgücü zamanının aynı şekilde azaltılması hedeflerinin sağlanabileceği görülmektedir.

Önerilen parklanma rezervasyon sisteminin kazan-kazan fırsatlarıyla park sağlayıcı, araç sahibi başta olmak üzere vergi otoritelerinin de bu kazanç zincirine dahil edilecek bir parklanma sistemi olacağı düşünülmüştür. Bununla beraber şehir altyapılarının daha akıllıca kullanılması ve basitleştirilmiş parklanma verilerinin toplanması ile günüçi atıl durumdan kurtulacak olan park yerlerinin işletme kârlılığının artırılarak park ücretlerinin de minimize edilebilmesi de mümkün hale gelebilecektir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışmada geliştirdiğimiz sistemi yapımı devam eden Sakarya Büyükşehir Belediyesi İstasyon Katlı Otopark'ına pilot olarak uygulama konusunda destekleri ve Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına SANTEZ projesi olarak sunmada desteklerini esirgemeyen Sakarya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanı Fatih PİSTİL Bey'e, Trafik Şube Müdürü Orhan NERGİZ Bey'e ve Teknoloji Fakültemiz Dekanı ve Sakarya Büyükşehir Belediyesi Danışmanı Prof.Dr. Mehmet Sarıbyık Bey'e teşekkürlerimizi borç biliriz.

KAYNAKLAR(REFERENCES)

- [1] Chen, Z., Xia, J.C., Irawan, B., Caulfied, C., 2014, "Development of Location-Based Services For Recommending Departure Stations to Park and Ride Users", Elsevier, Transportation Research Part C 48, 256–268.
- [2] Chou, S. Y., Lin, S. W., Li, C. C., 2008, "Dynamic parking negotiation and guidance using an agent-based platform", Elsevier,

Expert Systems with Applications 35, 805–817.

- [3] Dobre, C., Xhafa, F., 2014, "Intelligent services for Big Data science", Elsevier, Future Generation Computer Systems 37,267–281.
- [4] Du, L., Han, L., Li, X. Y., 2014, "Distributed coordinated in-vehicle online routing using mixed-strategy congestion game", Elsevier, Transportation Research Part B 67, 1–17.
- [5] Haque, M. M., Chin, H. C., Debnath, A. K., 2013, "Sustainable, safe, smart three key elements of Singapore's evolving transport policies", Elsevier, Transport Policy 27, 20–31.
- [6] Harrison C., 2010, "Foundations for Smarter Cities", IBM J. Res. & Dev. Vol. 54 No. 4 Paper 1 July/August.
- [7] Qingquan L., 2011, "Dynamic accessibility mapping using floating car data: a network-constrained density estimation approach", Elsevier, Journal of Transport Geography 19, 379–393.
- [8] Mahmud, S. A., Khan, G. M., Rahman, M., Zafar, H., 2013, "A Survey of Intelligent Car Parking System", Journal of Applied Research and Technology, Faheem et al. / 714-726.
- [9] Yamagata, Y., Seya, H., 2013, "Simulating a future smart city: An integrated land use-energy model", Elsevier, Applied Energy 112 (2013) 1466–1474.
- [10] Zhong, S., Zhou, L., Ma, S., Jia, N., Wang, X., 2014, "Guidance compliance behaviors of drivers under different information release modes on VMS", Elsevier, Information Sciences 289, 117–132.
- [11] Teng, H., Qi, Y., Martinelli D. R.,2008, Parking Difficulty And Parking Information System Technologies And Costs, Journal of Advanced Transportation, Vol:42/2, pp.151-178.
- [12] Shibui, M., Naganawa, T., Ogiwara, M., Yoshikai, N.,2001 , Intelligent parking reservation service on the Internet, Workshops, San Diego, CA, USA, pp.159-164.
- [13] Caicedo, F., Blazquez, C., Miranda, P.A., 2012, Prediction of parking space

- availability in real time, Expert Systems with Applications Vol.39(8), pp.7281–7290.
- [14] Litman, T., 2007, Parking Management Strategies, Evaluation and Planning. Victoria Transport Policy Institute.
- [15] An S., Lee B., Shin D.,2011, A Survey of Intelligent Transportation Systems, Third International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks.
- [16] Chen, Z., Sun, R.; Yang, B., 2014, Reservation Based Optimal Parking Lot Recommendation Model in Internet of Vehicle Environment;; CHINA COMMUNICATIONS; Volume: 11 Issue: 10 Pages: 38-48; October.
- [17] Thompson R G, Richardson A J., 1998, "A parking search model [J].", Transportation Research Part A: Policy and Practice, 32(3): 159–170.
- [18] Thompson R.G, Takada K., Kobayakawa S.,2001, "Optimization of parking guidance and information systems display configurations [J].", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 9(1): 69–85.
- [19] Bonsall P, Palmer I.,2014, "Modelling drivers' car parking behavior using data from a travel choice simulator [J]", Transportation Research Part C: Emerging Technologies,12(5):321–347.
- [20] Chen M, Hu C, Chang T.,2011, "The research on optimal parking space choice model in parking lots [M]", Computer Research and Development (ICCRD), 2011 3rd International Conference on. IEEE, 93–97.
- [21] Khandker N H, Mahmoud M S, Coleman J.,2013, "The Effect of Parking Charges at Transit Stations on 'Park and Ride' Mode Choice: Lessons Learned from a Stated Preference Survey in Greater Vancouver [M]", Transportation Research Board 92nd Annual Meeting.
- [22] Gallo M, D'acerno L, Montella B.,2011, "A multilayer model to simulate cruising for parking in urban areas [J]", Transport policy , 18(5): 735–744.
- [23] Giuffrè T., Siniscalchi S. M., Giovanni T., 2012, "A novel architecture of Parking management for Smart Cities", Procedia - Social and Behavioral Sciences 53, 16 – 28.
- [24] Jun C, Zhi-Yong Z, Wei W.,2006, Choice model of parking behaviors in urban [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006, 2: 27-30.

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://www.saujs.sakarya.edu.tr		
	<u>Geliş/Received</u> 06-03-2017 <u>Kabul/Accepted</u> 10-10-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.296446	

Asimetrik üç serbestlik dereceli bir düzlemsel paralel robot mekanizmasının kinematik analizi

Metin Toz ^{*1}

ÖZ

Bu çalışmada üç Serbestlik Derecesine (SD) sahip bir düzlemsel paralel robot mekanizmasının kinematik analizi gerçekleştirilmiştir. Seçilen mekanizmanın diğer düzlemsel mekanizmalardan farkı asimetrik bacak yapısına sahip olmasıdır. Asimetrik yapıyı elde etmek için 3-RPR (R:Dönel eklem, P: Aktif prizmatik eklem) yapısındaki simetrik bir düzlemsel robot mekanizmasının bir bacağı RRR (R: Aktif dönel eklem) tipi bacak ile değiştirilmiş ve bu sayede RPR2RRR1 adını verdiğimiz asimetrik düzlemsel paralel robot mekanizması elde edilmiştir. Bu mekanizma için ters kinematik, Jacobian matrisi ve tekil noktalardan bağımsız çalışma uzayı analizi ile ilgili hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu mekanizmanın performansı simetrik düzlemsel bir paralel robot mekanizması olan 3-RPR mekanizması ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre önerilen mekanizmanın çalışma uzayının hem uç işlevci tarafından ulaşılabilen nokta sayısı hem de yönelim açısının sınır değerleri yönünden 3-RPR mekanizmasından daha iyi olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: düzlemsel paralel robot mekanizmaları, 3 SD, kinematik analiz, çalışma uzayı analizi

Kinematic analysis of a 3-DOF asymmetrical planar parallel robot mechanism

ABSTRACT

In this study, kinematic analysis of a planar parallel robot mechanism with three degrees of freedom (DOF) was performed. The difference of the selected mechanism from the other planar mechanisms is that it has an asymmetric leg structure. In order to provide the asymmetry, a leg of 3-RPR (R: Revolute joint, P: Active prismatic joint) symmetrical planar robot mechanism was replaced by a RRR (R: Active revolute joint) type leg and the asymmetrical planar parallel robot named RPR2RRR1 mechanism has been obtained. Inverse kinematics, Jacobian matrix and singularity free workspace analysis were performed for the proposed mechanism. In addition, the performance of this mechanism is compared with the 3-RPR mechanism, which is a symmetric planar parallel robot mechanism. According to the obtained results, it has been shown that the workspace of the proposed mechanism is better than the 3-RPR mechanism in terms of both the number of points that can be reached by the end-effector and the limit values of the orientation angle.

Keywords: planar parallel robot mechanisms, 3 DOF, kinematic analysis, workspace analysis

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author

¹ Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Duzce-metintoz@duzce.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüz üretim teknolojisindeki hızlı gelişim bu teknolojilerde kullanılan robotlarda da gittikçe artan bir düzeyde yüksek hassasiyet ve konumlanma yeteneklerinin gerekliliğine sebep olmaktadır. Bu durum son yıllarda üretimin hemen her alanında kullanılan seri robot mekanizmalarının yerine paralel robot mekanizmalarının kullanımı düşüncesine sebep olmuştur. Bunun nedeni paralel robot mekanizmalarının seri robotlardan daha yüksek konumlanma hassasiyeti, kuvvet uygulama yeteneği (dexterity) ve kaldırabileceği yük / kendi kütlesi oranına sahip olmalarıdır [1]. Paralel robot mekanizmaları son yıllarda seri robotlara olan üstünlükleri nedeniyle hem akademik camiada hem de endüstride oldukça sık tercih edilen robot mekanizmaları olmuşlardır. Ancak bu mekanizmaların seri robotlara göre sahip oldukları avantajların yanında bazı önemli dezavantajları da vardır. Bunların başında bu mekanizmaların tasarım ve kinematik analiz güçlükleri gelmektedir. Seri robot mekanizmaları için söz konusu olan tasarım kolaylığı ve çalışma uzayı genişliği paralel robot mekanizmaları için geçerli değildir. Paralel robot mekanizmaları genel olarak bir temel çerçeve ve bir uç işlevci çerçevesinin birden fazla robot kolunun kullanılması ile birbirine bağlanması şeklinde tasarlanırlar [2]. Bu durum hem benzer amaçlar için kullanılacak muhtemel paralel robot mekanizma tasarımı sayısını arttırmakta hem de mekanizma tasarımını zorlaştırmaktadır. Örneğin Gao ve ark. [3] çalışmalarında muhtemel 6 SD'li paralel robot mekanizma sayısının 3850 olduğunu belirtmişlerdir. Toz ve Küçük [2] ise çalışmalarında bu sayıyı azaltmak için iki temel kısıt tanımlamış ve sayıyı 195'e düşürmüşlerdir. Paralel robot mekanizmaları ayrıca tasarım özelliklerine göre de temel olarak simetrik ve asimetrik paralel robot mekanizmaları olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadırlar. Buna göre bir mekanizmanın simetrik olabilmesi için şu şartları sağlaması gerekir [4]: (i) mekanizmanın bacak sayısı mekanizmanın SD'ne eşit olmalıdır, (ii) her bir bacakdaki eklem tip ve sıralamaları aynı olmalıdır ve (iii) her bir bacak aynı tip eyleyiciye sahip olmalıdır. Bu şartları sağlamayan mekanizmalara asimetrik paralel robot mekanizmaları denir. Simetrik mekanizmaların tasarım, kontrol ve üretimi asimetrik olanlara göre çok daha kolaydır. Ancak asimetrik mekanizma

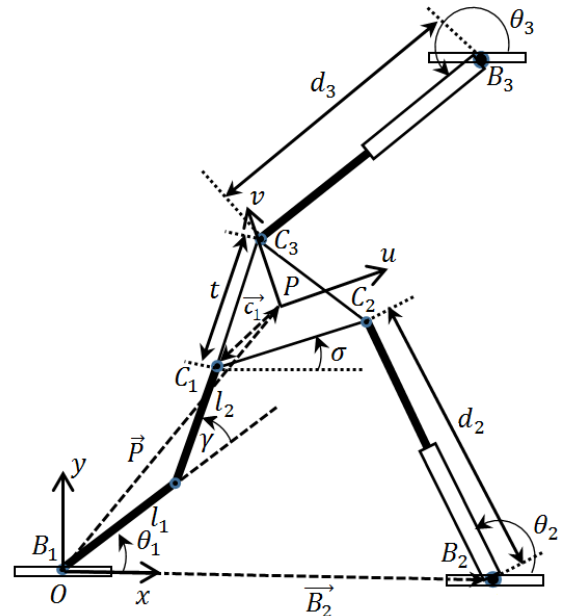
tasarımı da farklı yapıdaki bacaklar kullanılarak gerçekleştirildiği için bu farklı bacak yapılarının avantaj/dezavantajlarını birleştirme ve daha iyi performansa sahip yeni mekanizmalar ortaya çıkarma ihtimali her zaman vardır. Literatürde yer alan bazı asimetrik paralel robot mekanizmaları için [1] [2] [5] [6] [7] [8] [9] [10] de yer alan çalışmalara bakılabilir. Bunların dışında paralel robot mekanizmaları iki temel sınıf halinde de değerlendirilebilmektedir. Bunlar uzaysal (spatial) ve düzlemsel (planar) paralel robot mekanizmalarıdır [11]. Uzaysal paralel robot mekanizmaları 3-6 arasında değişen SD'ne sahip mekanizmalardır ve sahip oldukları SD'ne göre üç boyutlu uzayda hem dönme hem de öteleme hareketi gerçekleştirebilmektedirler [11]. Düzlemsel paralel robot mekanizmaları ise paralel robot mekanizmalarının üç SD ne sahip bir türüdür. Bu mekanizmalar temel çerçeve ile uç işlevci platformunun üç kinematik zincir ile birbirine bağlanması ile elde edilmektedirler [12]. Bu robot mekanizmalarının uç işlevci platformları iki boyutlu bir düzlemde konum değiştirirken aynı zamanda bu düzleme dik bir eksen boyunca yönelim değiştirebilmektedir [13]. Bu mekanizmaların en çok bilinenleri simetrik yapıdaki 3-RRR (R:Dönel Eklem, R: Aktif Dönel Eklem) ile 3-RPR (P: Aktif Prizmatik Eklem) tipi düzlemsel paralel robot mekanizmalarıdır. Her iki mekanizmanın tasarımı ve performans değerlendirmesi ile ilgili olarak literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Chandra ve Rolland [14], çalışmalarında 3-RPR tipi düzlemsel paralel robot mekanizmasının ileri kinematik problem çözümünü Genetik Algoritma ve Benzetilmiş Tavlama gibi bazı meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarını hibrit bir şekilde kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Caro ve arkadaşları [15], 3-RPR mekanizmalarının hassasiyeti (sensitivity) ile ilgili gerçekleştirdikleri çalışmalarında iki farklı hassasiyet indisi tanımlamışlar ve ayrıca bu mekanizmaların çalışma uzayı, hassasiyet ve kuvvet uygulama yeteneği (dexterity) ne göre karşılaştırılabilmeleri için bir metod önermişlerdir. Jiang ve Gosselin [16], çalışmalarında 3-RPR tipi mekanizmaların tekil nokta analizlerini yapmışlar ve sonuç olarak temel çerçeve ve uç işlevci platformlarının eşkenar üçgen olduğu tasarımlarda maximum tekil noktadan bağımsız çalışma uzayı elde edildiğini göstermişlerdir. Varedi-Koulaei ve arkadaşları [17], dönel eklemlerin kendi yapısındaki boşlukların (joint-clearance) 3-RRR tipi mekanizmaların performansı üzerindeki etkilerini incelemişler ve mekanizmaların

performansını arttırmak için bacakların uzunluklarını ve kütle merkezlerinin yerlerini esas alan bir optimizasyon gerçekleştirmişlerdir. Cervantes-Sánchez [18] ve arkadaşları, 3-RRR tipi paralel robot mekanizmaları için homojen yapıda bir Jacobian matrisi elde edilmesini sağlayan bir yöntem ve mekanizma hızını arttırmak için bir optimizasyon prosedürü önermişlerdir. Küçük [19] ise çalışmasında 3-RRR tipi mekanizmaların eyleyici güç tüketimlerini optimize etmiştir. Bunun için optimum bağ uzunluklarını ve platform kütlelerini hesaplamıştır.

Bu çalışmada literatürde yer alan simetrik mekanizmalardan farklı olarak, 3-RPR yapısındaki simetrik bir düzlemsel robot mekanizmasının bir bacağı RRR tipi bacak ile değiştirilmiş ve bu sayede RPR2RRR1 adını verdiğimiz asimetrik düzlemsel paralel robot mekanizması elde edilmiştir. Bu mekanizma için ters kinematik, Jacobian matrisi ve çalışma uzayı analizi ile ilgili hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan bacak değişikliğinin mekanizmanın çalışma uzayına katkısını değerlendirebilmek için örnek bir tasarım gerçekleştirilmiş ve bu mekanizmanın çalışma uzayı aynı parametrelerle tasarlanmış 3-RPR tipi bir mekanizma ile karşılaştırılmıştır. Makalenin devamı şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde önerilen mekanizmanın tasarımı, bu mekanizma için ters kinematik analiz, Jacobian matrisi ve tekil noktalardan bağımsız çalışma uzayı analizi gerçekleştirilmiştir. Üçüncü bölümde örnek bir tasarım yapılmış ve mekanizmanın performansı değerlendirilmiştir. Dördüncü bölümde ise çalışmada elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

2. ÜÇ SD'Lİ RPR2RRR1 TİPİ DÜZLEMSEL ASİMETRİK PARALEL ROBOT MEKANİZMASI (RPR2RR1 TYPE ASYMMETRICAL 3-DOF PLANAR PARALLEL ROBOT MECHANISM)

Seçilen mekanizma simetrik üç serbestlik dereceli bir mekanizma olan 3-RPR mekanizmasının bir bacağının yerine RRR tipi bir bacak yerleştirilmesi ile elde edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Üç SD'li RPR2RRR1 tipi düzlemsel paralel robot mekanizması (3-DOF RPR2RRR1 type planar parallel robot mechanism)

Şekilde mekanizmanın temel çerçevesini B₁, B₂, ve B₃ noktaları oluştururken uç işlevci platformu ise C₁, C₂ ve C₃ noktalarının oluşturduğu eşkenar üçgensel platformdur. Mekanizmanın kinematik analizinin yapılabilmesi için B₁ noktasına bir O(x,y) koordinat sistemi, uç işlevci platformuna ise bir P(u,v) koordinat sistemi yerleştirilmiştir. Bu koordinat sistemlerinin yönelimleri arasında mekanizma düzlemine dik bir z eksenine göre σ açısı kadar bir fark vardır. Buna göre O ve P koordinat sistemleri arasındaki yönelim matrisi şu şekilde yazılabilir.

$$R = \begin{bmatrix} \cos \sigma & -\sin \sigma \\ \sin \sigma & \cos \sigma \end{bmatrix} \quad (1)$$

Mekanizmanın B₂-C₂ ve B₃-C₃ noktaları arası RPR tipi bacaklarla birbirine bağlanmıştır. Bu bacakların uç kısımlarında yer alan dönel eklemler pasif geriye kalan prizmatik eklem ise aktiftir. Buna göre bu bacaklar için eklem değişkenleri sırasıyla, d₂ ve d₃ bacak uzunluklarıdır. Mekanizmaya asimetrik özellik katan diğer bacak ise B₁-C₁ noktaları arasına bağlanmış olan RRR tipi baktır. Bu baktaki ilk dönel eklem aktif, diğer eklemler ise pasiftir. Buna göre bu bacak için eklem değişkeni ise θ₁ eklem açısıdır. Şekil üzerinde yer alan diğer değişkenler ise sırasıyla şu şekilde ifade edilebilirler. γ, θ₂, θ₃ sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü bacaklardaki pasif eklem açılarıdır. l₁ ve l₂ ilk bacağı oluşturan bölümlerin uzunlukları t ise uç işlevci platformunu oluşturan üçgensel bölgenin bir kenarının uzunluğudur. Son olarak \vec{B}_2 ve \vec{P} vektörleri sırasıyla B₂ ve P noktalarının O koordinat sistemine göre konum

vektörleri, \vec{c}_1 ise C_1 noktasının P koordinat sistemine göre olan konum vektörüdür.

2.1. Ters Kinematik Analiz (Inverse Kinematic Analysis)

Mekanizmanın ters kinematik analizinin yapılması için verilecek uç işlevci konum ve yönelim bilgileri kullanılarak her bir eklemdaki aktif bacak değişkenlerinin değerlerinin hesaplanması gerekir. Buna göre ilk olarak ikinci ve üçüncü bacaklar için aşağıdaki eşitlikler kolayca yazılabilir.

$$\vec{P} + R\vec{c}_2 = \vec{B}_2 + \vec{d}_2 \quad (2)$$

$$\vec{P} + R\vec{c}_3 = \vec{B}_3 + \vec{d}_3 \quad (3)$$

Denklemlerde \vec{c}_2 ve \vec{c}_3 , sırasıyla C_2 ve C_3 noktalarının P koordinat sistemine göre konumu, \vec{d}_2 ve \vec{d}_3 ise sırasıyla ikinci ve üçüncü bacak boyunca uzanan bacak vektörleridir ve bu vektörler O koordinat sistemine göre tanımlanmışlardır. Son olarak \vec{B}_2 ve \vec{B}_3 vektörleri de B_2 ve B_3 noktalarının O koordinat sistemine göre konum vektörüdür. Denklem 2 ve 3'te yer alan \vec{d}_2 ve \vec{d}_3 vektörlerinin uzunluklarının bulunması ters kinematik için yeterlidir. Buna göre ilk olarak Denklem 2 şu şekilde açık olarak yazılabilir.

$$P_x + \cos(\sigma) c_{2x} - \sin(\sigma) c_{2y} - B_{2x} = d_2 \cos(\theta_2) \quad (4)$$

$$P_y + \sin(\sigma) c_{2x} + \cos(\sigma) c_{2y} - B_{2y} = d_2 \sin(\theta_2) \quad (5)$$

Denklemlerde P_x, P_y ve B_{2x}, B_{2y} sırasıyla \vec{P} ve \vec{B}_2 vektörlerinin x ve y eksenlerindeki bileşenleri, c_{2x} ve c_{2y} ise \vec{c}_2 vektörünün u ve v eksenlerindeki bileşenleridir. Son olarak d_2 ise \vec{d}_2 vektörünün uzunluğudur (normudur). Bu denklemler daha basit şekilde aşağıdaki gibi yazılabilirler.

$$A_x = d_2 \cos(\theta_2) \quad (6)$$

$$A_y = d_2 \sin(\theta_2) \quad (7)$$

Denklemlerde; $A_x = P_x + \cos(\sigma) c_{2x} - \sin(\sigma) c_{2y} - B_{2x}$ ve $A_y = P_y + \sin(\sigma) c_{2x} + \cos(\sigma) c_{2y} - B_{2y}$ dir. d_2 uzunluğunu bulmak için bu iki denklemin kareleri alınıp toplanırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir;

$$d_2^2 = A_x^2 + A_y^2 \quad (8)$$

Elde edilen bu denklem bilinmeyen pasif eklem açısı θ_2 içermez ve d_2 için çözüm yapılırsa biri pozitif diğeri negatif iki kök elde edilecektir. Sonuç olarak uzunluk negatif olamayacağı için d_2 bu denklemin pozitif kökü olacaktır. Aynı işlemler

Denklem 3 için yapılırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$d_3^2 = D_x^2 + D_y^2 \quad (9)$$

Denklemlerde $D_x = P_x + \cos(\sigma) c_{3x} - \sin(\sigma) c_{3y} - B_{3x}$ ve $D_y = P_y + \sin(\sigma) c_{3x} + \cos(\sigma) c_{3y} - B_{3y}$. Denklemlerde B_{3x} ve B_{3y} sırasıyla \vec{B}_3 vektörünün x ve y eksenlerindeki bileşenleri, c_{3x} ve c_{3y} ise \vec{c}_3 vektörünün u ve v eksenlerindeki bileşenleridir. Mekanizmanın birinci bacağının ters kinematik analizi için ise aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$\vec{P} + R\vec{c}_1 = l_1[\cos \theta_1 \sin \theta_1]^T + l_2[\cos(\theta_1 + \gamma) \sin(\theta_1 + \gamma)]^T \quad (10)$$

Denklemlerde T , matris devriğini ifade etmektedir. Bu denklem kullanılarak aktif eklem değişkeni olan θ_1 değişkeni hesaplanmalıdır. Bunun için ilk olarak bu denklem açık formda aşağıdaki gibi iki ayrı denklem olarak yazılabilir.

$$P_x + \cos(\sigma) c_{1x} - \sin(\sigma) c_{1y} = l_1 \cos(\theta_1) + l_2 \cos(\theta_1 + \gamma) \quad (11)$$

$$P_y + \sin(\sigma) c_{1x} + \cos(\sigma) c_{1y} = l_1 \sin(\theta_1) + l_2 \sin(\theta_1 + \gamma) \quad (12)$$

Denklemlerde c_{1x} ve c_{1y} \vec{c}_1 vektörünün u ve v eksenlerindeki bileşenleridir. Bu denklemler daha basit şekilde aşağıdaki gibi yazılabilirler.

$$E - l_1 \cos(\theta_1) = l_2 \cos(\theta_1 + \gamma) \quad (13)$$

$$F - l_1 \sin(\theta_1) = l_2 \sin(\theta_1 + \gamma) \quad (14)$$

Denklemlerde $E = P_x + \cos(\sigma) c_{1x} - \sin(\sigma) c_{1y}$ ve $F = P_y + \sin(\sigma) c_{1x} + \cos(\sigma) c_{1y}$ dir. Bu denklemlerde pasif eklem değişkeni olan γ açısından kurtulmak için her iki denklemin kareleri alınıp toplanırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir.

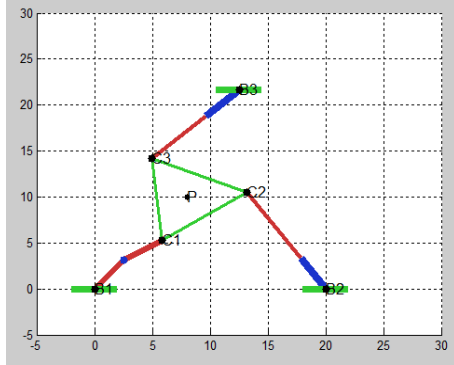
$$E^2 + F^2 - 2l_1(E \cos(\theta_1) + F \sin(\theta_1)) + l_1^2 = l_2^2 \\ \Rightarrow E \cos(\theta_1) + F \sin(\theta_1) = \frac{E^2 + F^2 + l_1^2 - l_2^2}{2l_1} \quad (15)$$

Denklem 15 sadece bir bilinmeyene (θ_1) bağlı bir denklemdir ve bu denklemden θ_1 ters tanjant formülü kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

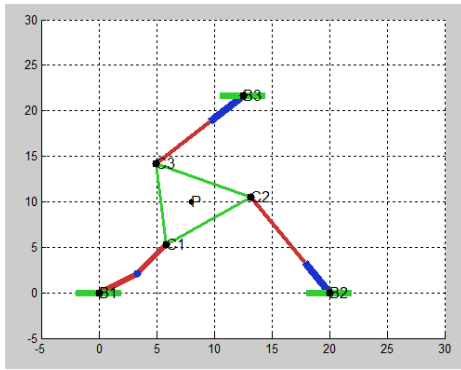
$$\theta_1 = \text{atan2}(F, E) + \text{atan2}\left(\frac{\pm \sqrt{F^2 + E^2 - \left(\frac{E^2 + F^2 + l_1^2 - l_2^2}{2l_1}\right)^2}}{\frac{E^2 + F^2 + l_1^2 - l_2^2}{2l_1}}\right) \quad (16)$$

Denklem 16'ye göre mekanizmanın bir uç işlevci konum ve yönelim bilgisi için iki ayrı θ_1 çözümü olduğu görülmektedir. Bu durum mekanizmanın

iki ayrı çalışma modu (workin mode) olduğunu ifade etmektedir. Bu durumu fiziksel olarak gösterebilmek için mekanizmanın aynı uç işlevci konum ve yönelimi için iki ayrı çözümü Şekil 2’de sunulmuştur. Şekilde görüldüğü gibi aynı uç işlevci konumuna iki ayrı θ_1 çözümü ile ulaşmak mümkündür.



(a)



(b)

Şekil 2: Aynı uç işlevci konum ve yönelimi için iki ayrı θ_1 çözümü (Two different solution of θ_1 for the same end-effector position)

2.2. Jacobian Matrisi (Jacobian Matrix)

Jacobian matrisi paralel robot mekanizmalarının kontrolü, performans analizi, çalışma uzayı analizi, tekil nokta analizi gibi değerlendirilme süreçlerinde hesaplanması gereken en önemli parametrelerden biridir. Bu matris mekanizmanın aktif eklem değişkenlerinin hızları ile uç işlevci platformunun hızları arasındaki ilişkiyi sağlayan matristir ve mekanizmanın konum denklemlerinin zamana göre türevi alınarak hesaplanır. Buna göre; RPR2RRR1 tipi paralel robot mekanizmasının Jacobian matrisi için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$K \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{d}_2 \\ \dot{d}_3 \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} \dot{P}_x \\ \dot{P}_y \\ \dot{\sigma} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Denklemden $\dot{\theta}_1$, \dot{d}_2 , \dot{d}_3 sırasıyla, birinci, ikinci ve üçüncü eklem değişkenlerinin hız ifadeleri, J ve K mekanizma için hesaplanan iki ayrı jakobiyen

matrisleri, \dot{P}_x , \dot{P}_y ve $\dot{\sigma}$ ise sırasıyla uç işlevcinin x ve y eksenlerindeki doğrusal hız bileşenleri ile mekanizma düzlemine dik dönme eksenine göre olan açısal hız bileşenidir. Jacobiyen matrislerini elde etmek için ilk olarak Denklem 15’in zamana göre türevini alınır;

$$\begin{aligned} \dot{E} \cos(\theta_1) - E \sin(\theta_1) \dot{\theta}_1 + \dot{F} \sin(\theta_1) + \\ F \cos(\theta_1) \dot{\theta}_1 = \frac{2E\dot{E} + 2F\dot{F}}{2l_1} \end{aligned} \quad (18)$$

Olur. Denklemden $\dot{\theta}_1$ ifadesi birinci mertebeden türev anlamına gelmektedir. Denklemden yer alan \dot{E} ve \dot{F} aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$\dot{E} = \dot{P}_x - \sin(\sigma) \dot{\sigma} c_{1x} - \cos(\sigma) \dot{\sigma} c_{1y} \quad (19)$$

$$\dot{F} = \dot{P}_y + \cos(\sigma) \dot{\sigma} c_{1x} - \sin(\sigma) \dot{\sigma} c_{1y} \quad (20)$$

Bu ifadeler Denklem 18’de yerine yazılır ve denklem yeniden düzenlenirse $\dot{\theta}_1$ aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} \dot{\theta}_1 l_1 (F \cos(\theta_1) - E \sin(\theta_1)) = \dot{P}_x (E - l_1 \cos(\theta_1)) + \\ \dot{P}_y (F - l_1 \sin(\theta_1)) + \dot{\sigma} \left((F - l_1 \sin(\theta_1)) (\cos \sigma c_{1x} - \sin(\sigma) c_{1y}) - (E - l_1 \cos(\theta_1)) (c_{1x} \sin(\sigma) + c_{1y} \cos \sigma) \right) \end{aligned} \quad (21)$$

Prizmatik eklem değişkenlerine ait hız ifadeleri için Denklemler 8 ve 9 un türevleri alınmalıdır. İki denklem eş olduğu için sadece Denklem 8 ‘in türevi alınması ve elde edilen sonucun iki bacak için de uygulanması mümkündür. Buna göre Denklem 8 in zamana göre türevi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$2d_2 \dot{d}_2 = 2A_x \dot{A}_x + 2A_y \dot{A}_y \quad (22)$$

Denklemden yer alan \dot{A}_x ve \dot{A}_y aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$\dot{A}_x = \dot{P}_x - \sin(\sigma) \dot{\sigma} c_{2x} - \cos(\sigma) \dot{\sigma} c_{2y} \quad (23)$$

$$\dot{A}_y = \dot{P}_y + \cos(\sigma) \dot{\sigma} c_{2x} - \sin(\sigma) \dot{\sigma} c_{2y} \quad (24)$$

Bu ifadeler Denklem 22’de yerine yazılır ve denklem yeniden düzenlenirse \dot{d}_2 aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\dot{d}_2 d_2 = A_x \dot{P}_x + A_y \dot{P}_y - \dot{\sigma} \left(A_x (\sin(\sigma) c_{2x} + \cos(\sigma) c_{2y}) + A_y (\sin(\sigma) c_{2y} - \cos(\sigma) c_{2x}) \right) \quad (25)$$

Aynı şekilde \dot{d}_3 şu şekilde elde edilir.

$$\dot{d}_3 d_3 = D_x \dot{P}_x + D_y \dot{P}_y - \dot{\sigma} \left(D_x (\sin(\sigma) c_{3x} + \cos(\sigma) c_{3y}) + D_y (\sin(\sigma) c_{3y} - \cos(\sigma) c_{3x}) \right) \quad (26)$$

Sonuç olarak mekanizmaya ait K ve J matrisleri Denklemler 21, 25 ve 26 kullanılarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$K = \begin{bmatrix} l_1(F \cos(\theta_1) - E \sin(\theta_1)) & 0 & 0 \\ 0 & d_2 & 0 \\ 0 & 0 & d_3 \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$J = \begin{bmatrix} E - l_1 \cos(\theta_1) & F - l_1 \sin(\theta_1) & J_{13} \\ A_x & A_y & J_{23} \\ D_x & D_y & J_{33} \end{bmatrix} \quad (26)$$

Denklemden, $J_{13} = (F - l_1 \sin(\theta_1))(\cos \sigma c_{1x} - \sin(\sigma) c_{1y}) - (E - l_1 \cos(\theta_1))(c_{1x} \sin(\sigma) + c_{1y} \cos \sigma)$, $J_{23} = -A_x(\sin(\sigma) c_{2x} + \cos(\sigma) c_{2y}) + A_y(\cos(\sigma) c_{2x} - \sin(\sigma) c_{2y})$ ve $J_{33} = -D_x(\sin(\sigma) c_{3x} + \cos(\sigma) c_{3y}) + D_y(\cos(\sigma) c_{3x} - \sin(\sigma) c_{3y})$ şeklindedir.

2.3. Tekil Noktalardan Bağımsız Çalışma Uzayı Analizi (Singularity Free Workspace Analysis)

Paralel robot mekanizmalarının seri robotlara olan birçok üstünlüklerinin yanında bazı önemli dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi küçük ve parçalı çalışma uzayına sahip olmalarıdır. Çalışma uzayı kısaca mekanizmanın uç işlevcisinin ulaşabileceği tüm noktalar olarak tanımlanabilir. Ancak bir robot mekanizmasının çalışma alanı (fiziksel olarak ulaşılacak alan) içerisinde yer alıp da mekanizmanın geometrik özellikleri nedeniyle ulaşamadığı bazı noktalar vardır ki bu noktalara tekil noktalar denir. Tam bir çalışma uzayı analizi için bu tekil noktaların göz önünde bulundurulması gerekir.

Bir paralel robot mekanizmasının tekil noktaları Jacobian matrislerinin tekil olup olmaması ile ilgilidir. Buna göre herhangi bir uç işlevci konumu için J ve K matrislerinden herhangi birinin veya her ikisinin tekil olması durumunda o nokta tekil nokta olarak kabul edilir [11]. Buna göre seçilen mekanizma için üç farklı tekil nokta tanımlanabilir.

$$\det(J) = 0 \text{ ve } \det(K) \neq 0 \quad (27)$$

$$\det(J) \neq 0 \text{ ve } \det(K) = 0 \quad (28)$$

$$\det(J) = 0 \text{ ve } \det(K) = 0 \quad (29)$$

Denklemlerde $\det(\)$ ifadesi matris determinantı demektir. Sonuç olarak mekanizmanın seçilen bir uç işlevci konumu için bu üç ifadeden herhangi birisinin veya daha fazlasının sağlanması durumunda o nokta mekanizma için bir tekil noktadır.

3. ÖRNEK TASARIM VE ÇALIŞMA UZAYI ANALİZİ (SAMPLE DESIGN AND WORKSPACE ANALYSIS)

Bu çalışmada önerilen mekanizmanın çalışma uzayı analizini yapmak için örnek bir mekanizmaya ait tasarım verileri Tablo 1 de sunulmuştur.

Tablo 1. Örnek mekanizma tasarım verileri (Sample mechanism design parameters)

Temel Çerçeve Koordinatları (cm)			Bacak Uzunlukları ve Sınırları (cm)			
	x	y	l_1	l_2	d_2 ve d_3 için alt sınır (d_{min})	d_2 ve d_3 için üst sınır (d_{max})
B ₁	0	0	8	8	8	15
B ₂	20	0	Yönelim açısı (σ) sınırları (radyan)			Uç işlevci platformu kenar uzunluğu (t) (cm)
B ₃	10	17.325	alt sınır: $-\pi$ üst sınır: π			2

Tablo 1'e ek olarak şunu da belirtmek gerekir ki, bu çalışmada aktif dönel eklem olan θ_1 ve pasif dönel eklemler olan θ_2, θ_3 ve γ için herhangi bir sınır getirilmemiştir. Bu eklemlerin serbestçe dönebildikleri kabul edilmiştir. Mekanizmanın çalışma uzayı analizini yapmak için Tablo 1'de verilen sınırlar kullanılarak mekanizmanın ulaşabildiği tüm noktaların tespit edilmesi gerekir. Bu amaçla mekanizmanın ulaşması muhtemel uç işlevci konumları için Kartezyen uzayda en küçük koordinatlar olarak $x = 0$ ve $y = -2$ ve en büyük koordinatlar olarak $x = 20$ ve $y = 20$ olarak kabul edilmiştir. Yönelim açısı (σ) için de bu değerler Tablo 1'de olduğu gibi $-\pi$ ve π alınmış ve tüm bu sınırlar 0.2 birim aralıklara bölünerek, her bir aralık noktası için ters kinematik analiz yapılmıştır. Ters kinematik sonuçlarına göre bir noktanın çalışma uzayına dahil edilmesi için aşağıdaki kısıtların sağlanması gereklidir.

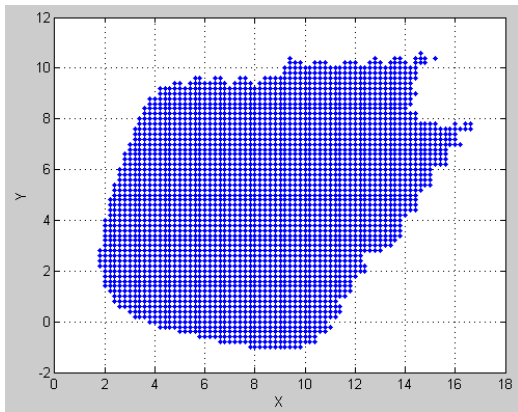
$$\begin{aligned} d_{min} &\leq d_2 \leq d_{max} \\ d_{min} &\leq d_3 \leq d_{max} \\ \det(J) &\neq 0 \\ \det(K) &\neq 0 \end{aligned} \quad (30)$$

Belirlenen sınır ve aralık değerleri ve Denklem 30 a göre çalışma uzayı analizi yapıldığında önerilen mekanizmanın tekil noktalardan bağımsız çalışma uzayı Şekil 3'de görüldüğü gibi elde edilmektedir. Önerilen RPR2RRR1 tipi mekanizmanın

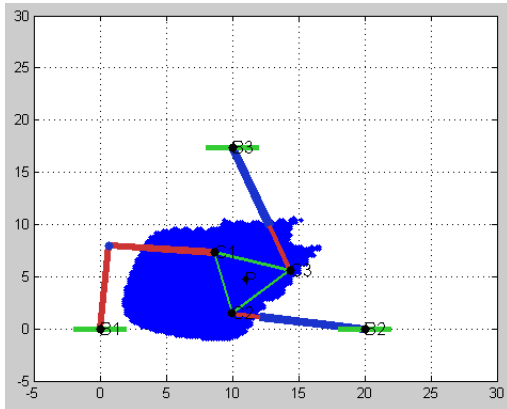
performansını değerlendirebilmek için Tablo 1 de verilen aynı ölçülere göre tasarlanmış bir 3 serbestlik dereceli düzlemsel 3-RPR paralel robot mekanizması için de ayrıca çalışma uzayı analizi yapılmıştır. 3-RPR mekanizmasının tüm bacakları RPR yapıda olduğu için Denklem 30 da verilen kısıtlara ek olarak aşağıdaki kısıt ta bu mekanizma için tanımlanmıştır. Diğer tüm kısıtlar RPR2RRR1 tipi mekanizma ile aynı seçilmiştir.

$$d_{min} \leq d_1 \leq d_{max} \quad (31)$$

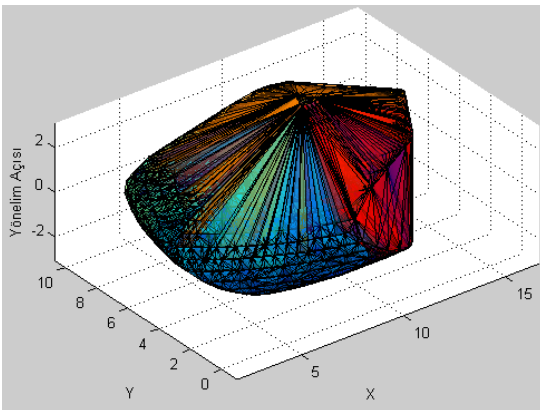
Denklemden d_1 mekanizmanın birinci bacağına uzunluğudur. Yapılan analiz sonuçlarına göre 3-RPR mekanizmasının tekil noktalardan bağımsız çalışma uzayı ise Şekil 4'de sunulmuştur.



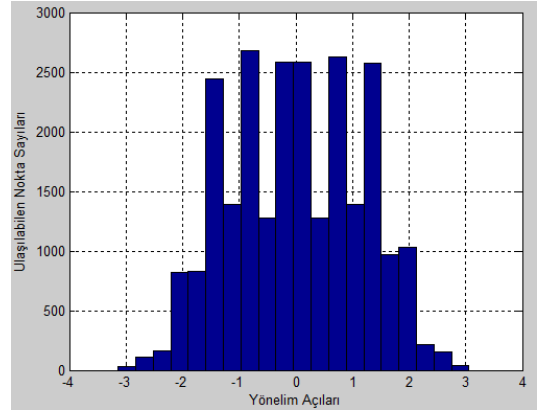
(a)



(b)

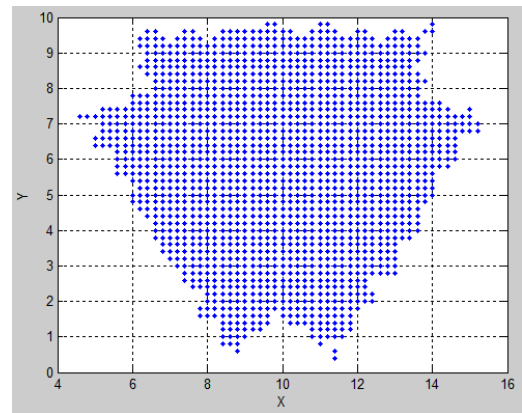


(c)

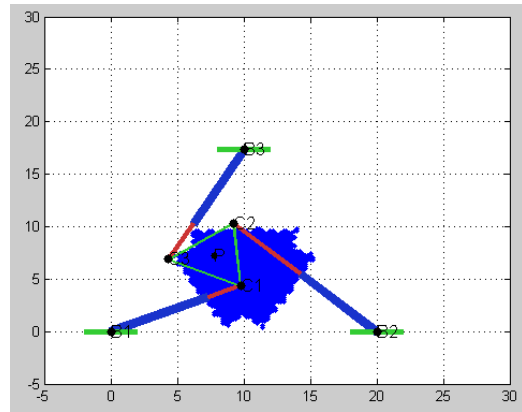


(d)

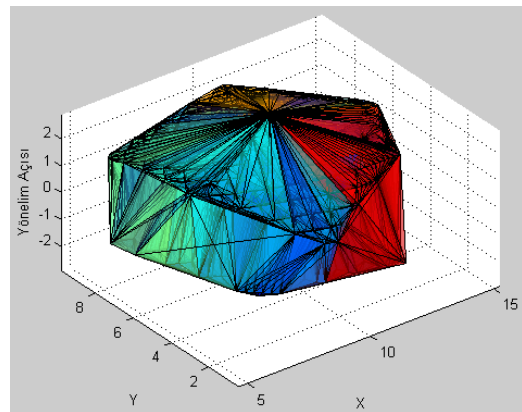
Şekil 3. Üç SD'li RPR2RRR1 tipi düzlemsel paralel robot mekanizması için örnek bir çalışma uzayı analizi (A sample workspace analysis for 3-DOF RPR2RRR1 type planar parallel robot mechanism)



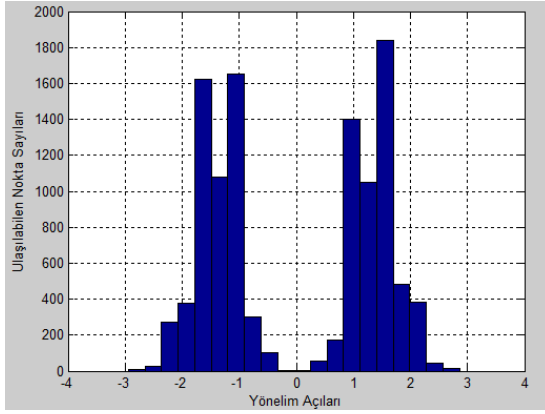
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4. Üç SD'li 3-RPR tipi düzlemsel paralel robot mekanizması için çalışma uzayı analizi (Workspace analysis for 3-RPR type planar parallel robot mechanism)

Şekiller 3.(a) ve 4.(a)'da mekanizmaların x, y düzleminde ulaşabildiği tüm noktalar gösterilmiştir. Bu noktaların her birine mekanizma en az bir tane veya daha fazla yönelim açısı ile ulaşabilmektedir. Çalışma uzayı analizi yapılırken yönelim açıları radyan cinsinden $[-\pi, +\pi]$ aralığında $\pi/16$ hassasiyetle seçilmişlerdir. Dikkat edilirse sonradan eklenen RRR tipi bacak, önerilen mekanizmanın tekil noktalardan bağımsız çalışma uzayının diğer mekanizmaya oranla çok daha büyük olmasını sağlamıştır. Çalışma uzayındaki büyüklük sonradan eklenen bacak yönünde gerçekleşmiştir. Bunun nedeni eklenen RRR tipi bacağın diğer iki bacak (RPR) gibi bir minimum uzunluk ile kısıtlı olmamasıdır. RPR tipi bacaklar silindir ve piston ikilisinden oluştuğu için yapıları gereği silindir uzunluğundan daha kısa bir uzunluğa erişememektedirler. Ancak, RRR tipi bacakta böyle bir yapı olmadığı için bu bacak için minimum bir uzunluk söz konusu değildir. Şekiller 3.(b) ve 4.(b) de ise mekanizmalar ile çalışma uzaylarının birlikte değerlendirilebilmesi için, mekanizmaların verilen ölçülerle çizilmiş halleri ve ulaşabildikleri çalışma uzayı noktaları birlikte gösterilmiştir. Şekillerde sonradan eklenen RRR tipi bacağın çalışma uzayına katkısı açıkça görülebilmektedir. İki boyutlu bir düzlemde hem çalışma uzayı noktalarını hem de yönelim açılarını göstermek mümkün olmadığı için mekanizmaların çalışma uzayı, üçüncü boyuta yönelim açısı değerleri verilerek Şekiller 3.(c) ve 4.(c)'de kapalı bir hacim şeklinde gösterilmiştir. Ayrıca, mekanizmaların yönelimsel açıdan çalışma uzayları ile ilgili değerlendirmeler yapabilmek için, her iki mekanizma için de çalışma uzayında ulaşılabilen nokta(konum) sayılarının yönelim açısına göre histogram çubuk grafikleri Şekiller 3.(d) ve 4.(d)'de sunulmuştur. Şekiller 3.(c), 3.(d), 4.(c) ve

4.(d) ye göre RPR2RRR1 tipi mekanizma ile 3-RPR tipi mekanizma arasında karşılaştırma yapıldığında; radyan cinsinden $[-\pi, \pi]$ aralığındaki yönelimlerle RPR2RRR1 tipi mekanizmanın 3-RPR tipi mekanizmadan çok daha fazla sayıda çalışma uzayı noktasına ulaşabildiği açıkça görülmektedir. Bu mekanizmanın $[-2, 2]$ radyan aralığındaki her bir yönelim açısı ile en az 500 çalışma uzayı noktasına ulaştığı, ayrıca bir çok yönelim açısı ile de 1000'den daha fazla çalışma uzayı noktasına ulaşabildiği görülmektedir. Diğer taraftan, 3-RPR tipi mekanizmanın yönelimsel çalışma uzayının daha parçalı olduğu, ve sadece sınırlı sayıda yönelim açıları ile 1000'den fazla çalışma uzayı noktasına ulaşabildiği görülmektedir. Sonuç olarak önerilen mekanizmanın 3-RPR tipi mekanizmadan daha geniş yönelim aralığında çok daha fazla çalışma uzayı noktasına erişebildiği görülmektedir. Son olarak her iki mekanizmanın performansını sayısal olarak karşılaştırabilmek için mekanizmaların çalışma uzayı analizinde elde edilen sayısal bilgiler Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. RPR2RRR1 ve 3-RPR mekanizmalarının çalışma uzayı analizinde elde edilen sayısal bilgiler (Numerical values for the workspace analysis of the RPR2RRR1 and 3-RPR mechanisms)

Robot Mekanizmaları	3- <u>RPR</u>	<u>RPR2RRR1</u>
tüm çalışma uzayı nokta sayısı	10895	25179
minimum X eksen değeri	4,6	1,8
maximum X eksen değeri	15,2	16,6
minimum Y eksen değeri	0,4	-1
maximum Y eksen değeri	9,8	10,6
minimum yönelim açısı değeri	-2,9416	-3,1416
maximum yönelim açısı değeri	2,8584	3,0584

Tablo 2'ye göre önerilen mekanizmanın diğer mekanizmaya oranla her üç boyutta (x, y ve yönelim açısı σ) da daha geniş çalışma uzayı aralıklarına ulaşabildiği görülmektedir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Düzlemsel, üç SD'li bir paralel robot mekanizması olan 3-RPR tipi mekanizmanın bir bacağının yerine bir RRR tipi bacak eklenerek yine üç SD'li RPR2RRR1 tipi bir mekanizma elde edilmiştir. Bu mekanizma için ters kinematik denklemler ve

Jacobian matrisi sembolik olarak elde edilmiştir. Ayrıca mekanizmanın tekil noktalardan bağımsız çalışma uzayı analizi de yapılmış ve geleneksel 3-RPR tipi mekanizma ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre önerilen mekanizmanın çalışma uzayının hem ulaşılabilen nokta sayısı hem de yönelim açısının sınır değerleri yönünden geleneksel mekanizmaya göre çok daha iyi olduğu gösterilmiştir. Çalışma uzayının mekanizmaya sonradan eklenen bacak yönünde büyüdüğü ve bunun nedeninin yeni eklenen RRR tipi bacakta diğer RPR tipi bacaklardaki minimum bacak uzunluğu kısıtı olmaması olarak değerlendirilmiştir.

Her ne kadar tekil noktalardan bağımsız çalışma uzayı analizi önerilen mekanizmanın daha iyi olduğunu gösterse de paralel robot mekanizmalarının performans analizleri için bu değerlendirme gerekli ama yeterli değildir. Bunlara ek olarak performans değerlendirmesi amacıyla mekanizmanın çalışma uzayındaki noktalara kuvvet uygulama yeteneklerinin de değerlendirilmesi gerekir. Bu tür değerlendirmelerin ileriki çalışmalarda yapılması ayrıca planlanmaktadır.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] M. Toz ve S. Kucuk, "Dimensional optimization of 6-DOF 3-CCC type asymmetric parallel manipulator", *Advanced Robotics*, cilt. 28(9), pp. 625–637, 2014.
- [2] M. Toz ve S. Kucuk, "Dexterous workspace optimization of an asymmetric six-degree of freedom Stewart–Gough platform type manipulator", *Robotics and Autonomous Systems*, cilt 61(12), pp. 1516–1528, 2013.
- [3] X.S. Gao, D. Lei, Q. Liao ve G.F. Zhang, "Generalized Stewart–Gough platforms and their direct kinematics", *IEEE Transactions on Robotics*, cilt 21(2), pp. 141–151, 2005.
- [4] L.W. Tsai, "Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators", John Wiley & Sons, 1999.
- [5] Y. Singh ve M. Santhakumar, "Inverse dynamics and robust sliding mode control of a planar parallel (2-PRP and 1-PPR) robot augmented with a nonlinear

disturbance observer", *Mechanism and Machine Theory*, cilt 92, pp. 29-50, 2015.

- [6] P.S. Londhe, Y. Singh, M. Santhakumar, B.M. Patre ve L.M. Waghmare, "Robust nonlinear PID-like fuzzy logic control of a planar parallel (2PRP-PPR) manipulator", *ISA Transactions*, cilt 63, pp. 218-232, 2016.
- [7] M. Wu, D. Zhang, "Statics of a new asymmetrical parallel robot," *2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics*, Qingdao, pp. 2466-2470, 2008.
- [8] M. Wu, D. Zhang ve X. Zhao, "Conceptual Design and Kinematic Performance Evaluation of a New Asymmetrical Parallel Robot," *2007 International Conference on Mechatronics and Automation*, Harbin, pp. 2854-2859, 2007.
- [9] S. Yan ve L. Yi, "CAD Application to the Analysis about the Workspace of an Asymmetric Parallel Robot Influenced by the Joints", *Distribution" 2008 International Conference on Computer and Electrical Engineering*, Phuket, pp. 497-501, 2008.
- [10] B. Li, J. Zhao, X. Yang, Y. Hu, "Kinematic Analysis of a Novel Three Degree-Of-Freedom Planar Parallel Manipulator", *International Journal of Robotics and Automation*, cilt 24(2), pp. 158-165, 2009.
- [11] S. Kucuk, "Simulation and design tool for performance analysis of planar parallel manipulators", *Simulation*, cilt 88(5), pp. 542-556, 2012.
- [12] J. P. Merlet, C. M. Gosselin, N. Mouly, "Workspace of planar parallel manipulators", *Mechanism and Machine Theory*, cilt 33(1-2), pp.7-20, 1998.
- [13] S. Kucuk, "A Dexterity comparison for 3-DOF planar parallel manipulators with two kinematic chains using genetic algorithms", *Mechatronics*, cilt 19(6), pp. 868-877, 2009.
- [14] R. Chandra, L. Rolland, "On solving the forward kinematics of 3RPR planar parallel manipulator using hybrid metaheuristics", *Applied Mathematics and*

- Computation*, cilt 217(22), pp. 8997-9008, 2011.
- [15] S. Caro, N. Binaud, P. Wenger, "Sensitivity Analysis of 3-RPR Planar Parallel Manipulators", *ASME. J. Mech. Des.*, cilt 131(12), pp. 121005-121005-13, 2009.
- [16] Q. Jiang, C. M. Gosselin, "The Maximal Singularity-Free Workspace of Planar 3-RPR Parallel Mechanisms," *2006 International Conference on Mechatronics and Automation*, Luoyang, Henan, pp. 142-146, 2006.
- [17] S. M. Varedi-Koulaei, H. M. Daniali, M. Farajtabar, B. Fathi M. Shafiee-Ashtiani, "Reducing the undesirable effects of joints clearance on the behavior of the planar 3-RRR parallel manipulators", *Nonlinear Dynamics*, cilt 86(2), pp. 1007–1022, 2016.
- [18] J. Jesús Cervantes-Sánchez, J. M. Rico-Martínez, I. J. Brabata-Zamora, J. D. Orozco-Muñiz, "Optimization of the Translational Velocity for the Planar 3-RRR Parallel Manipulator", *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, cilt 38(6), pp. 1659–1669, 2016.
- [19] S. Kucuk, "Energy minimization for 3-RRR fully planar parallel manipulator using particle swarm optimization", *Mechanism and Machine Theory*, cilt 62, pp. 129-149, 2013.

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://www.saujs.sakarya.edu.tr		
	<u>Geliş/Received</u> 14-04-2017 <u>Kabul/Accepted</u> 10-10-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.306203	

Değiştir&gözle ve artımsal iletkenlik algoritmalarının EN 50530 dinamik verim testine göre performanslarının değerlendirilmesi

Onur Kırıcıoğlu¹, Murat Ünlü^{1*}, Sabri Çamur¹

ÖZ

Değiştir&gözle (D&G) ve Artımsal iletkenlik algoritmaları maksimum güç noktası izleyici (MGNİ) sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, bu iki algoritma SEPIC (Single Ended Primary Inductance Converter) DA/DA dönüştürücü devresi üzerinde uygulanmıştır. Algoritmaların gerçekleştirilmesi ve diğer tüm denetim için TMS320F28377 DSP (Digital Signal Processor) işlemcisi kullanılmıştır. MGNİ'nin dinamik çevre koşullarındaki (ışınım, kir, sıcaklık gibi) performansı verim bakımından önemlidir. Verim ölçümü için yöntem sağlayan EN 50530 standardı, bu çalışmada her iki MGNİ tekniğinin dinamik performansını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu standardın test profil eğrileri fotovoltaik (FV) simülatörden elde edilmiştir. MGNİ verim testi, FV simülatör, SEPIC DA/DA dönüştürücü ve DSP'den oluşan dinamik performans test platformu kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve deneyler esnasında MGNİ frekansı 100Hz olarak ayarlanmıştır. EN 50530 standardında belirtildiği üzere, ışınım değişimi 100-1000W/m² arasında, ışınım değişim eğiminin ise 0,5-100W/m²/s arasında değerler almaktadır. Elde edilen sonuçlar, tasarlanan sistem ile her iki algoritma, yukarıda değinilen ışınım değişimlerine hızlı cevap verebilmiş ve ortalama verimlilikleri % 99'un üzerinde elde edilmiştir. Ayrıca her iki algoritmanın ışınım değişimlerini izleyebilme performansı ve verimlerinin birbirine çok yakın olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: fotovoltaik sistemler, değiştir&gözle (D&G), artımsal iletkenlik, maksimum güç noktası izleyici (MGNİ), EN 50530, dinamik verim, SEPIC

Performance evaluation of the perturb & observe and incremental conductance algorithms according to the EN 50530 dynamic efficiency test

ABSTRACT

The perturb & observe (P&O) and incremental conductance algorithms, which are widely used in maximum power point tracker systems. In this study, A SEPIC (single-ended primary inductance converter) DC/DC converter is designed for maximum power point tracker, and both algorithms are implemented on the SEPIC converter by using DSP. The performance of maximum power point tracker (MPPT) in PV system under dynamic environmental conditions (such as irradiation, dirt, temperature) is very important in the point of its efficiency. EN 50530 standard, which is provides a procedure for the measurement of the efficiency, is

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği, Kocaeli - onur.kircioglu@kocaeli.edu.tr, muratunlu@kocaeli.edu.tr, scamur@kocaeli.edu.tr

used to evaluate the dynamic performance of the both MPPT algorithms in this paper. The experiments are conducted using the dynamic performance test platform that consists of a PV array simulator, SEPIC DC/DC converter and DSP. The results show that efficiencies and performances of the both MPPT algorithms are very close to each other. The obtained results show that both algorithms have fast dynamic response and the average efficiencies are over 99% with the designed system at 100Hz of MPPT frequencies for over all slopes and irradiance in the range from 0.5 to 100 W/m²/s and 100 W/m²- 1000W/m² as defined by EN 50530 standard.

Keywords: photovoltaic systems, perturb and observe (P&O), incremental conductance, maximum power point tracker (MPPT), EN 50530, dynamic efficiency, SEPIC

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahip olan fotovoltaik (FV) hücre paneller doğrusal olmayan bir karakteristiğe sahiptirler. Bu karakteristik atmosferik koşullara göre değişiklik göstermektedir. Bu yüzden FV paneller doğrudan yüke veya bataryaya bağlı olarak çalıştırılmazlar. Aksi halde FV paneller katalog bilgilerinde yer alan verimin çok altında bir verim değerinde çalışırlar.

Fotovoltaik enerji dönüşüm sistemlerinde FV paneller yüke veya bataryaya maksimum güç noktası izleyici (MGNİ) aracılığıyla bağlanmaları gerekmektedir. MGNİ, FV sistemden en iyi şekilde faydalanmak için kullanılır ve bunun için bir MGNİ yöntemine veya algoritmasına ve bu yöntemi gerçekleştirmek için bir dönüştürücü devresine ihtiyacı vardır.

Maksimum güç noktası izleme yöntemleri, panelleri maksimum güç noktasında çalışmaya zorlar. Maksimum güç noktası izleme yöntemleri arasında, değiştir & gözle (D&G) ve artımsal iletkenlik algoritmaları oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin avantajı, kolay gerçekleştirilebilmeleri, maliyetlerinin düşük olması ve FV panel karakteristiklerine ihtiyaç duymamalarıdır.

Bir sistemde DA/DA dönüştürücünden beklenen fotovoltaik panellerden elde ettiği gücü düşürücü veya yükseltici olarak çalışarak çıkış aktarmasıdır [1]. Anahtarlamalı DA/DA dönüştürücüler yenilenebilir enerji kaynakları uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu dönüştürücüler farklı devre topolojilerine sahiptir. Bunlar arasında; düşürücü, yükseltici, düşürücü-yükseltici, Cuk ve SEPIC dönüştürücüler güç dönüşüm gereksinimine göre en çok kullanılanlardır.

Bu çalışmada, MGNİ yöntemi tasarlanan SEPIC DA/DA dönüştürücüde kullanılmıştır. Bu dönüştürücü yükseltici ve düşürücü olarak çalışabilmekte ve çıkış gerilimi giriş gerilimi ile aynı polaritedir. Bununla birlikte SEPIC dönüştürücü, girişinde bulunan bobin sayesinde düşük akım dalgalanmasına sahiptir ve devredeki yarıiletken anahtarın yeri dolayısıyla sürme işlemi kolaydır. Girişindeki akım dalgalanmasının düşük olması daha doğru bir MGNİ işlemi için avantajlı durumdur. Özellikle batarya geriliminin girişteki FV panellerin geriliminin altında ve üstünde olabileceği durumlarda kullanılması uygundur. Bu özellikler sayesinde son yıllarda, batarya şarj devresi olarak [2] ve MGNİ uygulamalarında [3-6] kullanımı yaygınlaşmaktadır. Ayrıca güç faktörü düzeltme devresi olarak [7] ve LED sürücü uygulamalarında kullanılmaktadır [8-9].

FV panellerin farklı ışınım değişim hızları ve farklı ışınım oranlarına maruz kaldığı durumlardaki maksimum güç noktası izleyici yönteminin verim performansını belirlemek için EN 50530 Avrupa Standardı geliştirilmiştir. Bu standart kullanılan MGNİ ile birlikte tüm sistemin dinamik çevre koşulları altındaki performansını tayin eder. Statik ve dinamik olmak üzere iki farklı MGNİ verim ifadesi vardır. Bu çalışmada dinamik MGNİ verimi incelenmiştir. Dinamik verimi test etmek için EN 50530 standardının orta-yüksek ışınım bölgesi ve düşük-orta ışınım bölgesi olmak üzere iki farklı profil bölgesi vardır [10].

Çalışma [10]'da D&G ve artımsal iletkenlik yöntemlerinin dinamik performansını EN 50530 standardına göre değerlendirmiştir. Bu çalışmada düşürücü-yükseltici dönüştürücü kullanılmış ve her ki yöntemle %99'un altında ve birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Başka bir çalışmada, D&G yöntemindeki kalıcı durum dalgalanmasını azaltmak ve yanlış yöne gitmeyi engellemek için bu yöntemde değişiklik yapmıştır. Önerdiği yeni D&G yöntemiyle geleneksel yöntemi EN 50530

standart testine sokulmuş ve düşük ışı nım de ğişim hızında %1,1 yüksek ışı nım de ğişim hızında %12 daha fazla verim elde etmiştir. Önerdiği yöntemlim ortalama verimini %98,2 olarak hesaplamıştır [11].

Çalışma [12]'de D&G, artımsal iletkenlik ve tepe tırmanma (dP/dt) MGNİ algoritması için düşürücü-yükseltici dönüştürücü üzerinde gerçekleştirilmiş ve bu üç algoritmanın verimlerini birbirleriyle karşılaştırmıştır. Burada ayrıca, MGNİ frekansı ve adım büyüklüğünün (ΔD) MGNİ'nin statik ve dinamik verimine olan etkisi incelenmiştir. Yine başka bir çalışmada Artımsal iletkenlik ve D&G algoritmalarını düşürücü-yükseltici ile EN 50530 dinamik verim testi gerçekleştirmiştir. Artımsal iletkenlik yönteminin ortalama performansı %98,5, D&G'nin ise %98,3 olarak elde edilmiştir [13].

D&G ve artımsal iletkenlik algoritmaları ticari MGNİ sistemlerinde en yaygın olarak kullanılan algoritmalar [14]. Bu çalışmada bu iki algoritma SEPIC DA/DA dönüştürücü üzerinde gerçekleştirilmiş ve EN 50530 MGNİ dinamik verim testine göre performansları elde edilmiştir. EN 50530 dinamik testi için FV simülatör kullanılmıştır. Kullanılan FV simülatör EN 50530 dinamik verim testi için gerekli tüm ışı nım seviyelerini ve ışı nım de ğişim profillerini sağlamaktadır. Ayrıca MGNİ'nin gerçekleştirilmesi ve tüm denetim TMS320F28377 DSP (Digital Signal Processor) kartı ile yapılmıştır. Dinamik verim testinde her iki yöntemle de yüksek verimler elde edilmiştir. Tüm profiller için elde edilen verim de ğerleri tablo olarak özetlenmiş ve bazı ışı nım ve ışı nım de ğişim hızı için MGNİ performansları grafik olarak verilmiştir.

2. DE ĞİşTİR-GÖZLE (D&G) VE ARTIMSAL İLETKENLİK MGNİ ALGORİTMALARI (THE PERTURB & OBSERVE AND INCREMENTAL CONDUCTANCE ALGORITHMS)

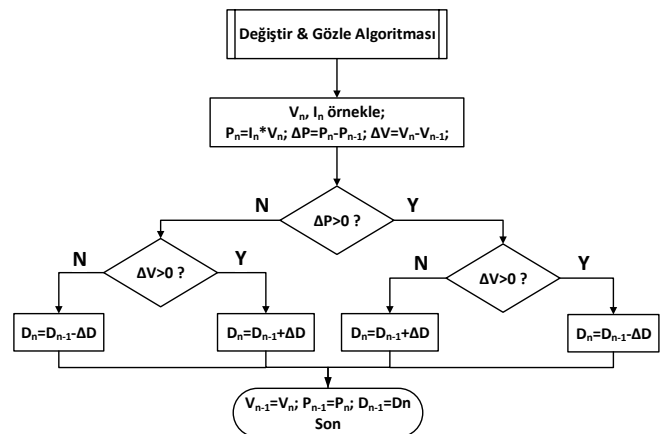
Fotovoltaik paneller lineer olmayan karakteristi ğe sahiptir ve çıkış güçleri hücre sıcaklığı ile güneş ışı nımına ba ğlı olarak de ğişmektedir. FV paneller doğrudan yüke ba ğlandığında panelin etiketinde yer alan maksimum gücü vermeyebilir. Bu nedenle maksimum güç noktası izleyiciler kullanılmaktadır. Maksimum güç noktası izleyiciler bir maksimum güç noktası izleyici algoritmasının veya yönteminin dönüştürücü

üzerine uygulamasıdır. MGNİ algoritması FV panelleri maksimum güç noktasında çalışmaya zorlar ve böylelikle FV sistemden en iyi şekilde faydalanılmasını sağlar. Bu yüzden tüm FV sistemlerde maksimum güç noktası izleyicilerin kullanılması gereklidir.

Maksimum güç noktası izleme yöntemleri arasında, D&G (de ğiştir & gözle) ve artımsal iletkenlik algoritmaları oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin çok yaygın olarak kullanılmasının başlıca nedenleri; kolay gerçekleştirilebilmeleri, maliyetlerinin düşük olması ve FV panel karakteristiklerine ihtiyaç duymamalarıdır [14].

2.1. De ğiştir-Gözle (D&G) algoritması (The perturb & observe (P&O) algorithm)

De ğiştir & gözle algoritmasında, FV panel gerilimi ile akımı ölçülür ve bu iki de ğer kullanılarak anlık güç hesaplanır. Daha sonra FV modül çalışma gerilimi de ğiştirilerek çıkış gücü de ğişimi gözlenir [15]. Çıkış gücü artmışsa, gerilimin de ğişim yönünün doğru oldu ğu anlaşılır ve bu yönde devam edilerek maksimum güç noktasına ulaşılır [14]. Şekil 1.'de D&G MGNİ algoritmasının akış şeması verilmektedir. Akış şemasından görüldü ğü üzere algoritmanın yapısı basittir. Bu arada kullanılan denetim durumuna göre MGNİ çıkışı D (ba ğlı iletim süresi), gerilim veya akım olabilir.

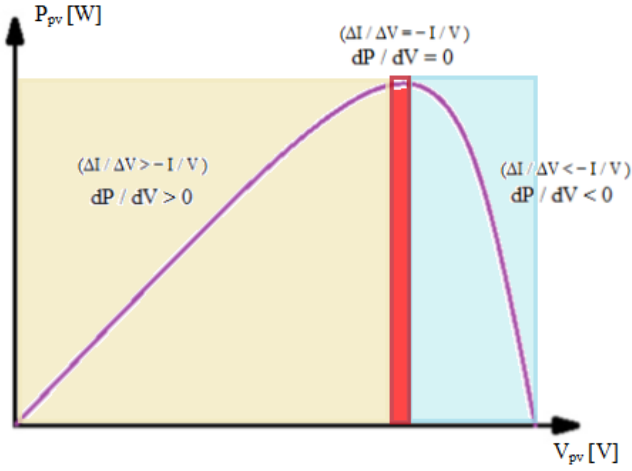


Şekil 1. D&G MGNİ algoritması akış şeması (Flow chart of P&O MPPT Algorithm) [14]

2.2. De ğiştir-Gözle (D&G) algoritması (The perturb & observe (P&O) algorithm)

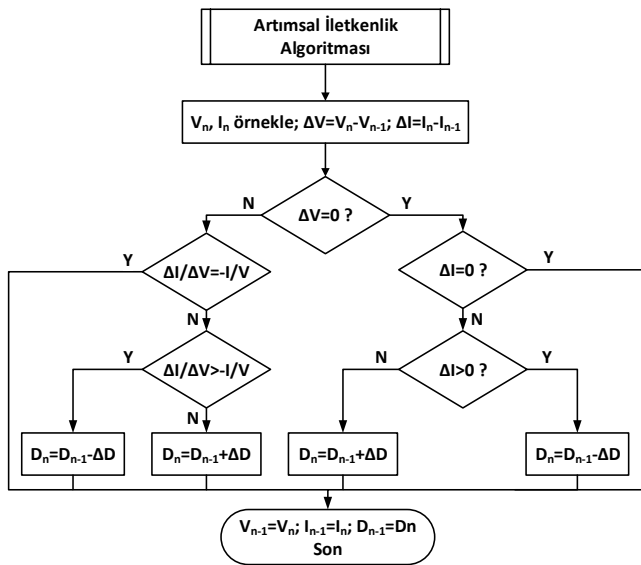
Artan iletkenlik (Incremental Conductance - IC) yönteminin çalışması temel olarak FV panel çıkış gücünün de ğişiminin (dP) panel geriliminin de ğişimine (dV) oranının sıfır oldu ğu yerin maksimum güç noktası (MGN) oldu ğu prensibine dayanmaktadır (dP/dV=0). E ğer bu oran sıfırdan

büyük ise ($dP/dV > 0$), sistemin o anki çalışma noktasının MGN'nin sol tarafında olduğu anlaşılmaktadır. Değişimlerin oranı sıfırdan küçük olduğunda ise ($dP/dV < 0$), çalışma noktasının MGN'nin sağ tarafında olduğu anlaşılmaktadır [16].



Şekil 2. Artan iletkenlik MGNİ algoritması temel prensibi (The basic idea of the incremental conductance MPPT algorithm)

Şekil 2'de verilen eğri artan iletkenlik algoritmasının temelini oluşturmaktadır. Şekilden anlaşılacağı üzere, bu yöntem ile FV panelin çalışma noktasının, panel çıkış gücünün eğiminin sıfır olduğu yerin maksimum güç noktası, pozitif olduğu yerin MGN'nin sol tarafı, negatif olduğu yerin MGN'nin sağ tarafı olduğu bilinmektedir. Bu yöntemde de değiştir-gözle yönteminde olduğu gibi çıkış akımı ve gerilim gözlemlenir, MGNİ algoritması iletkenliği ve artımsal iletkenliği hesaplar ve buna göre MGN'ye ulaşana kadar referans gerilimi, akımını veya bağıl iletim süresini (D) artırır veya azaltır.



Şekil 3. Artımsal iletkenlik MGNİ algoritması akış şeması (Flow chart of the incremental conductance MPPT Algorithm) [14]

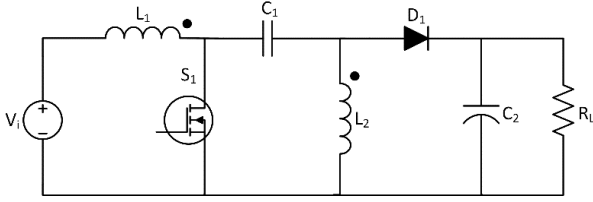
Bu yöntem, hızla değişen ortam koşullarında D&G yönteminin yanlış izleme dezavantajının üstesinden gelmek için izleme doğruluğunu ve dinamik performansı iyileştirmek için önerilmiştir [17]. Şekil 3'de artımsal iletkenlik yönteminin akış şeması verilmektedir. Artan iletkenli yönteminin akış şeması D&G'ye göre biraz daha karmaşıktır.

3. SEPIC DÖNÜŞTÜRÜCÜ (SEPIC CONVERTER)

SEPIC (the single-ended primary-inductance converter) DA/DA dönüştürücü düşürücü-yükseltici olarak çalışabilmektedir. Çıkışta istenen gerilim seviyesine göre hem düşürücü hem de yükseltici olarak çalışabilmektedir. Özellikle FV uygulamalarda, giriş geriliminin ne olduğuna bakmaksızın istenilen çıkış gerilimini üretebilmesi özelliği ile panellerden elde edilen maksimum gücü çıkışa tamamen aktarabilir. SEPIC dönüştürücünün diğer düşürücü-yükseltici DA/DA dönüştürücülere göre en büyük üstünlüğü çıkış geriliminin giriş gerilimi ile aynı polariteye sahip olmasıdır. Ayrıca, Şekil 4.'de gösterilen SEPIC dönüştürücünün devre yapısındaki L_1 giriş bobininden dolayı düşük giriş akım dalgalanmasına sahiptir.

SEPIC dönüştürücü dört adet enerji depolama elemanına sahiptir. Bu elemanlardan iki tanesi kondansatör (C_1, C_2), diğer ikisi ise bobindir (L_1, L_2). Ayrıca SEPIC dönüştürücü, bir aktif güç anahtarı (S_1) ve bir pasif güç anahtarı (D_1) içermektedir. Bu devrede giriş kondansatörü veya kuplaj kondansatörü olarak isimlendirilmekte olan C_1, L_1 ve L_2 bobinleri arasında bulunmakta ve devrenin girişi ve çıkışı arasındaki DA akımını bloke etmektedir [9].

SEPIC dönüştürücünün, sürekli iletim modunda S_1 anahtarının iletimde olduğu ve kesimde olduğu durum için iki devre topolojisi vardır. S_1 anahtarı iletime girdiğinde; L_1 bobini V_i giriş gerilimiyle enerji depolar, L_2 bobini ise V_{C1} kuplaj kondansatörü gerilim ile enerji depolamaktadır. C_1 ve C_2 sırasıyla L_2 bobini ve yük üzerinden deşarj olmaktadır. S_1 anahtarı kesime girdiğinde ise; C_1 kondansatörü giriş gerilimiyle şarj olur. Sürekli halde C_1 kondansatörü yaklaşık olarak V_i gerilimine eşittir. S_1 anahtarı üzerine giriş ve çıkış gerilimlerinin toplamı düşer. S_1 anahtarının iletimde kalma süresine göre veya doluluk boşluk oranına göre devre ya düşürücü ya da yükseltici olarak çalışır.



Şekil 4. SEPIC dönüştürücü devresi (The circuit of SEPIC converter)

SEPIC dönüştürücü devresinde bulunan L_1 ve L_2 bobinleri aynı nüveye sarılabilir veya ayrı olarak bulunabilir. Aynı nüve üzerinde sarıldıklarında ortak endüktans meydana geleceği için daha kullanılan bobinlerin boyutu küçülecek dolayısıyla devrenin boyutu azalacaktır. Bu çalışmada devrenin sürekli iletim modunda çalışacağı düşünülerek devrenin tasarımı yapılmıştır. Ayrıca MGNİ olarak kullanılan SEPIC devresindeki L_1 ve L_2 aynı nüve üzerine sarılmış ve değerleri $L_1 = L_2 = 340 \mu\text{H}$ 'dir. Devreye ait diğer parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Tasarlanan SEPIC dönüştürücü parametreleri

Parametre	Değer
V_1 (Giriş gerilim aralığı)	10- 40 V
C_1 (kuplaj kondansatörü)	8,8 μF
C_2 (çıkış kondansatörü)	950 μF
L_1 (giriş bobini)	340 μH
L_2 (çıkış bobini)	340 μH
Anahtarlama frekans (f)	100 kHz

4. DENEYSEL TEST DÜZENEGİ VE EN 50530 STANDARDI (EXPERIMENTAL TEST PLATFORM OF THE SYSTEM AND EN 50530 STANDARD)

Bu bölümde maksimum güç noktası izleyici algoritmalarının testini sağlamak için oluşturulmuş olan deneysel düzenden bahsedilmiştir. Ayrıca MGNİ'lerin dinamik performansını ölçmek için kullanılan EN 50530 avrupa standardından bahsedilmiştir.

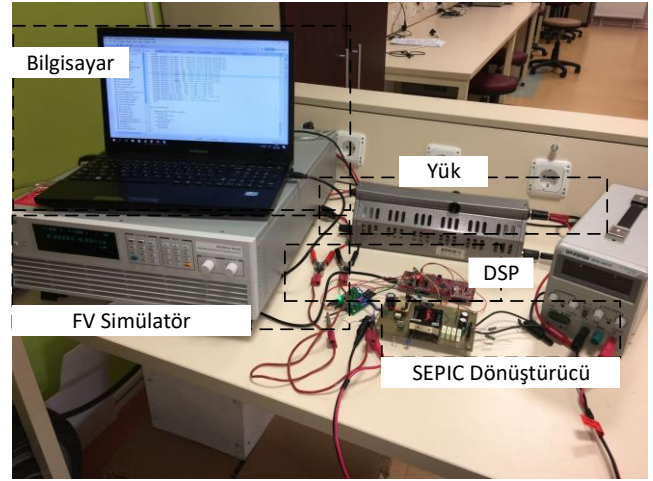
4.1. Deneysel düzenek (Experimental test platform)

Değiştir-gözle ve artımsal iletkenlik MGNİ'lerinin Avrupa Standardına (EN 50530) göre dinamik performans verimliliğini test etmek için oluşturulmuş olan deneysel test düzeneği resmi Şekil 5.'te verilmiştir.

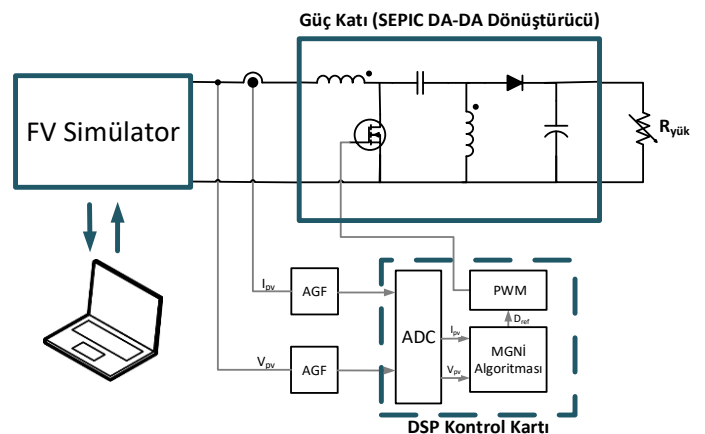
Dinamik performans test platformu temel olarak, SEPIC dönüştürücü, FV simülasyon ve DSP

denetim kartından oluşmaktadır. Ayrıca, Şekil 6'da sistemin uygulanmasını özetleyen basitleştirilmiş blok diyagram verilmiştir. MGNİ algoritması, bu sistem için tasarlanmış olan SEPIC DA/DA dönüştürücüsü ile gerçekleştirilmektedir. Algoritmanın işletilmesi ve tüm denetim DSP denetim kartı tarafından yapılmaktadır. EN 50530 dinamik MGNİ verim standart testi kullanılan MGNİ verimliliğine odaklandığı için SEPIC dönüştürücünün verimliliği bu çalışmada göz önünde bulundurulmamıştır.

Test platformunda bulunan FV simülasyon bize gerçek güneş panelleri kullanmadan, laboratuvar ortamında fotovoltaik I-V çıkışları sağlar. Simülasyon sayesinde farklı çevre koşullarını (ışınlama, sıcaklık, gölgelendirme, kir gibi) çıkış karakteristiğine etkisi görülebilmektedir.



Şekil 5. FV sistem EN 50530 test düzeneği (EN 50530 test platform of the system)



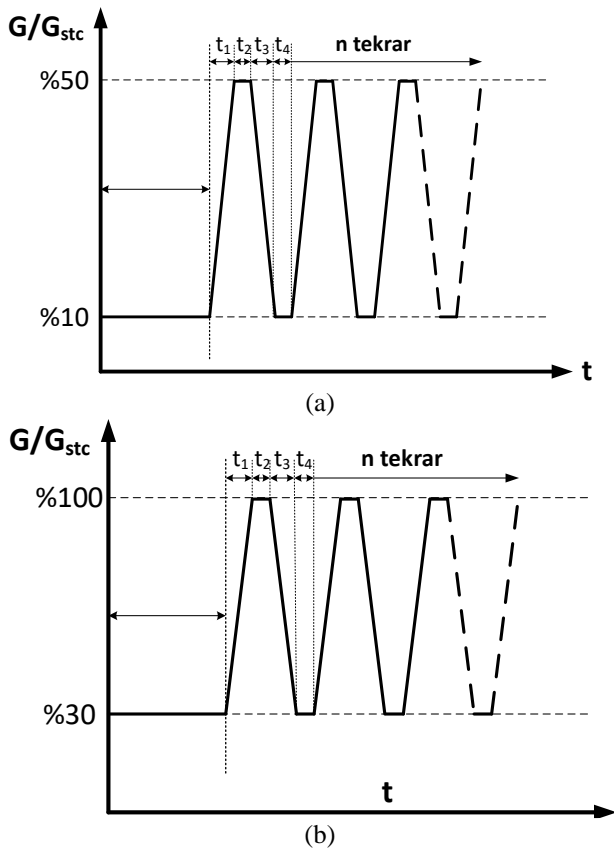
Şekil 6. Test sisteminin blok şeması (The block diagram of the test system)

Test çalışmalarından önce, öncelikle FV simülasyonunda, maksimum güç noktasında gerilimi ($V_{mpp} = 17.3\text{V}$) ve maksimum güç noktası ($P_{mpp} = 80\text{W}$) olan bir FV panel oluşturulmuştur. Daha sonra, oluşturulan FV panelin I-V (akım-

gerilim) ve P-V (güç-gerilim) eğrileri elde edilmiştir. Ayrıca simülatörde, gerçekleştirilen MGNİ'nin dinamik ve statik verimlerinin EN 50530 standardına uygun olup olmadığını belirlemek için yine bu standart tarafından belirlenmiş olan ışınım test profilleri mevcuttur. Bu çalışmada FV simülatörün EN 50530 test profilleri MGNİ'ye uygulanmıştır. Testler boyunca MGNİ verimleri FV simülatör yardımıyla hesaplanmaktadır.

4.2. EN 50530 Standardı (EN 50530 standard)

FV çıkış gerilimi ve akımı (PV simülatörünün çıkış gerilimi ve akımı), gerilim ve akım algılayıcı devreleri kullanılarak ölçülmektedir.



Şekil 7. EN 50530 Standardının (a) düşük-orta ışınım bölgesindeki test profili (0.5 – 50 W/ m²/s) (b) orta-yüksek ışınım bölgesindeki test profili (10 - 100 W/m²/s) ((a) Low-medium insolation region (0.5 - 50 W/ m²/s) (b) Medium-high insolation region (10 - 100 W/m²/s) test profiles specified in EN 50530)

Bu ölçülen değerler DSP'ye analog giriş olarak verilmekte ve yine DSP içerisinde yazılmış olan D&G veya Artan iletkenlik MGNİ algoritmalarının girişi olarak kullanılmaktadır. MGNİ algoritması işleminden sonra referans bağıl iletim süresi (D_{ref}) üretilir ve DSP, SEPIC dönüştürücüsü için elde edilen bu D_{ref} 'e göre darbe genişlik ayarı (DGA) sinyali üretir. Böylece,

SEPIC dönüştürücü DSP denetleyicisi ile birlikte FV paneli maksimum güç noktasında çalışmaya zorlar. Bağıl iletim süresi adım büyüklüğü (D_{ref}) ve MGNİ frekansı sırasıyla 0.01 ve 100Hz olarak ayarlanmıştır. Bu çalışmada, DSP kontrol kartı, yüksek analog-dijital dönüştürücü (ADC) hızı ve DGA çözünürlüğüne sahip olduğu için kontrolör olarak tercih etmiştir. Bu işlemci, MGNİ algoritmalarını doğru bir şekilde yerine getirecek kadar hızlıdır.

EN 50530 standardında belirtilen tam dinamik test ışınım profili Şekil 7'de gösterildiği gibidir. Bu test profilinde, düşük-orta ışınım bölgesi (100–500 W/ m²) ve yüksek-orta ışınım bölgesi (300–1000 W/ m²) olmak üzere iki farklı ışınım bölgesi mevcuttur. Ayrıca her iki ışınım bölgesi için Tablo 2 ve Tablo 3'de özetlendiği üzere çok sayıda ışınım profili vardır. Bu ışınım profilleri düşük-orta ışınım bölgesinde 0.5–50 W/m²/s arasında eğimlere sahip rampa fonksiyonlarından oluşmaktadır. Yüksek-orta ışınım bölgesinde ise 10–100 W/ m²/s arasında eğimlere sahip rampa fonksiyonlarından oluşmaktadır. Tablo 2 ve Tablo 3'de sırasıyla düşük-orta ışınım bölgesi ve yüksek-orta ışınım bölgesinin ışınım profilleri detaylı olarak verilmiştir. Bu tablolarda her bir ışınım profilinin eğimi, değişim hızı veya rampa fonksiyonu W/m²/s cinsinden verilmiştir. Ayrıca dönüştürücüye uygulanan ışınımın profilinin kaç defa uygulandığı, tekrarlama sayısı olarak verilmiştir. Her bir ışınım profilinin Şekil 7'de gösterilen yükselme süresi (t_1), yerleşme süresi (t_2), düşme süresi (t_3) ve alt bölgede yerleşme süresi yükselme zamanı (t_4), ayrı ayrı verilmiştir. Her bir ışınım profilinin toplam uygulama süresi, bu dört sürenin ve her biri için 300 s olan oturma süresinin toplamından oluşmaktadır. Bu sürelerin tümü her bir ışınım profili için Tablo 2 ve 3'te detaylı olarak verilmiştir. Bu EN 50530 ışınım test profilleri FV simülatörde üretilmektedir. Üretilen ışınım profilleri doğrudan SEPIC dönüştürücünün girişine uygulanmıştır. Tablo 2 ve 3'den görülebileceği üzere, EN 50530 testi altında tüm ışınım profillerinde yaklaşık %99 ve üzerinde verim elde edilmiştir. Her iki tabloda iki ışınım bölgesi için, her ışınım değişim profili için ayrı ayrı verimler hesaplanmıştır. Bu çalışmada EN 50530 standardını uygulayan simülatörden alınan örnekleme süresi 0,5 saniyedir. Bundan dolayı 0,5 s aralıklarla FV simülatörün verdiği teorik güç ile SEPIC dönüştürücünün girişindeki güçten anlık olarak ölçülmekte ve verim hesaplanmaktadır.

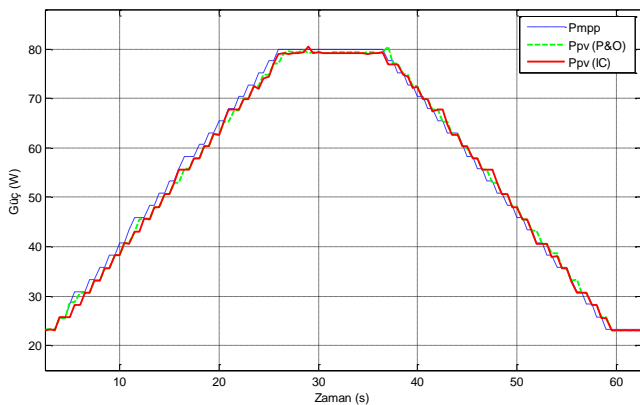
Tablo 2. Düşük ışınım bölgesindeki (100 W/m²- 500 W/m²) D&G ve Artımsal iletkenlik MGNİ yöntemlerinin EN 50530 Dinamik test koşullarındaki performansı (The Performance of P&O and Incremental Conductance methods EN 50530 dynamic test conditions under low to medium insolation region (0.5 – 50 W/m²/s))

Rampa (W/m ² /s)	Tekrarlama (n)	Yükselme Süresi (s) (t ₁)	Yerleşme Süresi (s) (t ₂)	Düşme Süresi(s) (t ₃)	Yerleşme Süresi (s) (t ₄)	Toplam Süre (s)	D&G Verim	Artımsal iletkenlik % Verim
0,5	2	800	10	800	10	3540	99.31	99.33
1	2	400	10	400	10	1940	99.29	99.37
2	3	200	10	200	10	1560	99.27	99.36
3	4	133	10	133	10	1447	99.24	99.33
5	6	80	10	80	10	1380	99.20	99.27
7	8	57	10	57	10	1374	99.19	99.27
10	10	40	10	40	10	1300	99.13	99.18
14	10	29	10	29	10	1071	99.06	99.18
20	10	20	10	20	10	900	99.01	98.31
30	10	13	10	13	10	767	98.98	98.92
50	10	8	10	8	10	660	98.75	98.35
Ortalama Verim:							99.13	99.08

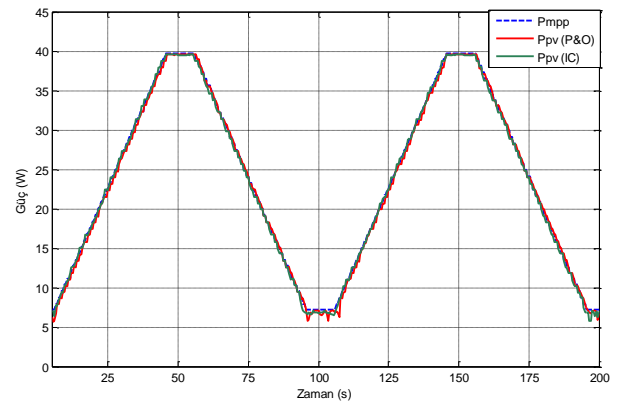
Tablo 3. Yüksek ışınım bölgesindeki (300 W/m²- 1000 W/m²) D&G ve Artımsal iletkenlik MGNİ yöntemlerinin EN 50530 Dinamik test koşullarındaki performansı (The Performance of P&O and Incremental Conductance methods EN 50530 dynamic test conditions under medium to high insolation region (10 – 100 W/m²/s))

Rampa (W/m ² /s)	Tekrarlama (n)	Yükselme Süresi (s) (t ₁)	Yerleşme Süresi (s) (t ₂)	Düşme Süresi(s) (t ₃)	Yerleşme Süresi (s) (t ₄)	Toplam Süre (s)	D&G %Verim	Artımsal iletkenlik % Verim
10	10	70	10	70	10	1900	99.33	99.43
14	10	50	10	50	10	1500	99.41	99.43
20	10	35	10	35	10	1200	99.38	99.45
30	10	23	10	23	10	967	99.32	99.39
50	10	14	10	14	10	780	99.30	99.33
100	10	7	10	7	10	640	99.19	99.22
Ortalama Verim:							99.321	99.375

Buradaki verimler her ışınım profilinde alınan anlık verimlerin ortalamasından oluşmaktadır.



Şekil 8. Değiştir&gözle (D&G, P&O) ve Artımsal iletkenlik (IC) algoritmalarının orta-yüksek ışınım bölgesindeki (300 W/ m²- 1000 W/ m²) ve ışınım değişim eğiminin 30 (W/m²/s) olduğu durumdaki performansları (The Performance of P&O and Incremental Conductance (IC) methods under medium-high insolation region (300 W/ m²- 1000 W/ m²) and ramp profile of 30 (W/m²/s))



Şekil 9. Değiştir&gözle (D&G, P&O) ve Artımsal iletkenlik (IC) algoritmalarının düşük-orta ışınım bölgesindeki (100 W/ m²- 500 W/ m²) ve ışınım değişim eğiminin 10 (W/m²/s) olduğu durumdaki performansları (The Performance of P&O and Incremental Conductance (IC) methods under medium-high insolation region (100 W/ m²- 500 W/ m²) and ramp profile of 10 (W/m²/s))

Tasarlanan SEPIC dönüştürücülü sisteme uygulanan D&G ve Artımsal iletkenlik MGNİ algoritmalarının EN 50530 dinamik verim testine göre performansları orta-yüksek ve düşük-orta

ışınım bölgeleri için Şekil 8 ve Şekil 9’da verilmiştir. Şekil 8 ve Şekil 9’da kesikli çizgi ile verilen, P_{mpp} yani FV simülatörün ışınım profiline göre verdiği maksimum güç değişimini göstermektedir. Her iki algoritmanın ışınımdaki bu güç değişimine verdiği cevap aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü üzere, D&G algoritmasıyla simülatörden çekilen güç ($P_{pv(P\&O)}$) ve artımsal iletkenlik algoritmasıyla çekilen güç ($P_{pv(IC)}$), girişindeki ışınım değişimlerine göre değişen güce (P_{mpp}) hızlı cevap vermektedir. Bu sayede her iki algoritma hem verim olarak hem de ışınım değişimlerine hızlı cevap vermesinden dolayı iyi bir performans sergilemiştir.

5. DENEYSSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Bu çalışmada D&G ve Artımsal iletkenlik yöntemlerinin EN 50530 dinamik verim testine göre ayrıntılı dinamik performansı elde edilmiş ve Tablo 2 ve 3’de verilmiştir. Şekil 8 ve 9’da sırasıyla düşük-orta ve yüksek-orta ışınım bölgelerinde deneysel olarak elde edilen MGNİ performansları verilmiştir. Bu şekiller her iki ışınım bölgesi için, ışınım değişim eğiminin veya rampa profiline 10 ($W/m^2/s$) olduğu durumu göstermektedir. Ayrıca şekillerde, değiştir&gözle (D&G, P&O) ve artımsal iletkenlik (IC) algoritmalarının maksimum güç noktası izleme performansları ayrı ayrı verilmiştir.

MGNİ algoritmaları, tasarlanan SEPIC DA/DA dönüştürücü üzerinde gerçekleştirilmiş ve tüm denetim işlemleri için TMS320F28377 DSP işlemcisi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar her iki MGNİ algoritmasının verim değerleri birbirine çok yakın olarak elde edilmiştir. D&G ve Artımsal iletkenlik algoritmalarının ortalama verimlilikleri, düşük orta bölgede ($100-500 W/m^2$) sırasıyla% 99.13 ve% 99.08 olarak elde edilmiştir. Düşük-orta bölgede ($300-1000 W/m^2$) P & O ve IC yöntemlerinin ortalama verimlilikleri sırasıyla% 99,32 ve 99,38'dir.

Düşük-orta ışınım bölgesinde: Her iki MGNİ algoritması da yaklaşık olarak aynı verimlilik performansı gösterir. Yavaş rampa bölgesinde ($0,5 W/m^2/s - 20 W/m^2/s$); artımsal iletkenlik algoritması, MGNİ verimliliği bakımından D&G’den biraz daha iyi sonuç vermekte iken, hızlı rampa bölgesinde ($20 W/m^2/s - 50 W/m^2/s$); D&G algoritmasının verimi artımsal iletkenlikten biraz daha fazla olarak elde edilmiştir.

Orta-yüksek yoğunluklu güneşlenme bölgesinde: Her iki MGNİ algoritması da yaklaşık olarak aynı verimlilik performansı gösterir. Bununla birlikte, tüm rampa profillerinde ($10 W/m^2/s - 100 W/m^2/s$) artımsal iletkenlik algoritması, MGNİ verimliliği açısından D&G’den biraz daha iyi verime sahiptir. Her iki algoritma da girişindeki ışınım değişim profillerine hızlı cevap vermektedir. Bu sayede hem verim hem de hızlı cevap anlamında iyi bir performans sergilemiştir.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] V. Eng and C. Bunlaksananusorn, “Modeling of a SEPIC converter operating in continuous conduction mode,” in *Proc. 6th ECTI-CON*, pp. 136–139, 2009.
- [2] S. J. Chiang and H. J. Shieh, “Modeling and control of PV charger system with SEPIC converter,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 11, pp. 4344–4353, 2009.
- [3] H.S. Chung et al., “Novel Maximum Power Point Tracking Technique for Solar Panels Using a SEPIC or Cuk Converter,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 18, no. 3, pp. 717–724, 2003.
- [4] A.E. Khateb et al., “Maximum power point tracking of single-ended primary-inductor converter employing a novel optimisation technique for proportional-integral derivative controller,” *IET Power Electron.*, Vol. 6, no. 6, pp. 1111–1121, 2013.
- [5] E.Mamarelis et al., “Design of a Sliding-Mode-Controlled SEPIC for PV MPPT Applications,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no. 7, pp. 3387–3398, 2014.
- [6] M. Killi and S. Samanta, “An Adaptive Voltage-Sensor-Based MPPT for Photovoltaic Systems With SEPIC Converter Including Steady-State and Drift Analysis,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 62, no. 12, pp. 7609–7619, 2015.
- [7] M. Mahdavi and H. Farzanehfard, “Bridgless SEPIC PFC Rectifier with Reduced Components and Conduction Losses,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 9, pp. 4153–4160, 2011.
- [8] H. Ma et al., “A Novel Valley-Fill SEPIC-derived Power Supply Without Electrolytic Capacitors for LED Lighting Application,”

- IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 6, pp. 3057–3071, 2012.
- [9] H.J. Chiu et al., “A High Efficiency Dimmable LED Driver for Low-Power Lighting Applications,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 2, pp. 735–743, 2010.
- [10] Sera, D., Mathe, L., Kerekes, T., Spataru, S. V., & Teodorescu, R., “On the Perturb-and-Observe and Incremental Conductance MPPT Methods for PV Systems,” *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 3, no. 3, 2013.
- [11] Ahmed, J., Ahmed, J., Member, S., & Salam, Z., “A Modified P & O Maximum Power Point Tracking Method with Reduced Steady State Oscillation and Improved Tracking Efficiency,” *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 7, no. 4, pp. 1506–1515, 2016.
- [12] Andrejasic, T., Jankoves, M., & Topic, M., “Comparison of direct maximum power point tracking algorithms using EN 50530 dynamic test procedure,” *IET Renewable Power Generation*, vol. 5, no. 4, pp. 281–286, 2011.
- [13] Ishaque, K., & Salam, Z., “Dynamic Efficiency of Direct Control Based Maximum Power Point Trackers,” *In 2014 5th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation*, pp. 429–434, 2014.
- [14] Bendib, B., Belmili, H., & Krim, F. A., “Survey of the most used MPPT methods: Conventional and advanced algorithms applied for photovoltaic systems,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 45, pp. 637–648, 2015.
- [15] Abdelsalam, A. K., Massoud, A. M., Ahmed, S., & Enjeti, P. N., “High-Performance Adaptive Perturb and Observe MPPT Technique for Photovoltaic-Based Microgrids,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 26, no. 4, pp. 1010–1021, 2011.
- [16] Ishaque K., Salam Z., “A review of maximum power point tracking techniques of PV system for uniform insolation and partial shading condition,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 19, pp. 475-488, 2012.
- [17] Saravanan, S., & Ramesh Babu, N., “Maximum power point tracking algorithms for photovoltaic system – A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 57, no. pp. 192–204., 2016.

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Gelis/Received</u> 08-05-2017 <u>Kabul/Accepted</u> 01-02-2018	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.310954	

Hareketli hedef takip sisteminde genelleştirilmiş Hough dönüşümü (GHT) ve normalleştirilmiş çapraz ilinti (NCC) yöntemlerini ardışıl kullanarak eşleşme doğruluğunun artırılması

Mustafa Yağimli^{*1}, Hayriye Korkmaz², M. Oğuzhan Ün³

ÖZ

Bu çalışmada; hedefin daha iyi tahmin edilmesinde, hedefin ve şablon piksellerinin yoğunlukları arasında ilinti puanı hesaplanmıştır. Görünüm değişikliklerini ele almak için yapılan işlemde, hedefin şablonları 12 değişik görünüşten alınmıştır. Resmin merkez noktası ile sınırlayıcı kutunun merkez noktası arasındaki mesafe hesaplanmış ve bir hata sinyali olarak dönüştürülmüştür. Hata sinyalini kullanarak servo motorlar hedefin merkezleştirilmesi için kameranın görüş açısını değiştirmeye yönlendirilmiştir. Böylece hedef, değişen bir geçmişe sahip gerçek zamanlı olarak tanınmış ve izlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: görüntü işleme, kenar algılama, genelleştirilmiş Hough dönüşümü, normalleştirilmiş çapraz ilinti

Improving accuracy matching in a mobile target tracking system by using consecutively generalized Hough transform (GHT) and normalized cross correlation (NCC) methods

ABSTRACT

In this study; together with this to make a better estimation of the target, correlation score is also computed between the intensities of the target and the template pixels. In the application in order to handle the appearance changes, the templates of the target are taken from 12 different appearances. The matches taking a score over defined level are considered as real matches and bounded by a bounding box. Using the error signal, servomotors are controlled to change the point of view of the camera to centralize the target. In this way the target recognized and tracked near real time with a changing background.

Keywords: image processing, edge detection, generalized Hough transform, normalized cross correlation

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Beykent Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

² Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

³ Deniz Harp Okulu, Deniz Bilimleri ve Müh. Enstitüsü, Elektronik Sistemler Müh. Yüksek Lisans Programı

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hedef takip algoritmaları çok çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Bu amaçların başında güvenlik maksatlı gözetleme faaliyetleri, otomasyon üretim sistemleri, kara, deniz, hava araçlarının görüş sistemleri, harita çıkarımı yapan robot görüş sistemleri veya hedef takibi yapan robot görüş sistemleri gibi sistemler yer alır. Bunun yanında bazı hedef takip sistemlerinde insan yüzü hedef olarak alınırken bazı sistemlerde insan hareketi veya herhangi bir aracın takibi ya da akla gelebilecek herhangi bir nesne hedef olarak alınabilmektedir. Fakat bütün takip sistemlerinde amaç hedef olarak alınan nesnenin bir video dizisi içinde imgeden imgeye yer değiştirmesini öngörmek veya tekrar konum bilgisini güncellemektir. Burada önemli olan takibin kesintisiz olarak devam edebilmesidir. Önceden öğrenme işlemi olmayan ve özellikle tahmin yöntemleri üzerine çalışan takip algoritmalarında hedefin bir defa belirlenen çerçeve dışına çıkması tamamen kaybı anlamına gelmektedir [1]. Ancak, önceden öğrenme işlemi içeren algoritmalar ise hedefin bir sonraki imgede bulunabilmesi için tüm imgeyi veya bir ilgi sahasını devamlı olarak imge işleme tekniğine bağlı olarak incelenmekte ve hedefi bulmaya çalışılmaktadır [2]. Bu da, ortaya konacak uygulama için, daha karmaşık işlemler, gerektirmekte ve sistemin, gerçek zamanlı işlem yapmasını, zorlamaktadır. Gerçek zamanlı işlemler, özellikle harita çıkarımı, güvenlik sistemleri, askeri maksatlar için, atış kontrol sistemleri veya mobil robotlar için, çatışmadan kaçınma gibi uygulamalarda, önem kazanmaktadır [3,4]. Diğer taraftan belirlenen hedefin kameraya yaklaştığında veya uzaklaştığında farklı ölçeklerde de tanınabiliyor olması takip algoritmasının güvenilirliğini ve sağlamlığını artırmaktadır [5,6]. Bir diğer önemli husus ise takip edilen nesnenin rotasyonu değişse veya bir başka nesne tarafından kısmen örtülmeye maruz kalsa bile, algoritma tarafından tespit edilebiliyor olmasıdır [7,8]. Ancak bahse konu özellikler birçok algoritmanın çalışma zamanını etkileyen ve normalden daha karmaşık imge işleme tekniklerini içermekte olduğundan bazı algoritmalar tarafından kullanılmamakta veya kısıtlı olarak kullanılmaktadır. Gerçek dünyada üç boyutlu ortamdaki alınan iki boyutlu görüntü ile çalışılması özellikle mobil robotlar tarafından yapılan yol bulma ve harita çizme gibi [9, 10] uygulamalarda çeşitli güçlükler meydana getirmektedir.

Problemin üstesinden gelebilmek için ise insan gözünde de olduğu gibi iki adet görüntüleme sistemi [11] yardımı ile veya [9]'da olduğu gibi bir takım belirleyici işaretler (landmark) kullanılarak nesnelerin derinliği ve konumlarının doğru bir şekilde algılanması sağlanmaktadır. Literatürde hedef takibi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde;

Chao ve ark., engellerden sakınan ve hedef nesneye belirli bir mesafe yaklaştığında hedef önünde duran iki kameralı (stereo vision) bir sistem geliştirilmiştir [11]. Bu sistemde hedef her açıdan aynı görüntüyü verecek nitelikte bir maket piramittir. Uygulamada hedef için ölçeklendirme mevcuttur. Uzak mesafeden hedefin tanınmasıyla mobil robot hedef yakınında belirli bir mesafede mevki alacak şekilde hareket eder. Hedef bulma algoritması hedefin renk bilgisinin imgede aranması ile bulunmaktadır. Diğer taraftan engeller kenar bulma algoritması ile belirlenir ve sağ ve solda iki kenar algılandığında orta nokta hesabı yapılarak engellerin arasından orta noktadan geçilmeye çalışılır. Lamberti ve ark., termal kamera videoları üzerinden arka plandan ayırt edilebilecek şekilde yüksek ışık şiddetine sahip hedefler şablon eşleştirme algoritmasına alınmıştır. Bu çalışmada şablon eşleştirme alanı olasılık tabanlı bir yöntemle daraltılmış ve normalden daha küçük bir ilgi sahası meydana getirilerek algoritmanın çalışma hızı artırılmıştır. Uygulamanın belirli bir oranda örtmeye cevap verilebildiği ifade edilmektedir [12]. Babenko ve ark., çoklu anlık öğrenim (Multiple Instance Learning) yolu ile sınıflandırılan ve önceden öğrenme yöntemine ihtiyaç duymayan bir takip yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde örtmeye cevap verme, rotasyon veya ölçekten bağımsızlık mevcuttur. Çalışmada sınıflandırma işlemine tabi tutulan hedeften anlık olarak nesne hareket ettikçe ve hedef çerçevesi güncellendikçe bir sınıflandırma grubu oluşturulur. Sınıflandırma sonunda şablon eşleştirme algoritması ile yeni şablonların konumu tespit edilir. Dolayısıyla sınıflandırma grubu da bu şekilde güncellenmektedir. Önceden öğrenmeye ihtiyaç duymayan bu yöntemin en büyük problemi diğer benzer uygulamalarda da olduğu gibi tamamen örtmeye maruz kalmanın ardından tekrar hedefin yakalanamamasıdır. Bunun yanında uygulama gerçek zamanlı sonuçlar vermektedir [13].

Bu çalışmada; hareket kabiliyetine sahip bir kamera düzeneği vasıtasıyla hareketli bir hedefin öncelikle tanınması ve sonra takip işlemi gerçekleştirilmiştir. Önceden öğrenme işleminin

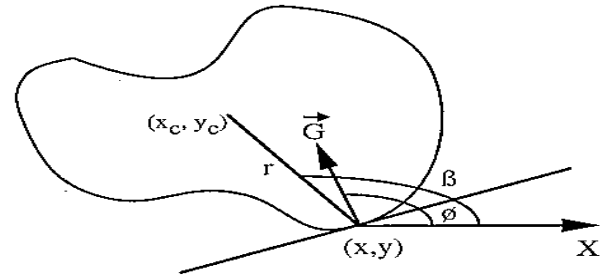
yapılabilmesi için hedef nesnelerin çeşitli açılardan fotoğrafları çekilerek hedefler hakkında bir veri tabanı oluşturulmuştur. Geliştirilen yazılım tarafından istenen hedefin veri tabanındaki fotoğrafları kullanılan imge işleme algoritması sayesinde tanınmış ve gerçek zamana yakın imge dizilerinde aranması sağlanmıştır. Her bir imge karesinde tanınan hedefin bulunması sureti ile de takip işleminin devamlılığı sağlanmıştır. Genelleştirilmiş Hough Dönüşümü ise yukarıda bahsedilen tüm özellikleri karşılayabilecek yapıda parametrik olmayan şekil tabanlı bir dönüşüm yöntemidir. Matematiksel hesaplamalar her ne kadar yoğun seviyede olsa bile günümüz işlemci hızları ile gerçek zamanlı çalışmalara müsaade edebilmektedir. Ancak yine de sadece şekil tabanlı bir çalışma olması ve ölçek, rotasyon ve örtme gibi özelliklerin de kullanılması ile zaman zaman yanlış sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu nedenle şekil bilgisinin yanında renk bilgisinin de hedef eşleştirme işlemine dâhil edilerek eşleştirmelerin doğruluğunun artırılması gerekmektedir. Bu maksatla şablon ile hedef olduğu düşünülen eğri alanı arasında bir normalize çapraz ilinti hesabı yapılmış, nihai olarak eşleşmelerin doğruluğuna böylelikle daha sağlıklı olarak karar verilebilmiştir.

1.1. Analitik Olmayan Şekiller İçin Genelleştirilmiş Hough Dönüşümü (Generalized Hough Transform for Arbitrary Shape)

Analitik olmayan şekillerin tanınmasında kullanılan Genelleştirilmiş Hough Dönüşümü hedef nesne için konumdan bağımsız parametrik olmayan bir dönüşüm şeklidir. Dönüşüm, kenar bulma işlemi neticesinde hedef nesne üzerinde bulunan her bir kenar noktasındaki gradyen, kenar noktanın nesne için belirlenen referans noktaya uzaklığı ve bu iki nokta arasındaki doğru ile yatay eksen arasındaki açı hesap edilerek yapılmaktadır.

İlk olarak dönüşümün yapılacağı şablon üzerinde kenar bulma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla değişik algoritmalar kullanılabilir. Canny kenar operatörü [14], diferansiyel operatörler (örneğin Sobel, Prewitt ve Roberts Operatörü), zero crossing operatörü, Marr/Hildreth operatörü [15], Haralick operatörü gibi operatörler kenar bulma operatörlerine örneklerdir. Kenar bulma işleminin ardından bulunan her bir kenarın gradyeninin x eksenine yaptığı Φ açısına, kenar noktasının referans nokta ile arasındaki r uzaklığı ve r doğrusunun x eksenine yaptığı β açısı aynı satırda yer alacak şekilde ilintilendirilerek R

tablosu oluşturulur [16]. r, β, Φ parametreleri Şekil 1'de, R tablosu ise Şekil 2'de gösterildiği gibidir. Şekil üzerindeki tüm noktalarda bu ilintilendirme işlemi yapıldığında hedef nesnenin o anki ölçek ve rotasyonu için R tablosu oluşturulmuştur. Farklı ölçek ve rotasyonlarda da hedefin tanınabilmesi için hedef şablonun istenen aralıkta ölçeklenmesi ve döndürülmesinin ardından tekrar R tablosunun oluşturulması gerekmektedir. Burada daha geniş bir ölçekleme aralığı ve daha doğru sonuçlar verebilecek ölçeklemeler için daha yüksek çözünürlükte şablonların kullanılması gerekmektedir. Ancak yüksek çözünürlüklü imgelerin işlenmesi daha fazla işlem hacmine sebep olduğundan bazı uygulamalarda zaman etkin sonuçlar elde edilemeyebilir. Dolayısıyla ölçek, çözünürlük ve zaman etkinliği arasında en uygun seçimler yapılmalıdır.



Şekil 1. GHT parametreleri (Parameters of GHT) [17]

Tablo 1. R tablosu (Tables of R)

$\phi_1=0$	$(r, \beta)_{1_1}$	$(r, \beta)_{1_2}$...	$(r, \beta)_{1_n}$
...
ϕ_j	$(r, \beta)_{j_1}$	$(r, \beta)_{j_2}$...	$(r, \beta)_{j_n}$
...
$\phi_k=\pi$	$(r, \beta)_{k_1}$	$(r, \beta)_{k_2}$...	$(r, \beta)_{k_n}$

Hedef nesnenin imge içinde bulunması ise hedef tanıma işleminde olduğu gibi yine kenar bulma işlemi ile başlar. Ancak bundan sonraki adımlar tanıma işleminde izlenen basamaklar tersten kat edilerek gerçekleştirilir. Aranılan imgede bulunan kenarların gradyeninin yatay eksen ile yaptığı açı (Φ) R tablosuna girilir ve buradan muhtemel r ve β 'lar bulunur. Bulunan değerler, eşitlik (1) ve (2)'de yerine konularak tespit edilen eğrilere bağlı olarak bir referans noktaya ulaşılır. İmgede bulunan kenarların tümüne bu işlem uygulanırken referans noktalar bir akümülatör vasıtasıyla sayılır

ve neticede ne kadar yüksek bir sayıya ulaşıldı ise o oranda hedef nesne eğrilerine yakın eğriler bulunmuş olur. Dolayısıyla akümülatör çıktılarına bağlı olarak en yüksek değere sahip referans nokta aranan nesnenin var olduğu değerlendirilen konumdur.

$$xc = x - r \cos(\beta) \quad (1)$$

$$yc = y - r \sin(\beta) \quad (2)$$

1.2. Normalize Çapraz İlinti (Normalized Cross Correlation)

Normalize çapraz ilinti iki farklı imgenin veya sinyalin birbiri ile benzerliğini ya da farklılığını ölçmeye yarayan bir hesaplama tekniğidir. Çapraz ilintiden farklı olarak normalize çapraz ilinti aydınlatma değişimlerinden etkilenmemektedir. Eşitlik (3)'te de görülebileceği gibi hücre değerlerinin ortalamadan farkı alınarak aydınlatma değişimlerinin benzerlik oranını etkilemesine izin verilmemiştir. Çünkü aydınlatma değerleri değişse bile hücre değerlerinin ortalama hücre değeri ile arasındaki fark değişmemektedir. Ayrıca normalize çapraz ilinti katsayısının -1.0 ve 1.0 aralığında değer alması da karşılaştırılan imgelerin benzerliğinin kolayca anlaşılmasını sağlamaktadır. Burada 1.0 katsayısı ile iki imgenin tamamen uyduğu, -1.0 katsayısı ile de bir imgenin diğerinin tersi olduğu anlaşılmaktadır [18].

$t(x,y)$ şablonunun $f(x,y)$ imgesi ile normalize çapraz ilintisi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$NCC = \frac{1}{n} \sum_{x,y} \left(\frac{(f(x,y) - \bar{f}) - (t(x,y) - \bar{t})}{\sigma_f \sigma_t} \right) \quad (3)$$

Burada n , $t(x,y)$ ve $f(x,y)$ deki hücre sayısı, \bar{f} , \bar{t} 'in ortalama değeri ve σ_f , σ_t 'in standart sapmasıdır [19].

Normalize çapraz ilinti eşitliği ile Genelleştirilmiş Hough Dönüşümü vasıtasıyla tespit edilen eşleşme alanlarının şablonlara olan benzerliği hesaplanmaktadır. Şekil olarak belirlenen benzerlik oranını aşan eşleşmeler eğer hesap edilen normalize çapraz ilinti oranını da aşarlarsa ancak bir hedef olarak kabul edilirler. Bu sayede şekil benzerliğinden doğan yanlış eşleşmeler engellenmiş olmaktadır.

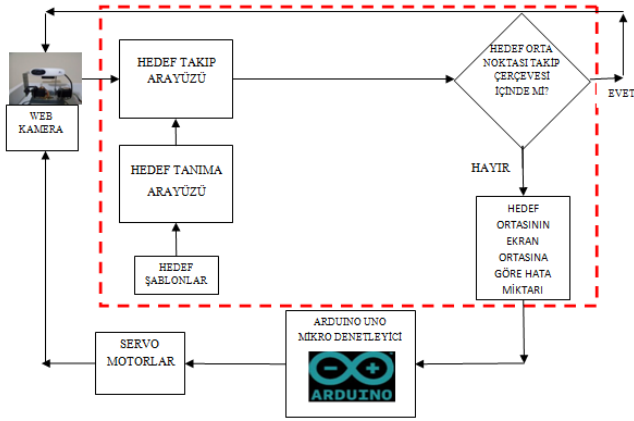
2. LABVIEW TABANLI HEDEF TANIMA (LABVIEW BASE TARGET RECOGNITION)

Web kamera vasıtasıyla çekilen hedef fotoğrafları 24 bit RGB formatındadır. Kenar tabanlı geometrik eşleştirme nesnelere sadece 8 bitlik gri skala imgeyi işleyebilmesi nedeniyle 24 bit formatında çekilen hedef fotoğraflarının 8 bit formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun yanında şablonlar oluşturulurken ortamdaki aydınlatmanın veya güneş ışığının nereden geldiğine de dikkat edilmelidir. Işığın geliş açısına bağlı olarak hedef nesnenin bulunduğu platformda gölge veya yansıma oluşmasına izin verilmemelidir. Çünkü gölge ve yansıma hedef şablonlarının kenar bulma işlemi sonucunda gerçekte olduğundan daha farklı eğrilerle ifade edilmesine sebep olmaktadır. Oluşturulan hedef şablonlar tanıma safhasında öncelikle kenar bulma işlemine tabi tutulur. Bir hücrenin kenar olarak algılanabilmesi için;

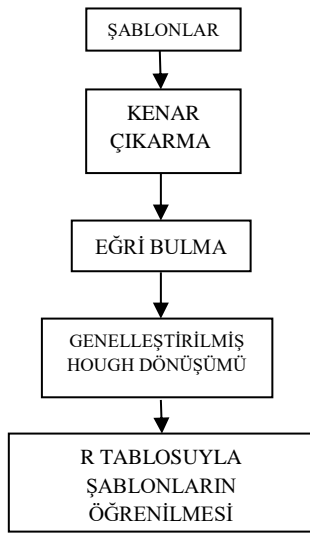
$$\sqrt{(P_{(i-1,j)} - P_{(i+1,j)})^2 + (P_{(i,j-1)} - P_{(i,j+1)})^2} \quad (4)$$

formülü ile ifade edilen eşik değerinin üstünde değer alması gerekmektedir. Eşik aralığı 0 ile 360 arasında bir değer alabilmektedir [20]. Eğer eşitliğin sonucu bir eşik değerinin üstünde ise işlemin yapıldığı hücre bir kenar noktası teşkil etmektedir. Kenar bulma işleminde tüm hücrelerin baştan sona ele alınması gerekmemektedir. x ve y ekseninde aşırı sayıda olmayan hücre atlamaları eğrilerin genel bir halini ortaya çıkarmak için yeterlidir. Bundan sonra eğrilerin oluşturulması için noktaların gradyeni ve en yakın hücre bilgisi gibi parametreler etkindir. Son olarak bulunan eğrilerden GHT dönüşümü vasıtasıyla R tablosunun oluşturulması, hedef şablonların konumdan bağımsız ve parametrik olmayan bir şekilde ifade edilmesini sağlamaktadır. Hedef tanıma ve takip sistemi Şekil 2'de, hedef tanıma akış diyagramı ise Şekil 3'te sunulmuştur.

M.Ya rımlı ve di . /Hareketli hedef takip sisteminde genelle tirilmi Hough dönü ümü (GHT) ve normalle tirilmi çapraz ilinti (NCC) yöntemlerini ardı il kullanarak e le me do rulu unun artırılması



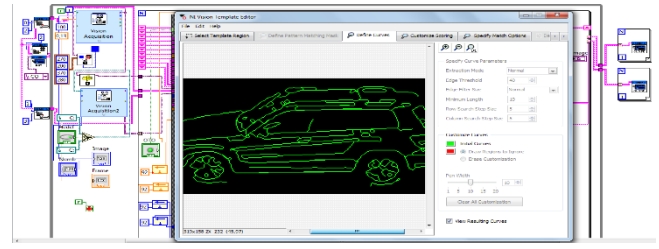
Şekil 2. Hedef tanıma ve takip sistemi (Target recognition and tracking system)



Şekil 3. Hedef tanıma akış diyagramı (Target recognition flow chart diagram)

Hedef şablonların öğrenilmesi işlemi geometrik şablon öğrenme nesnelere tarafından gerçekleştirilmektedir. Learn Geometric Pattern2 nesnesinin nasıl bir öğrenme yöntemi izleyeceğini Setup Learn Geometric Pattern2 ve Advanced Setup Learn Geometric Pattern2 nesnelere belirlemektedir. Bu nesnelere ile yapılan parametre seçimlerinde kenar bulma işlemi için x ve y ekseninde atlanacak hücre sayısı, kenar bulma eşiği, kapalı veya açık eğrilerin hesap edilmesi, özellikle düşük çözünürlüklü görüntü sistemleri için althücre doğruluğunun kullanılması, ölçek, örtme ve rotasyon aralığı gibi değişkenler belirlenmektedir. Eşitlik (4)'teki parametrelerin kenar bulmaya olan etkisi Template Editör Programı vasıtasıyla görülebilmektedir. Bu sayede hangi parametrenin nesne üzerinde hangi eğrileri ortaya çıkardığı da fark edilebilir. Dolayısıyla doğru parametre seçimleri yaparak gerçekte var

olandan daha çok veya daha az eğri oluşumuna izin verilmeyebilir. Template editör programı arayüzü Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Template editör programı arayüzü (Template editor programme interface)

Geliştirilen sistemde program çalışırken farklı hedeflerin tanınıp takip edilmesi istendiğinde yeni hedefe ait şablonların olduğu adres bilgisinin programa gösterilmesiyle seçilen hedefin tanınması ve takip edilmesi de gerçekleştirilebilir. Ayrıca aranan hedefin duruş açısı biliniyorsa daha hızlı işlem zamanı elde etmek için daha az sayıda hedef şablonunun çağırılması da kullanıcının tercihine bırakılmıştır. Farklı açılardan oluşturulan hedef şablonları Şekil 5'te gösterilmektedir.

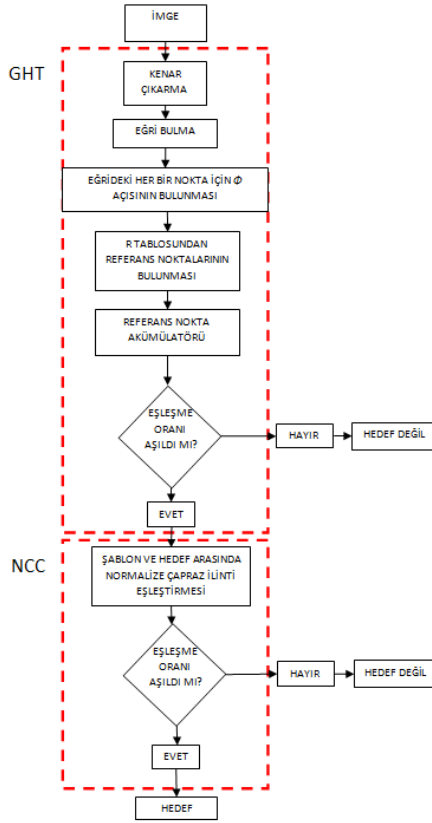


Şekil 5. Hedef şablonlar (Target templates)

3. HEDEF TANIMA (TARGET TRACKING)

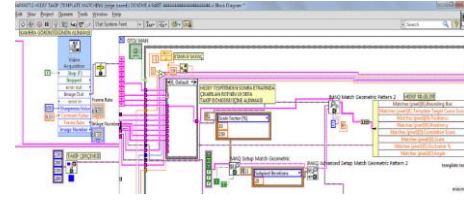
Kameradan alınan ortam görüntüsü başlangıçta 24 bit RGB formatına sahip olduğundan hedef takip işlemi öncesinde 8 bit gri skala dönüşümü yapılarak geometrik şablon eşleştirme nesnelere için kullanılabilir hale getirilmelidir. Daha sonra hedef eğrilerinin aranacağı imge dizilerinde Şekil 6'da gösterilen Hedef Takip Akış Diyagramında belirtilen adımlar ile her bir imge karesinde bulunan eğrilerin hedef şablonlara olan benzerliği araştırılmaktadır. Hedef tanımda da kullanılan kenar bulma ve eğri çıkarma işleminin ardından bulunan eğriler üzerindeki her bir noktanın gradyeni ile R tablosundaki r, β çiftleri elde edilir ve bu değerler ile referans noktaya ulaşılır. Bu arada referans nokta için akümülatörde bir sayı kaydedilir. Tüm noktalar için aynı işlem

yapıldığında belirli bir referans nokta üzerinde kümelenme olacak ve akümülatörde kaydedilen sayı toplam nokta sayısına yakın bir değer alacaktır. Eğer akümülatörde kaydedilen sayıya bağlı olarak elde edilen eşleşme oranı belirlenen yüzdenin üstünde ise hedefin bulunmuş olabileceği değerlendirilir ve hedef konumunu oluşturan hücre bloğu ile hedef şablonu NCC algoritmasına alınır. Bu aşamada da istenen benzerlik oranı sağlanırsa hedefin konumu tespit edilmiş olacaktır.



Şekil 6. Hedef takip akış diyagramı (Target tracking flow chart)

İmge dizilerinin işleme tekniği Match Geometric Pattern2 nesnesinin öncesinde Setup Match Geometric Pattern2 nesnesi ve Advanced Setup Match Geometric Pattern2 nesnesi tarafından belirlenmektedir. Bu nesnelere ile yapılan parametre seçimlerinde korelasyon puanının hesaplanması, hedef imge için althücre doğruluğunun kullanılması, hedef konumunu daha kısa bir sürede bulmada kullanılan kabaca eşleştirme, arama zamanını etkinleştirmek için kullanılan arama stratejisi, althücre doğruluğunun hesaplanmasında kullanılan althücre iterasyon sayısı gibi değişkenler belirlenmektedir. Hedef Takip Blok Şeması ise Şekil 6'da, hedef takip nesnelere oluşturduğu blok diyagramı Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 7. Hedef takip nesne blok diyagramı (Target tracking object block diagram)

4. ROBOT KOL KONTROLÜ (ROBOT ARM CONTROL)

Robot kol kontrolü için iki mod tasarlanmıştır: otomatik ve manuel mod. Otomatik modda hedeften alınan konum bilgisi takip işleminin temelini oluşturmaktadır. Konum bilgisi hedefin orta noktasının koordinatları ile ifade edilir. Algoritma tarafından eşleşme araması neticesinde bulunan eğrilerin şekli, Genelleştirilmiş Hough Dönüşümünde üretilen R tabloları ile belirlenen oranda uyumlu ise ve istenen değerde korelasyon puanı elde edilmiş ise bahse konu eğrilerin bulunduğu alan bir sınırlayıcı çerçeve içine alınır. Hedef orta noktası bu çerçevenin geometrik ortasıdır. Orta nokta hücre bilgisi x ve y koordinatlarına ayrıldıktan sonra bu koordinatların 640x480 çözünürlükteki ekranın 320x240 orta noktasından farkı alınarak açı bilgisine dönüşümü yapılır. Fark açı kullanılan kameranın görüş açısına istinaden hesap edilmektedir. Bu uygulamada kullanılan web kameranın yatayda görüş açısı 50 derece ve dikeyde 40 derece olarak hesaplanmıştır. Kamera yataydaki görüş açısını 640 hücre ile dikeydeki görüş açısını ise 480 hücre ile ifade etmektedir. Dolayısıyla bir derece içerisinde yatayda 12,8 hücre, dikeyde ise 12 hücre bulunmaktadır. Buradan hareketle hedefin konumuna bağlı olarak hata açısı tespit edilir ve servonun anlık açı değeri üzerine hata açısı eklenerek veya çıkarılarak Arduino Uno Mikro denetleyici kartına gönderilir. Ancak hedef, ekran ortasını merkeze alan 100 hücreye 80 hücre boyutlarındaki takip çerçevesi içinde ise hata sinyali üretilmemektedir. Aksi takdirde servonun aşırı hızlı hareketi ve algoritmanın en küçük açı değişimine dahi hassasiyet göstermesi robot kol hareketinin kararsızlaşmasına sebebiyet vermektedir. Bunun yanında hedefi daha uzun süre takip edebilmek ve algoritma hızını artırmak amacıyla doğru bir eşleşme olarak kabul edilen hedefin etrafında kenarlardan 50 hücre daha geniş olacak şekilde bir ilgi sahası oluşturulmuştur. Bu sayede hedefin bir kez bulunmasını müteakip tüm

şablonların tekrar bu ilgi sahasında aranmasına imkan tanınmıştır.

Robot kolun manuel kontrolü ise anlık olarak servo motorların konumunun Servo Read Angle nesnesi vasıtasıyla okunmasıyla başlamaktadır. Okunan değerde x ekseninde yapılacak bir düzeltme için klavyenin sağ sol tuşu ile y ekseninde yapılacak bir düzeltme için ise klavyenin yukarı aşağı tuşları ile her bir tuşa basma 3 derece artırma veya azaltma yönünde olacak şekilde “Servo Write Angle” nesnesi ile Arduino Uno Mikro denetleyici kartına gönderilmektedir. Devamlı olarak bahse konu tuşlara basılması ile servo motor istenen konuma hızlı bir şekilde getirilebilir.

5. SONUÇ VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada LABVIEW Grafiksel Arayüz Programının 2011 sp1 sürümü kullanılarak Genelleştirilmiş Hough Dönüşümü Normalize Çapraz İlinti hesabına bağlı şekil ve renk tabanlı bir hedef tanıma ve takip sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde hareketli bir kamera ile hareketli hedefler takip edilmiştir. Takip edilen hedeflerin çeşitli açılardan alınan görünümüleri şablon olarak kullanılmış ve bir saniye içerisinde kamera tarafından yakalanan imge dizileri arasında eşleşme aramasına tabi tutulmuştur. Bu sayede hedefin hareketi sonucu farklı açılardan alınan hedef görünümüleri ile de hedefin takibi sağlanmıştır. Şablonlar oluşturulurken yeterli detayın elde edilebilmesi maksadıyla kullanılan web kamerasından 50 cm mesafede fotoğraflar alınmıştır. Farklı mesafedeki hedeflerin de tanınabilmesi amacıyla 18cm x 7cm ebadındaki bir hedeften oluşturulan tek şablon için %20 oranına kadar ölçeklendirme yapılmış ve 300 cm’ye kadar hedefin tanınması başarılmıştır. Ayrıca ölçeklendirme değerinin hassasiyetini azaltmamak maksadıyla %50 örtme oranına kadar örtme oranı verilebilmekle birlikte sadece %10 örtme oranı kıstası ile aramalar gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında farklı rotasyonlara cevap verebilecek bir algoritma oluşturmak amacıyla zemine konan hedef için ± 8 derecelik rotasyon aralığı verilmiş, bu şekilde kararlaştırılan parametre seçimlerinin programın gerçek zamana yakın bir şekilde çalışmasına müsaade ettiği gözlemlenmiştir. Eşleşme hücreleri ile şablonlar arasında ilinti hesabı yapılmasının sadece şekle dayalı olmayan ve gri skala renk değerlerine de bağlı bir eşleşme

denetlemesi imkânı sunduğu görülmüştür. Dolayısıyla bu sayede daha güvenilir ve doğru bir hedefleme yapılmıştır. Ancak eşleşmelerin ölçeği düştükçe ilinti hesabı sonucunun da doğrusal bir şeklide düşmesi nedeniyle ölçeğe bağlı bir kontrol mekanizması kullanılmıştır.

Kamera çözünürlüğünün artırılması, Genelleştirilmiş Hough Dönüşümünün yoğun matematiksel işlemleri, rotasyon, ölçek ve alt hücre doğruluğunun kullanılmasının programın çalışma hızını yavaşlatan etkenler olduğu gözlemlenmiştir.

Menzil ve doğruluk açısından daha iyi sonuçlar elde etmek için iyi bir çözünürlük, daha hızlı görüntü işleme yapmak için ise iyi bir işlemci hızına sahip donanımın kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle daha üstün özellikli bir kamera ile daha hızlı bir ararım ve daha hızlı bir işlemci daha fazla sayıda şablonun aranmasına imkân tanıyabilir. Örneğin saniyede 30 imge yakalayabilen bir web kamera yerine 200 imge yakalayabilen bir kamera ve 60MB/sn. yerine 600MB/sn. veri aktarım hızına sahip bir ararım ve daha iyi bir işlemci kapasitesine sahip bir bilgisayar ile daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Bunun yanında özellikle askeri amaçlarla düşük ışık seviyeli uzaktan görüş sistemleri (LLTV) veya termal kameranın sisteme entegre edilmesinin ışık şartlarının iyi olmadığı durumlarda da etkin çalışma imkânı sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

LABVIEW ile Arduino Uno mikro denetleyici kartının kullanımının basit ve iletişim hızının yeterli olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca Arduino Uno mikro denetleyici kartı üzerinden iki adet servo motorun rahatlıkla sürülebildiği görülmüştür. Ancak servo motorların aşırı hızlı çalışması nedeniyle sistemin kararsızlaştığı görülmüş, bu nedenle hem iki adımda hedef orta noktaya getirilmiş hem de orta nokta yakınında takip çerçevesi içinde servo motorlara kumanda verilmemiştir.

Sistemin özellikle hedefe doğru hareket eden bir platformda iken mevcut hali ile iyi sonuçlar vereceği değerlendirilmektedir. Ancak yaklaşan hedeflere karşı savunma amacıyla daha yüksek çözünürlük ve yetersiz aydınlatma durumlarında termal kamera ve LLTV gibi sistemler ile birlikte kullanılmasının etkinliğini artıracığı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Boris Babenko, M-H Yang, Serge Belongie, "Robust Object Tracking with Online Multiple Instance Learning", IEEE Transactions On Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 33, No. 8, pp. 1619-1632, August 2011.
- [2] Yung-Chi Lo, Po-Yen Lee, and Shyi-Chyi Cheng, "Space-Time Template Matching For Human Action Detection Using Volume-Based Generalized Hough Transform", 18th IEEE International Conference on Image Processing, 2011.
- [3] Yonghui Hu, Wei Zhoo, Long Wang, "Vision-Based Target Tracking and Collision Avoidance for Two Autonomous Robotic Fish", IEEE Transactions On Industrial Electronics, Vol. 56, No. 5, pp. 1401-1410, May 2009.
- [4] Jay Hyuk Choi, Wonsuk Lee, Hyochoong Bang, "Helicopter Guidance for Vision-based Tracking and Landing on a Moving Ground Target", 2011 11th International Conference on Control, Automation and Systems, Oct. 26-29, 2011 in KINTEX, Gyeonggi-do, Korea
- [5] Michael D. Breitenstein, "Robust Tracking-by-Detection using a Detector Confidence Particle Filter", 2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision (ICCV).
- [6] Mustafa ÖZDEN and Ediz POLAT, "Mean-Shift ve Kernel Yoğunluk Tahmini Ile Görüntülerde Nesne Takibi", ASYU-INISTA 2004 Ak.İl. Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamalar Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi.
- [7] Alper Yılmaz, "Object Tracking by Asymmetric Kernel Mean Shift with Automatic Scale and Orientation Selection", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June 2007.
- [8] Alan J. Lipton, Hironobu Fujiyoski, Raju S. Patil, "Moving Target Classification and Tracking from Real-time Video", 0-8186-8606-5/98/, IEEE.
- [9] Stephen Se, "Vision-Based Global Localization and Mapping for Mobile Robots", IEEE Transactions on Robotics, Vol. 21, No. 3, pp. 364-375, June 2005.
- [10] Christian Lundquist and Umut Orguner, "Extended Target Tracking Using Polynomials with Applications to Road-Map Estimation", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 59, No. 1, January 2011.
- [11] Chan-Hong Chao, Bo-Yan Hsueh, Ming-Ying Hsiao, Shun-Hung Tsai, and Tzoo-Hseng S. Li, "Fuzzy Target Tracking and Obstacle Avoidance of Mobile Robots with a Stereo Vision System", International Journal of Fuzzy Systems, Vol. 11, No.3, pp. 183-191, September 2009.
- [12] Fabrizio Lamberti, Andrea Sanna and Gianluca Paravati, "Improving Robustness of Infrared Target Tracking Algorithms Based on Template Matching", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 47, No. 2, pp. 1467-1480, April 2011.
- [13] Boris Babenko, Ming-Hsuan Yang and Serge Belongie, "Robust Object Tracking with Online Multiple Instance Learning", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 33, No. 8, pp. 983-990, 2011.
- [14] John Canny, "A Computational Approach to Edge Detection", IEEE Transactions On Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-8, No. 6, November 1986.
- [15] D. Marr ve E. Hildreth, "Theory of Edge Detection", Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, Vol. 207, No. 1167.(Feb. 29, 1980).
- [16] D. H. Ballard, "Generalizing The Hough Transform To Detect Arbitrary Shapes", Pattern Recognition, Vol. 11, No.2, 1981.
- [17] <http://fourier.eng.hmc.edu/e161/lectures/hough/node6.html>, Nisan 2013.
- [18] D. M. Tsai and C. T. Lin, "Fast Normalized Cross Correlation For Defect Detection", Pattern Recognition, Volume 24, No. 15, November 2003.
- [19] Wikipedia internet sitesi, <http://en.wikipedia.org/wiki/Cross-correlation>, Nisan 2013.
- [20] Vision Concepts Dokümanı, National Instruments Corporation.

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://www.saujs.sakarya.edu.tr		
	<u>Gelis/Received</u> 19-04-2017 <u>Kabul/Accepted</u> 10-10-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.306993	

Darbe indüksiyon metal dedektörlerinde toprak kompanzasyonu

Ahmet Akgöz^{*1} Abdullah Ferikoğlu²

ÖZ

Metal dedektörleri özellikle toprağa gömülü metal objelerin tespitinde önemli rol oynamaktadır. Toprağın mineralli yapısının neden olduğu hatalı ikazların en aza indirgenmesi için metal dedektörlerinde toprak kompanzasyonu yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada Darbe İndüksiyon metal dedektörlerinde toprak kompanzasyonu ele alınarak toprak içerisindeki metalik mineral oluşumlarının metal dedektörü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bir Darbe İndüksiyon metal dedektörü devresi gerçekleştirilerek yazılımsal olarak toprak kompanzasyon algoritması geliştirilmiş, yapılan testlerde toprak etkisinin ortadan kalktığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Darbe indüksiyon, Elektromanyetik İndüksiyon (EMI), Metal dedektörü, Toprak dengelemesi, Toprak kompanzasyonu.

Ground compensation in pulse induction metal detectors

ABSTRACT

Metal Detectors play an important role especially on determining the properties of objects buried in the soil. Ground compensation is necessary to minimize the faulty warning signals in metal detectors caused by the mineral structure of the soil. In this study, ground compensation in pulse induction metal detectors and the effect of metallic soil minerals on metal detectors are examined. A ground compensation software algorithm is developed by implementing a pulse induction metal detector circuit and it is observed in the applied tests that the ground effect is eliminated.

Keywords: Pulse Induction, Electromagnetic Induction, Metal Detector, Ground Balancing, Ground Compensation

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, Sakarya – ahmetakgoz@gmail.com

² Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya – af@sakarya.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde metal dedektörleri askeri amaçlı mayın ve el yapımı patlayıcıların (EYP) tespitinde, arkeolojik araştırmalarda metalik tarihi kalıntıların tespitinde ve metal yoğunluğu haritalamalarında aktif olarak kullanılmaktadır [1]. Metal dedektörlerinde Darbe İndüksiyon, sürekli dalga, çoklu frekans gibi çeşitli farklı çalışma sistemleri mevcut olup bu çalışmada Darbe İndüksiyon diğer adıyla Elektromanyetik İndüksiyon (EMI) sistemi araştırılmıştır.

Toprak içerisinde metalik birçok mineral bulunmaktadır. Araştırma esnasında metal dedektöründen topraktaki mineral oluşumlarından etkilenmeden işlevini düzgün bir şekilde yerine getirmesi beklenmektedir. Bu da toprak kompanzasyonu olarak adlandırılan sistem sayesinde gerçekleştirilebilir [1].

Yapılan benzer çalışmalarda opampli integratörler kullanılarak toprak kompanzasyonu işlemi gerçekleştirilmiştir [1]. Örnekleme zamanlamaları direnç ve kapasitörler ile ayarlanmıştır [2]. Analog olarak yapılan donanımsal işlemlerde ortam sıcaklığı ve nem oranının değişmesi sonuçları değiştirmektedir. Ayrıca elektriksel ve manyetik gürültüler de bu yapılarda olumsuz etkiler oluşturmaktadır [3].

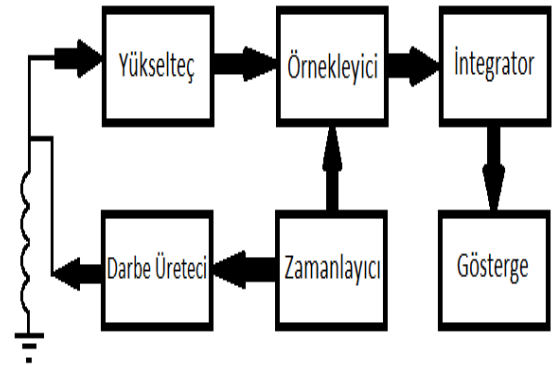
Bu çalışmada mikrodenetleyici kontrolünde çalışan bir Darbe İndüksiyon metal dedektörü devresi gerçekleştirilmiştir. ADC yardımıyla sayısal olarak elde edilen ham veriler MATLAB ortamına aktarılarak sayısal olarak işlenmiş, böylece hem donanımsal karmaşıklık ortadan kaldırılmış, hem de ortam koşullarından oldukça az etkilenen bir tasarım elde edilmiştir. Örnekleme zamanlamaları yine yazılımsal olarak elde edilerek hem donanımsal karmaşıklık en aza indirgenmiş hem de esneklik sağlanmıştır.

Metal dedektörleri ile ilgili temel bilgileri içeren pek çok çalışma mevcuttur [4-10].

2. DARBE İNDÜKSİYON METAL DEDEKTÖRÜNÜN GENEL ÇALIŞMA PRENSİBİ (GENERAL WORKING PRINCIPLE OF PULSE INDUCTION METAL DETECTOR)

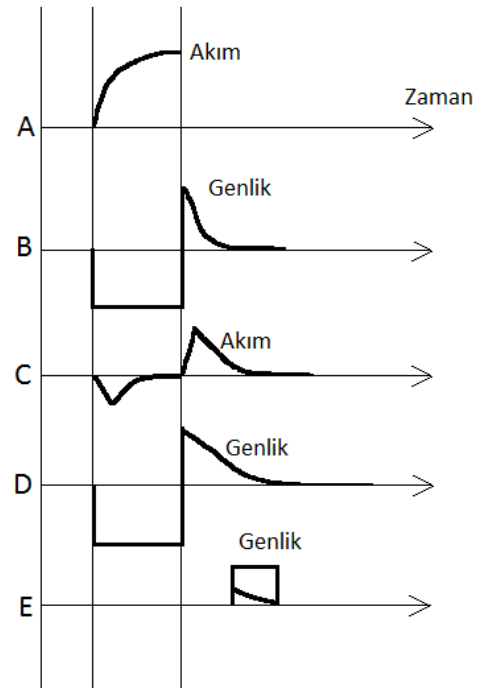
Bir Darbe İndüksiyon (EMI) metal dedektörü Şekil 1’de gösterildiği gibi araştırma bobini,

darbe üretici, yükseltici, zamanlama, örnekleme ve integratör katlarından oluşmaktadır [11, 12].



Şekil 1. PI Blok Şeması (PI Block Scheme)

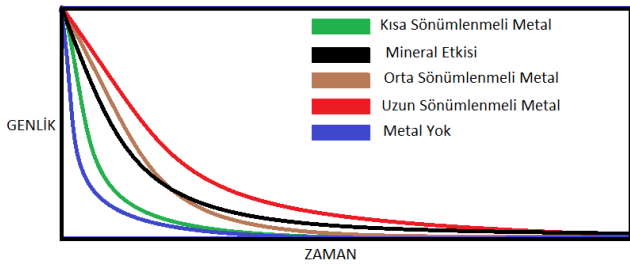
Darbe İndüksiyon metal dedektörü araştırma bobininden kısa bir süreliğine akım akıtır (Şekil 2a) ve ardından akımı keser. Bobinde anlık olarak sönümlenen ters bir gerilim oluşur ve hızlı bir şekilde sönümlendirme direnci üzerinden bu gerilim sönümlenir (Şekil 2b). Bu işlemler sırasında eğer ortamda metalik bir obje varsa bu obje üzerinde eddy akımları oluşur ve bu akımlarda zamanla sönümlenir (Şekil 2c). Sönümlenmekte olan bu akımın varlığı araştırma bobininde toplamsal bir etki oluşturarak (Şekil 2d) araştırma bobininin sönümlenmesinin uzamasına sebep olur. Sönümlenme eğrisi üzerinden alınan bir örnek (Şekil 2e) metalin tespitini gösterir.



Şekil 2. Bobinde Oluşan Sinyaller (Signal Created by Search Coil)

3. TOPRAK KOMPANZASYONU (GROUND COMPENSATION)

Darbe İndüksiyon metal dedektörlerinde metal objenin varlığı sönümlenmekte olan eddy akımlarının varlığının tespit edilmesiyle anlaşılmaktadır. Araştırma bobininden geçen anlık yüksek akım ortamda bir manyetik alan oluşturur. Bu alan içerisinde bir metal obje varsa eddy akımı oluşur ve bobinden akım kesildiği andan itibaren zamanla bu eddy akımları sönümlenir. Eddy akımının çeşitli objeler üzerinde sönümlenmesine ilişkin örnek bir grafik Şekil 3'de yer almaktadır.

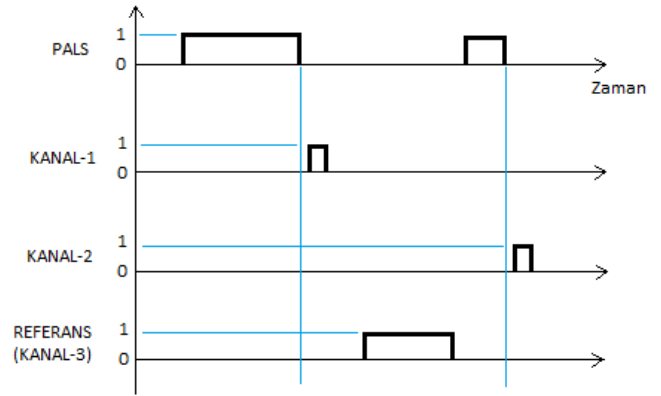


Şekil 3. Sönümlenme Eğrileri (Fading Curves)

Sönümlenme süresi objenin metal cinsine, boyutuna ve şekline göre değişiklik göstermektedir. Grafikten görüldüğü üzere mineral üzerindeki sönümlenme eğrisi, orta sönümlenmeli metal objelerin sönümlenme eğrisine oldukça benzemektedir. Bu durum bazı metal objelerin toprak etkisinden ayırt edilmesini zorlaştırmakta dolayısıyla işleri biraz karmaşıklştırmaktadır.

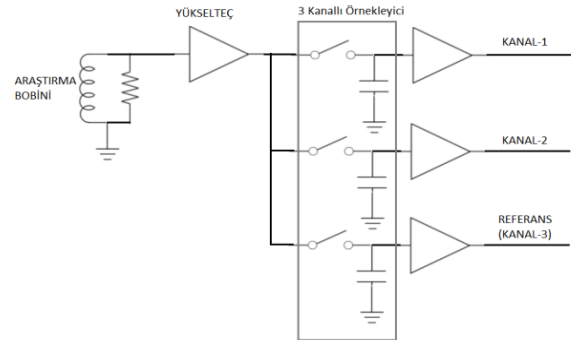
Darbe İndüksiyon metal dedektörlerinde sönümlenme eğrisinin eğimi belli zamanlarda iki ya da daha fazla örnek alınarak tespit edilebilir. Alınan örnek sayısı arttıkça küçük farklılıklar fark edilmeye başlanır. Fakat yine de bu benzeşim bu teknik ile bazı metal objelerin mineral etkisinden ayırt edilmesini maalesef imkânsız kılmaktadır.

Sönümlenme eğrisi birbirine benzeyen farklı objeler, bazı durumlarda benzerliklerini kaybedebilmektedirler. Sönümlenme eğrisi birbirine benzeyen objelere farklı biçimde sönümlenmesini sağlayacak bazı teknikler geliştirilmiştir. Bu tekniklerden birisi farklı uzunluklarda diğeri de farklı genliklerde darbe gönderimi yapılması üzerinedir [1]. Bir darbe sonrası birbirine benzeyen iki farklı objenin sönümlenmesi, eğer farklı uzunlukta ya da farklı genlikte bir darbe gönderilirse bu benzeşimin ortadan kalkabildiği tespit edilmiştir.



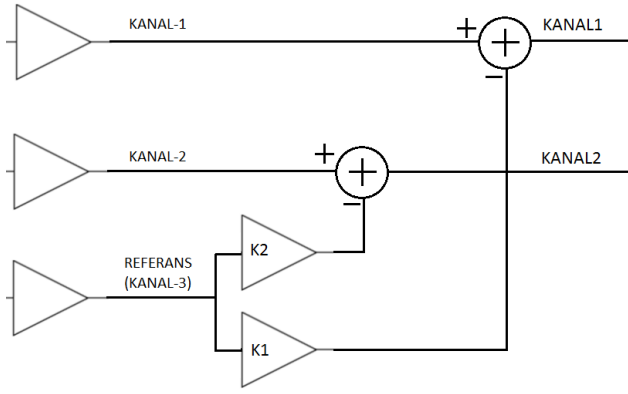
Şekil 4. Darbe ve Örnekleme Zamanlamaları
(Pulse and Sampling Timings)

Araştırma bobinine sabit genlikli ve uzunluklu darbeler basmak yerine farklı uzunluk ya da genliklerde darbeler basılarak benzeşimin ayrışması sağlanmaktadır [1]. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** Şekil 4'te ilk önce uzun bir darbe verilip ardından alınan örnek birinci kanalda tutulmuştur. Bir sonraki basılan kısa süreli bir darbeden sonra alınan örnek de 2. kanalda tutulmuştur. Uzun darbeden sonra alınan gecikmeli bir örnek de referans seviye kabul edilip 3. kanalda tutulmuştur.



Şekil 5. Toprak Kompanzasyonu Bloğu (Soil Compensation Block)

Bundan sonraki işlem referans kanalındaki mineralin oluşturduğu değişim miktarının Kanal-1 ve Kanal-2'deki değişim miktarlarına ayrı ayrı eşitlenmesi işlemidir. Bu işlem Şekil 6'da gösterildiği gibi K1 ve K2 katsayılarının belirlenmesi ile yapılmaktadır. Değişim miktarı her bir kanal için araştırma bobini havada iken ölçülen değerlerin mineralli ortamdakilerden ölçülen değerlerden çıkarılması ile elde edilir.



Şekil 6. Kompanzasyon İşlemi (Compensation Process)

K1 ve K2 Katsayılarının bulunmasına ilişkin denklem aşağıda verilmiştir.

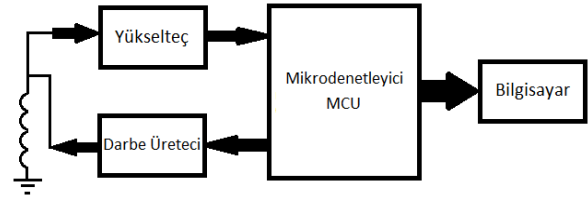
$$KANAL1 - REFERANS * K1 = 0 \quad (1)$$

$$KANAL2 - REFERANS * K2 = 0 \quad (2)$$

K1 ve K2 katsayıları belirlendikten sonra KANAL1 ve KANAL2 çıkışları hesaplandığı mineral çeşidi için bir değişim göstermeyecek bunun dışındaki objeler için kanallardan en az birisi sönümlenme süresi uzun ya da kısa olmasına göre pozitif ya da negatif yönde değişimler gösterecektir. Mutlak değişim miktarı en fazla olan kanal ise kullanıcıya sesli ya da görsel ikazla ileterek mineral etkisi en aza indirgenmiş bir kullanım kullanıcıya sağlayacaktır.

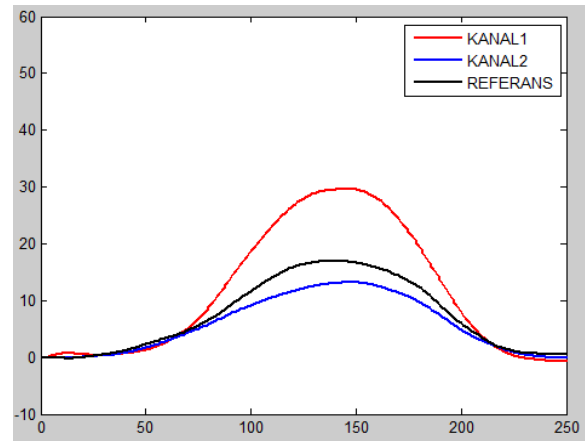
4. YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda tüm örneklemler bir mikrodnetleyici tarafından yapılmıştır. Böylece Şekil 1'de gösterilmiş olan Örnekleyici, Zamanlayıcı ve İntegratör gibi birimler mikrodnetleyici tarafından gerçekleştirilerek donanım karmaşıklığının Şekil 7'de görüldüğü gibi azalması sağlanmıştır. Yapılan örneklemlere ilişkin zamanlama grafiği Şekil 4'de yer almaktadır.

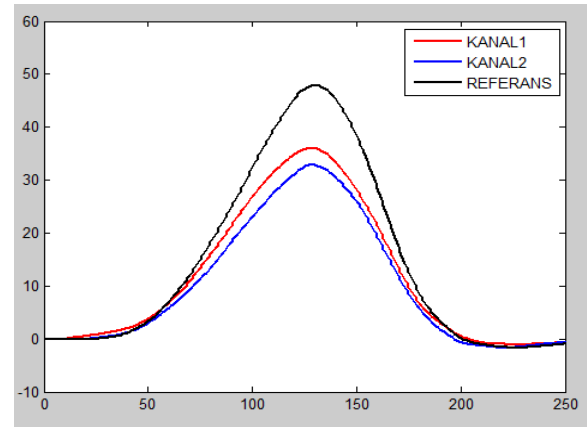


Şekil 7. Mikrodnetleyicili Blok Diyagramı (MCU Controlled Diagram)

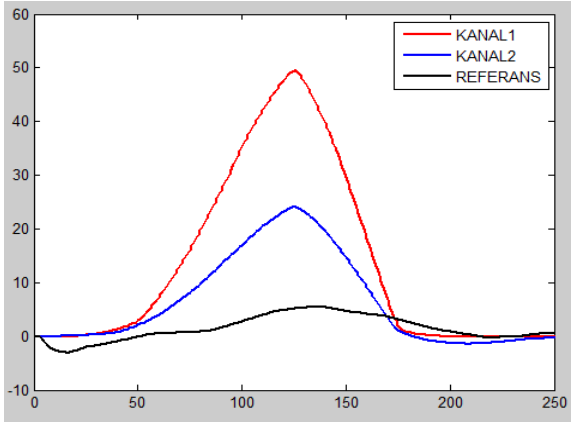
Test objesi olarak farklı sönümlenme süreleri olan çeşitli objeler kullanılmıştır. Her bir obje araştırma bobinine yavaşça yaklaştırılıp ardından yavaşça uzaklaştırılmış ve bu esnada kanal çıkışları bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Tüm objeler aynı şekilde kaydedildikten sonra bu kayıtlar MATLAB ortamına aktararak kanallardaki değişimler ayrı ayrı gözlemlenmiştir. Her bir obje için 250 adet örnek alınmıştır. Yatay eksenler bu örnek sayısını belirtmektedir. Dikey eksenler ise mV cinsinden genliği ifade etmektedir.



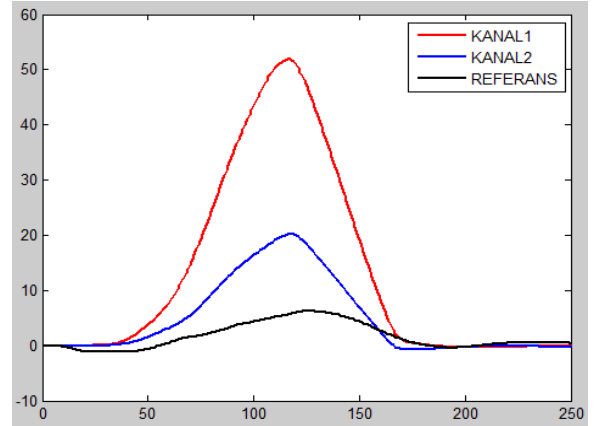
Şekil 8. Mineralli Toprak (Mineral Soil)



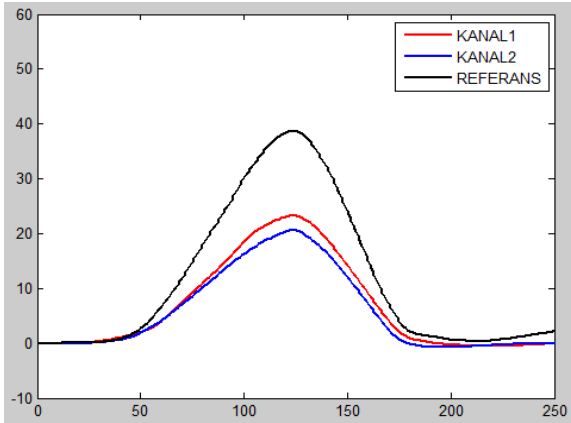
Şekil 9. Alüminyum (Aluminum)



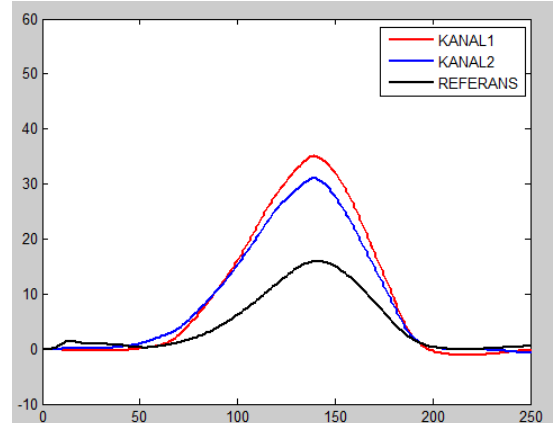
Şekil 10. Bakır Levha (Copper Plate)



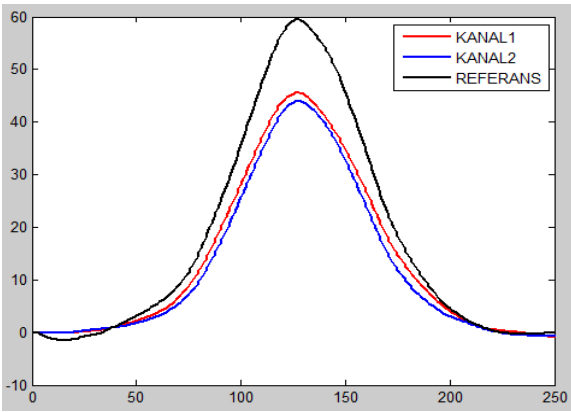
Şekil 13. Mermi Kovanı (Bullet Hive)



Şekil 11. Demir (Iron)



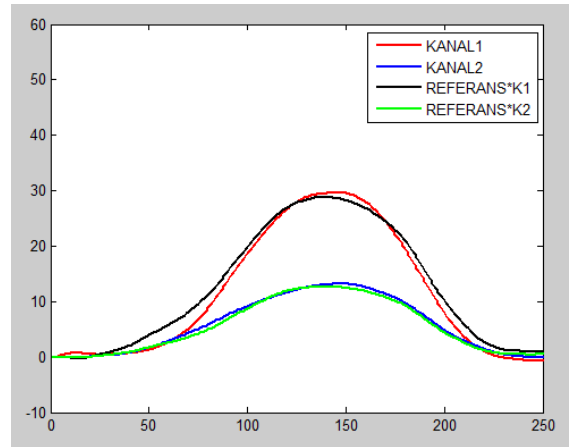
Şekil 14. Alaşım Para (Alloy Coin 1TL)



Şekil 12. Matkap Ucu (Drill Bit)

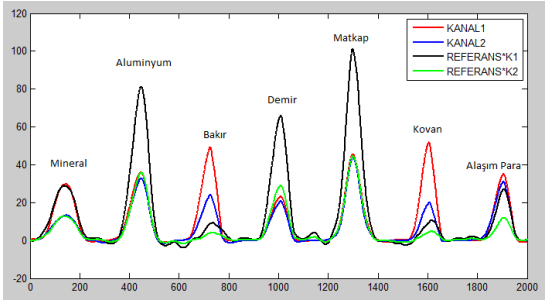
Bu noktada mineralli toprak etkisi

Şekil 8'de görülmektedir. Mineralli toprak için K1 ve K2 katsayıları 1.7 ve 0.75 olarak hesaplanmıştır. Referans kanalın bu katsayılar ile ayrı ayrı çarpılmış hali Şekil 15'de görülmektedir.



Şekil 15. Katsayılar (Coefficients)

Bu işlemten sonra tüm objelerin aynı anda yer aldığı grafik Şekil 16'da yer almaktadır.



Şekil 16. Tüm Objeler (All Objects)

Görüldüğü üzere artık sadece en baştaki mineralli toprak için aşağıdaki denklem sağlanmış durumda, diğer objeler için en az bir çıkışın sıfırdan farklı olduğu görülmektedir.

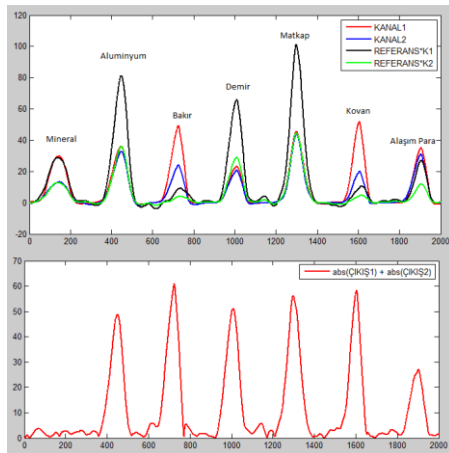
$$KANAL1 - REFERANS * K1 = ÇIKIŞ1 = 0 \quad (3)$$

$$KANAL2 - REFERANS * K2 = ÇIKIŞ2 = 0 \quad (4)$$

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

ÇIKIŞ1 ve ÇIKIŞ2'nin mutlak değerlerinin toplamını tüm metaller için çizdirildiğinde mineralli toprağa herhangi bir tepkinin olmadığı

Şekil 17'de görülmektedir.



Şekil 17. Toprak Kompanzasyonu (Ground Compensation)


Genel olarak mikrodenetleyici kontrolünde gerçekleştirilen, donanımsal karmaşıklığı en aza indirgenmiş bu donanım ile kırmızı toprak, deniz kumu, nehir kumu gibi ortamlarda testler yapılmış olup başarılı bir şekilde toprak kompanzasyonunun sağlandığı görülmüştür.

Zamanlayıcı, örnekleyici ve integratör yapılarının donanımsal olarak gerçekleştirilmesi esnek

olmayan karmaşıklıkların yanı sıra, ortamın ısı ve nem değişimlerinden etkilenme gibi problemleri de beraberinde getirmektedir. Ayrıca bu işlemler, oldukça basit ve ucuz mikro denetleyiciler tarafından bile kolaylıkla yapılabileceğinden maliyet açısından da sisteme getirilen bir avantaj olarak düşünülebilir.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] B. H. Candy, "Pulse induction time domain metal detector," ed: Google Patents, 1996.
- [2] E. Ott and J. H. Ott, "Ground piercing metal detector having range, bearing and metal-type discrimination," ed: Google Patents, 2001.
- [3] H. Meyr, M. Moeneclaey, and S. A. Fechtel, Digital communication receivers: synchronization, channel estimation, and signal processing: Wiley Online Library, 1998.
- [4] C. V. Nelson, "Digital nulling pulse inductive metal detector," ed: Google Patents, 2005.
- [5] E. Ott and J. H. Ott, "Method for detecting the metal type of a buried metal target," ed: Google Patents, 2002.
- [6] D. Emery, "Resonant pulse induction metal detector that transmits energy from high voltage flyback pulses," ed: Google Patents, 2010.
- [7] B. H. Candy, "Ground mineralization rejecting metal detector (power saving)," ed: Google Patents, 2004.
- [8] B. H. Candy, "Ground mineralization rejecting metal detector (transmit signal)," ed: Google Patents, 2003.
- [9] B. H. Candy, "Metal detector with improved magnetic soil response cancellation," ed: Google Patents, 2012.
- [10] B. H. Candy, "Metal detector for salt soils," ed: Google Patents, 2009.
- [11] B. Candy, "Metal Detector Basics and Theory," *Minelab Pty Ltd. Technical Report*, 2007.
- [12] G. Paltoglou, "Metal detector method and apparatus," ed: Google Patents, 2003.

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 20.06.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 09.01.2018	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.322604	

Meme Manyetik Rezonans Görüntülemeye Lezyon Sınırlarının ve Alanının Tespit Edilmesi

Sevda GÜL¹, Gökçen ÇETİNEL*²

ÖZ

Bu çalışmada, meme kanserinin teşhisinde yaygın olarak kullanılan modalitelerden biri olan MRG sisteminden elde edilen görüntüler kullanılarak memede oluşan lezyonların sınırlarının belirlenmesi ve lezyon alanının hesaplanmasına yönelik bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, radyologlara büyük kolaylıklar sağlayan ve birçok değiştirilebilir seçenek sunan bir ara yüz üzerinden tasarlanmıştır. Lezyon sınırlarının belirlenmesi ve alanının optimum şekilde hesaplanması için çalışmada dört farklı yöntemden yararlanılmaktadır. Bu yöntemler, eşikleme tabanlı (Otsu eşikleme yöntemi), bulanık mantık tabanlı (bulanık c-ortalama (Fuzzy c-means, FCM)), bölge büyütme tabanlı (Region Growing, RG) ve kümeleme tabanlı (k-ortalama) segmentasyon yöntemleridir. Otsu, FCM ve RG yöntemleri tek kanallı gri-seviye bölütleme yöntemleridir. K-ortalama yöntemi ise, üç-kanallı renkli görüntüde doğrudan kullanılabilen bir bölütleme yöntemidir. Segmentasyon adımdan sonra, lezyon alanının hesaplanması için bit-dörtlüsü (bit-quad) yöntemi uygulanmıştır. Bu aşamalar gerçekleştirildikten sonra geliştirilebilir bir hastane otomasyon sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem uzmana görsel olarak farklı seçenekler sunarak meme lezyonlarını birçok yönden inceleme imkânı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Meme kanseri, Manyetik rezonans görüntüleme, segmentasyon, bit dörtlüsü yöntemi.

Detection of Lesion Boundaries and Area in Breast Magnetic Resonance Imaging

ABSTRACT

In this study, we have developed a system for determining the boundaries of the lesions which come into existence in the breast and calculating the lesion area by using images obtained from the MRI system, which is one of the modalities widely used in diagnosis of the breast cancer. The developed system is designed with an interface that provides great convenience to the radiologists and offers many interchangeable options. In order to determine the boundary of the lesion and to calculate the area optimally, in this study four different methods are utilized. These methods are thresholding based (Otsu thresholding method), fuzzy logic based (fuzzy c-means, FCM), region growing based (Region Growing, RG) and cluster-based (k-means) segmentation methods. The Otsu, FCM and RG methods are single-channel gray-level segmentation methods. In case, the k-means method is a method of segmentation that can be used directly

¹ gulsewda@hotmail.com, ² gctinel@sakarya.edu.tr

* Corresponding Author

in a three-channel color image. After the segmentation step, a bit-quad method is applied to calculate the lesion area. After these stages are implemented, a developable hospital automation system is designed. The designed system allows the specialist to analyse the breast lesions by providing different visual choices.

Keywords: Breast cancer, Magnetic resonance imaging, segmentation, bit quad technique.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

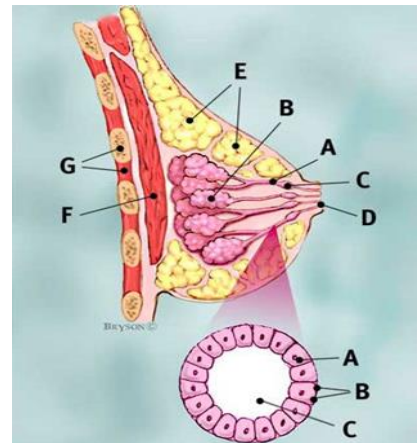
Kanser Araştırmaları Dünya Sağlık Örgütü Uluslararası Ajansı'nın elde ettiği verilere göre, meme kanseri tüm dünyada kadınlarda en yaygın olarak karşılaşılan kanser türlerinden biridir. Gelişmiş ülkelerde 636.000, gelişmekte olan ülkelerde ise yaklaşık 514.000 kadın meme kanserine yakalanmıştır [1-2]. Ayrıca birçok ülkede kadınlarda kanserle ilgili ölümlerin en önemli nedeni meme kanseridir ve sayı yaklaşık olarak 519.000'dir. Türkiye'de ise T.C. Sağlık Bakanlığı, Türkiye Kanser İstatistikleri verisine göre kadınlarda en sık görülen kanser olan meme kanseri, her 4 kadından birinde görülmeye devam etmekte ve kadınlarda görülen tüm kanserlerin yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır. Bir yıl içinde toplam 17.531 kadına meme kanseri teşhisi konulmuştur [2].

Meme kanserini tanımlamada meme hücrelerinin kontrolsüzce büyümesi olarak genel bir ifade kullanılabilir. Ancak, meme kanserini daha iyi anlamak için bir kanser hücresinin nasıl geliştiğini öğrenmek bize daha fazla yarar sağlayacaktır. Kanser; mutasyon, anormal değişiklikler, hücrelerin büyümesini düzenleyen ve onları sağlıklı tutan genlerde değişikliklerin meydana gelmesi ile oluşmaktadır. Genler, her hücrenin çekirdeğinde bulunmaktadır ve hücrelerin "kontrol odası" olarak işlev görmektedir. Normalde, vücudumuzdaki hücreler düzgün bir hücre büyümesi süreciyle yenilenmektedir. Yaşlı hücreler ölürken sağlıklı yeni hücreler onların yerini alarak yenileme düzeni takip edilir. Fakat mutasyonlar zamanla bir hücrede bazı farklı genler oluşturabilir ya da mevcut genleri yok edebilir boyuta gelmektedir. Bu değişen hücreler, kontrolü ve düzeni bozmadan bölünmeyi sürdürebilme yeteneği kazanarak, tıpkı mevcut genler gibi daha fazla hücre üretebilir ve bir tümör oluşturabilir duruma gelebilir.

Bir tümör, sağlık için tehlikeli olmayan iyi huylu "benign" veya potansiyel tehlike olan kötü huylu "malign" tümör olarak sınıflandırılabilir. İyi huylu tümör kanser hücresi olarak düşünülmemektedir. Çünkü bu hücreler normal hücre görüntüsüne

yakın bir görünüm sergilemekte, yavaş büyümekte ve yakın dokuları ele geçirmemekte veya vücudun başka bir bölümüne yayılmamaktadırlar. Kötü huylu tümör ise bir kanserdir. Kontrolsüz bırakıldıklarında kötü huylu hücreler er geç mevcut bulunan tümörün ötesine geçerek vücudun diğer bölümlerine yayılabilmektedir.

Meme kanseri terimi, meme hücrelerinde gelişen kötü huylu tümöre karşılık gelmektedir. Genellikle meme kanseri ya süt üretme hücrelerinde ya da sütü, süt üretme bezesinden meme ucuna taşıyan bölümde başlamaktadır. Daha az oranla da meme kanseri, göğsün yağlı ve lifli bağ dokularını içeren ana (stromal) dokularında başlayabilmektedir.



Şekil 1. Meme yapısının görünümü (The appearance of breast) [3].

Meme yapısının genel bir görünümü yukarıdaki şekilde verilmiştir. Şekil 1'de, A sütü süt üretme bezesinden meme ucuna taşıyan bölümü, B süt üretme bezesini, C sütü tutmak için kanalın açıklık kısmını, D meme ucunu, E,yağı, F Pektoralis büyük kası ve G göğüs duvarını göstermektedir. Genişletilmiş olan kısımda ise A sütü süt üretme bezesinden meme ucuna taşıyan bölüm, B bazal zar (membran) ve C ise sütü süt üretme bezesinden meme ucuna taşıyan bölümün merkezi olarak açıklanabilir.

Kanser hücreleri zamanla sağlıklı göğüs dokusuna ve vücuda dışarıdan gelecek yabancı maddeleri filtreleyen koltuk altı lenf düğümlerine (nodlarına) yayılabilmektedir. Eğer kanser hücreleri lenf düğümlerine bir giriş sağlarsa, daha sonra vücudun diğer kısımlarına doğru bir yol izleyebilmektedir.

Meme kanseri evresi, kanser hücrelerinin mevcut tümörün ne kadar ötesine yayılmış olduğu tespit edilerek belirlenmektedir.

Meme kanseri genellikle genetik bozukluklardan meydana gelmektedir. Kanser sadece %5-10'u anne veya babadan gelen kalıtsal bir anormallikten kaynaklanmaktadır. Meme kanseri riskini azaltmak için dengeli bir diyetle beslenme, vücut için uygun kiloyu sürdürebilme, sigara içmeme, alkolü sınırlandırma ve düzenli egzersiz yapma gibi vücudun olabildiğince sağlıklı kalmasına yardımcı olacak her bireyin atabileceği adımlar vardır. Bunlar, meme kanseri olma riski üzerinde bir etki sahibi olsa da, riski tamamen ortadan kaldıramazlar.

Günümüzde meme kanseri incelemelerinde yaygın olarak kullanılan üç teknik vardır. Bunlar mamografi, ultrasonografi ve manyetik rezonans görüntüleme (MRG)'dir. Meme tümörlerinin tespit edilmesinde MRG yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. MRG yöntemi memede var olabilecek anormalliklerin incelenmesinde diğer modalitelere göre avantajlara sahip olduğundan daha fazla tercih edilmektedir. MRG tekniğinin kullanıldığı alanlardan biri, sunulan çalışmanın da konusu olan meme lezyon sınırlarının belirlenmesi ve lezyon alanının tespitidir. Bu amaçla, görüntü işleme tekniklerinden biri olan segmentasyon işleminden faydalanılmaktadır. Segmentasyon ile ilgili bu alanda yapılan çalışmalar iki ana amaç altında toplanmaktadır. Birinci grup meme kanser riskinin bir göstergesi olan meme yoğunluğunun hesaplanması için önerilen segmentasyon yöntemlerinden oluşmaktadır. Meme yoğunluğunda bazı tipik durumlar kendi klasik görünümüne göre belli sınıflara kolaylıkla ayrıştırılabilir fakat bazı durumların sınıflandırılması radyoloji uzmanları için oldukça zor ve kafa karıştırıcıdır. Atipik durumlar olarak adlandırılan bu durumları sınıflandırmak için meme görüntüleme değerlendirmelerinde standartizasyonu yakalamak amacıyla Amerikan Radyoloji Derneği (ACR) tarafından ilk baskısı 1993'de ve son baskısı Şubat 2014'de hazırlanan Breast Imaging and Reporting Data System (BI-RADS) kullanılmaktadır. BI-RADS, MRG'de saptanan lezyonlar için değerlendirme kriterlerini ve izlenecek yolları tanımlamaktadır. Atipik durumlar için BI-RADS sınıflandırmasını kestirmek kolay değildir ve bu nedenle değerlendirme için bir Bilgisayar Destekli Tanı (Computer Aided Diagnosis, CAD) sistemine ihtiyaç duyulur. İkinci grup ise memedeki tümör

alanının belirlenmesi için sunulan yöntemleri içermektedir.

[4]'de meme parankimindeki anormalliklerden doğan meme kanserinin tespit edilmesi için MR görüntülerinin üç boyutlu olarak yeniden oluşturulmasına dayalı bir yöntem sunulmuştur. Segmentasyon işlemi iki boyutlu MR görüntülerine uygulanmış, daha sonra görüntüler yeniden üç boyuta dönüştürülmüştür. Amaç iyi bir segmentasyon işlemi gerçekleştirerek yalancı-pozitifleri ortadan kaldırmaktır. Çalışmada öncelikle meme kenarlarına ait pikseller tespit edilmiştir. Daha sonra filtreleme işlemlerini izleyen bir K-means algoritması kullanılarak tümör alanının segmentasyonu sağlanmıştır. Meme konturunu ve tümörü içeren ilgili bölge (Region of Interest, ROI) belirgin hale getirilmiştir. Ancak, çalışmada incelenen tümör türü, veri tabanı ve performans karşılaştırması bilgisi verilmemiştir. Bu alanda Fooladivanda ve ekibi tarafından iki çalışma yapılmıştır. [5]'de meme MR görüntülerinde otomatik meme ve fibroglandüler doku segmentasyonu için yerel adaptif eşikleme yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada 45 kadından 56 kesitte olmak üzere toplam 2520 bileteral axial görüntü alınmıştır. Görüntüler T1 ağırlıklı yağ-baskısız görüntülerdir. Manuel ve otomatik segmentasyon sonuçları beş farklı ölçüt kullanılarak kıyaslanmıştır. Bu ölçütler şu şekilde tanımlanmaktadır: Zar Benzerlik Katsayısı (Dice Similarity Coefficient, DSC) ve Jaccard Katsayısı (Jaccard Coefficient, JC) ortalama örtüşme ve bileşik örtüşme olarak bilinen otomatik ve manuel segmentasyon sonuçlarının benzerliğini değerlendirmek için kullanılan ölçütlerdir. Toplam örtüşme, hassasiyeti değerlendirmek için bu iki ölçütten hesaplanır. Yalancı-Negatif (False-Negative, FN), otomatik olarak ayrıştırılan hacme ait olmayan manuel olarak segmente edilmiş alan oranıdır. Yalancı-Pozitif (False-Positive, FP) ise manuel olarak segmente edilmiş alana ait olmayan otomatik olarak ayrıştırılmış alan oranıdır. FN ve FP ölçütleri literatürde yaygın olarak kullanılan önemli ölçütlerdir. [6]'da bir atlas tabanlı meme segmentasyon yöntemi sunulmuştur. Atlas tabanlı meme segmentasyon yöntemlerinin çoğunda meme alanı bir şablon olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, verilen bir durum için hedef görüntüye en uygun atlasın seçilmesi gerekmektedir. Bu yaklaşımlar hesap yükünü oldukça artırmaktadır. Atlas tabanlı yaklaşımların hesap yükünün düşürülmesi amacı ile birçok yöntem önerilmiştir. Bu çalışmada hem göğüse ait kaslar hem de göğüs

kafesi bölgesi modeli şablon olarak kullanılmıştır. Yöntem 50 kadından 56 kesitte alınan 2800 bileteral axial görüntü üzerinde uygulanmıştır. Yine verilen beş ölçüt kullanılarak performans değerlendirilmiştir ancak yöntemin performansı diğer çalışmalarına kıyasla daha düşüktür. [7]'de amaç meme yoğunluğunu otomatik olarak hesaplayan atlas tabanlı bir yöntem geliştirmektir. Öncelikle, vücut-meme ve göğüs boşluğu-meme yüzeyleri otomatik olarak belirlenerek meme segmentasyonu sağlanmıştır. Daha sonra, meme alanında Beklenti Maksimizasyonu (Expectation Maximization, EM) algoritması uygulanarak fibroglandüler doku segmentasyonu gerçekleştirilmiştir. Fibroglandüler doku segmentasyonu için her bir memede farklı eşik kullanılması gerekmesine rağmen çalışmada tek bir eşik kullanılmıştır. 50 durum içeren manuel segmentasyon sonuçları karşılaştırma amaçlı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yöntem, Fooladivanda ve arkadaşları tarafından sunulan yönteme kıyasla daha az etkilidir. [8]'de 3D-MR görüntülerinde sadece meme sınırlarını belirlemek amacıyla atlas-tabanlı bir segmentasyon yöntemi önerilmiştir. Yöntem diziler-içi ve diziler-arası olmak üzere iki konfigürasyona sahiptir. İlkinde atlas ve test görüntüsü aynı görüntüleme protokolünden ikincisinde ise farklı görüntüleme protokollerinden alınmıştır. Yöntemin diğer atlas tabanlı yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Atlas tabanlı yöntemler genellikle ışık şiddeti tabanlı kayıt tekniklerine dayalı yöntemlerdir. Ancak, farklı MRG tarayıcıları farklı ışık şiddeti ayarlarına sahip olduklarından görüntülerin parlaklık dağılımları da farklıdır. Ayrıca, farklı amaçlar için birçok farklı MRG protokolü de kullanılmaktadır. Oluşturulan görüntü atlası sadece bir tarayıcıya ve protokole aittir. Örneğin, meme görüntülerinde T1 ağırlıklı, T1 yağ baskılı ve T2 ağırlıklı diziler kullanılabilir. Tüm durumlar için kullanılabilir bir atlas görüntü kümesi oluşturmak için uzmanın çok uzun bir zaman uğraşması gerekmektedir. Ribes ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada gürültü giderme adımından sonra istatistiksel segmentasyon gerçekleştirilmiştir. Gürültü gidermede anizotropik difüzyon yöntemi, istatistiksel segmentasyonda ise Markov rastgele alan modeli kullanılmıştır. Önce sentetik veri üzerinde daha sonra sadece on hastaya ait meme MR görüntüleri üzerinde çalışılmıştır. Hesap yükünü azaltmak için sadece uzman tarafından belirlenen ilgili hacim

(Volume of Interest, VOI) dikkate alınmıştır. Yöntemin gürültü giderme adımı ile k-ortalama ve FCM yöntemlerinden daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Ancak, çalışmanın daha geniş veri kümeleri ve daha uzun takip süreleri için geliştirilmesi gerekmektedir [9]. Son olarak [10]'de MR görüntülerinde meme bölgesinin belirlenmesi için klasik ve çok-evreli hücresel sinir ağlarının (Cellular Neural Network, CNN) performansı karşılaştırılmıştır. Bu amaçla sağlıklı 23 kadından T2 ağırlıklı bilateral axial yağ baskılı görüntü alınmıştır. İstatistiksel analizler sonucu çok-evreli CNN yönteminin daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Bu çalışmada, meme kanserinin teşhisinde ve erken tanısında yaygın olarak kullanılan modalitelerden biri olan MRG sisteminden elde edilen görüntüler kullanılarak memede oluşan lezyonların sınırlarının belirlenmesi ve lezyon alanının hesaplanmasına yönelik bir sistem geliştirilmiştir. Sistem, radyologlara büyük kolaylıklar sağlayan ve birçok değiştirilebilir seçenek sunan bir ara yüz üzerinden tasarlanmıştır. Lezyon sınırlarının belirlenmesi ve alanının optimum şekilde hesaplanması için, eşikleme tabanlı, bulanık mantık tabanlı, bölge büyütme tabanlı ve kümeleme tabanlı olmak üzere dört farklı yöntemden yararlanılarak bir hastane otomasyon sistemi tasarlanmıştır. Çalışma şu şekilde organize edilmiştir: ikinci bölümde eşikleme tabanlı yöntemlerden Otsu eşikleme yöntemi, bulanık tabanlı yöntemlerden bulanık c-ortalama yöntemi, bölge büyütme yöntemi ve kümeleme yöntemlerinden k-ortalama yöntemi tüm adımları ile açıklanmıştır. Otsu, FCM ve RG yöntemleri tek kanallı gri-seviye bölütleme yöntemleridir. K-ortalama yöntemi ise, üç-kanallı yani renkli görüntüde doğrudan kullanılabilen bir bölütleme yöntemidir. Bölüm 3'de lezyon alanının hesaplanması için kullanılan bit-dörtlüsü (bit-quad) yöntemi tartışılmıştır. Tasarlanan geliştirilebilir hastane otomasyon sistemi ise Bölüm 4'de tanıtılmıştır. Son olarak Bölüm 5'de sistem sayesinde elde edilen sonuçlar ve yapılması planlanan çalışmalar tartışılmıştır.

2. MEME MR GÖRÜNTÜLERİNDE LEZYON SINIRLARININ BELİRLENMESİ (DETECTION OF LESION BOUNDARIES IN BREAST MR IMAGES)

Segmentasyon işlemi, bir görüntüyü benzer özelliklere sahip bölgelere ayırma işlemidir. Segmentasyon için en temel özellik monokrom görüntüler için görüntü parlaklığının genliği, renkli görüntüler için ise renk bileşenleridir. Ayrıca görüntünün kenar ve doku özellikleri de segmentasyon için faydalı bilgiler sağlamaktadır.

Görüntü segmentasyonu için temel bir teori yoktur. Bunun bir sonucu olarak, görüntü segmentasyonunda kullanılan tek bir yöntem de yoktur. Ancak, probleme göre geliştirilen (ad-hoc) ve popülerlik kazanmış birçok yöntem mevcuttur. Yöntemler probleme göre geliştirildiğinden, performanslarını belirlemek için bazı uygulamalar yapmak gerekmektedir. Haralick ve Saphiro iyi bir segmentasyon için şu ifadeyi kullanmışlardır: “Bir görüntü segmentasyonunun bölgeleri grilik seviyesi ya da doku gibi bazı karakteristikler açısından düzenli ve homojen olmalıdır. Bölgelerin iç kısımları basit olmalıdır ve çok sayıda küçük delik içermemelidir. Segmentasyonda ard arda gelen bölgeler oldukça farklı değerlere sahip olmalıdır. Her bir segmentin sınırları belirgin ve uzamsal olarak düzgün olmalıdır”. Haralick ve Saphiro tarafından belirlenen kriterleri ölçen herhangi bir niteliksel görüntü segmentasyon performans metriği maalesef henüz geliştirilmemiştir [11].

Segmentasyon işlemi, görüntü işlemedeki temel adımlardan biri olarak düşünülmektedir. Sayısal görüntüleri analiz etmek için görüntüyü birden fazla bölgeye ayırmak ve bölgeleri sınıflandırmak için kullanılır. Görüntü segmentasyonu için genel birçok yöntem sunulmuştur. Bu yöntemleri özetleyen inceleme çalışması (sörvey) [12]’de verilmiştir. Bu çalışmada eşikleme tabanlı, bulanık mantık tabanlı, bölge büyütme ve kümeleme tabanlı olmak üzere dört farklı segmentasyon algoritması kullanılmıştır.

Eşikleme yöntemleri istenilen sınıfları ayırmak için eşik olarak adlandırılan bir şiddet (intensity) değeri belirlemeyi amaçlayan yöntemlerdir. Segmentasyon, eşikğin üzerindeki şiddete sahip olanları bir gruba diğer tüm pikselleri başka bir gruba atayarak gerçekleştirilir. Eşikleme görüntü işleme uygulamalarında genellikle ilk adımdır. En

önemli sınırlaması çok kanallı görüntülere uygulanamamasıdır. Ayrıca, eşikleme görüntünün uzamsal özelliklerini dikkate almaz. Bu da MR görüntülerinde meydana gelebilen gürültü ve homojen dağılmayan görüntü şiddetlerine karşı hassasiyetin artmasına, dolayısıyla histogramın bozulup ayrıştırma işleminin zorlaşmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak, medikal görüntü segmentasyonu için klasik eşikleme yöntemlerine ilave parametreler eklenmelidir. Bölge büyütme, daha önceden tanımlanmış bir takım kriterlerle bağlanmış bir bölgeyi görüntüden çıkarmak için kullanılır. Kriter, şiddet bilgisine ve/veya görüntüdeki kenarlara bağlıdır. En basit haliyle bölge büyütme, operatör tarafından manuel olarak seçilen bir çekirdek noktadan başlayarak bu başlangıç noktasıyla aynı şiddette olan tüm pikselleri bağlayıp giderek büyüyen bir bölge oluşturmaktır. Eşikleme gibi, bölge büyütme de tek başına kullanılmaz ancak görüntü işleme adımları arasında özellikle tümör ve lezyonlar gibi basit yapıların nitelendirilmesinde kullanılmaktadır. Kümeleme yöntemleri eğitilmiş veri dışında sınıflandırma yöntemleri ile aynı fonksiyonu gerçekleştirirler. Bu nedenle denetimsiz (unsupervised) yöntemler olarak da adlandırılırlar. Eğitim verisi olmayışını dengelemek amacıyla kümeleme yöntemleri, görüntüyü bölme ve her bir sınıfın özelliklerini karakterize etme arasında bir yinelenme yapar yani kendi kendini eğitir. En yaygın olarak kullanılanları k-ortalama (ISODATA) algoritması, bulanık c-ortalama algoritması ve EM algoritmasıdır. Kümeleme algoritmaları bir başlangıç parametresi gerektirirken EM algoritması diğerlerine göre başlangıç parametre değerine karşı daha hassastır. Kümeleme algoritmaları MR görüntülerde daha çok tercih edilir ve iyi sonuçlar verir. Gürültüye karşı dayanıklılık Markov Rastgele Alan Modelleri (Markov Random Field, MRF) ile birlikte kullanılarak artırılabilir. Bu genel bilgiler ışığında, sunulan çalışmada tercih edilen segmentasyon teknikleri aşağıda detayları ile tartışılmıştır.

2.1. Eşikleme Tabanlı Otsu Segmentasyon Yöntemi (Thresholding Based Otsu Segmentation Method)

Meme MR görüntülerinde gözlemlenen lezyonların sayısı bir veya birden çok olabildiğinden, Otsu yöntemi çalışmamızda tercih edilen yöntemlerden biridir. Tüm meme MR görüntüleri için geçerli tek bir eşik değeri mevcut

değildir. Geçmiş deneyimlere dayalı olarak bir eşik seviyesi belirlenir ancak bu durumda da yapılan işlemin bilimsel bir dayanağı olmamaktadır. Bu sebeple adaptif eşikleme yöntemi olan Otsu eşikleme yöntemi tercih edilmektedir.

Otsu eşikleme yöntemi, istatistiksel ayırt etme analizinde de kullanılan bilinen bir ölçüm olan varyansı maksimum yapma amacıyla gerçekleştirilen en uygun yöntemdir. $M \times N$ piksel boyutlu sayısal bir görüntüde L farklı yeğlilik seviyesi $\{0,1,2,\dots,L-1\}$ ile ifade edilsin. n_i de i . yeğlilik seviyesine sahip piksellerin sayısını gösterebilir. Görüntüdeki piksellerin toplam sayısı $MN = n_0 + n_1 + n_2 + \dots + n_{L-1}$ olarak hesaplanır. P_i , i . yeğlilik seviyesine sahip piksellerin olasılıkları olmak üzere aşağıdaki eşitlik geçerlidir.

$$\sum_{i=0}^{L-1} P_i = 1, P_i \geq 0 \quad (1)$$

Verilen bir görüntüyü ikili bir eşikleme işlemine tabi tutmak istediğimizi varsayalım. İlk olarak, giriş görüntüsü c_1 ve c_2 gibi iki sınıfa eşiklemek için eşik değerleri belirlenir. Örneğin, c_1 görüntüde $[0, k]$ aralığındaki yeğlilik seviyelerine sahip pikselleri ve c_2 'de $[k+1, L-1]$ arasındaki yeğlilik seviyeli piksel değerine karşılık gelsin. Belirlenen eşik seviyesini kullanarak, bir pikselin c_1 sınıfına atanma olasılığı $P_1(k)$ ile temsil edilmektedir. $P_1(k)$ şu şekilde ifade edilir:

$$P_1(k) = \sum_{i=0}^k P_i \quad (2)$$

Denklem (2), c_1 sınıfı için oluşan olasılıktır. c_2 sınıfı için oluşan olasılık ise Denklem (3)'de verilmiştir.

$$P_2(k) = \sum_{i=k+1}^{L-1} P_i = 1 - P_1(k) \quad (3)$$

c_1 sınıfına atanan piksellerin ortalama yeğlilik değerleri aşağıda ifade hesaplanmıştır:

$$m_1(k) = \sum_{i=0}^k iP(i/c_1) = \sum_{i=0}^k i(c_1/i)(P(i)/P(c_1)) = \frac{1}{P_1(k)} \sum_{i=0}^k iP_i \quad (4)$$

c_2 sınıfına atanan piksellerin ortalama yeğlilik değeri benzer şekilde hesaplanabilir:

$$m_2(k) = \sum_{i=k+1}^{L-1} iP(i/c_2) = \frac{1}{P_2(k)} \sum_{i=k+1}^{L-1} iP_i \quad (5)$$

k seviyesine kadar olan kümülatif yeğlilik ortalamasını hesaplamak için

$$m(k) = \sum_{i=0}^k iP_i \quad (6)$$

kullanılır. Yukarıda verilen eşitliklerden faydalanarak görüntünün tamamı için ortalama yeğlilik,

$$m_G = \sum_{i=0}^{L-1} iP_i \quad \text{Veya} \quad P_1.m_1 + P_2.m_2 = m_G, \quad P_1 + P_2 = 1 \quad (7)$$

ile verilir. Belirlenen eşiklerin doğruluğunu değerlendirmek için aşağıda η ile gösterilen kriter kullanılır. Q_G^2 sabit tutulduğunda, Q_B^2 'yi artırmak ayırt etme özelliğini maksimuma taşımaktadır.

$$\eta = \frac{Q_B^2}{Q_G^2} \quad (8)$$

Denklem (8)'de, Q_B^2 , sınıflar arası varyansı ve Q_G^2 global varyansı ifade etmektedir. Varyans değerleri aşağıda verilen denklemde hesaplanmıştır:

$$Q_B^2 = P_1P_2(m_1 - m_2)^2 = \frac{(m_G.P_1 - m)^2}{P_1(1 - P_1)}, \quad Q_B^2 > 0, \quad (9)$$

$$Q_G^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - m_G)^2 P_i$$

Elde edilen eşik değerinin görüntüyü istenildiği gibi bölgelere ayıramaması durumunda eşik değerleri güncellenmelidir. Segmentasyon yöntemlerinden beklendiği gibi, sınıf arası varyansı maksimum yapan k eşik değerinin güncellenmesi için,

$$\eta(k) = \frac{Q_B^2(k)}{Q_G^2} \quad (10)$$

$$Q_B^2(k) = \frac{[m_G \cdot P_1(k) - m(k)]^2}{P_1(k)[1 - P_1(k)]} \quad (11)$$

eşitlikleri kullanılır. Denklem (10)'daki ifadeyi maksimum yapan k^* değeri şu şekilde belirlenir:

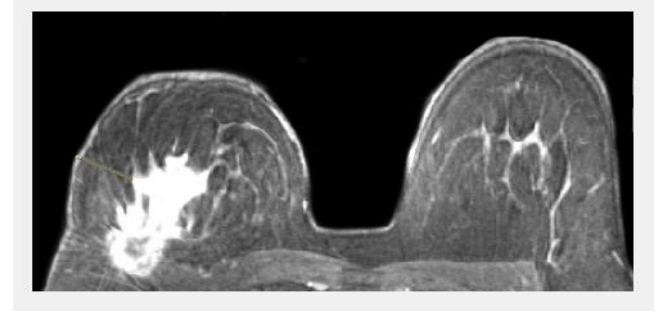
$$Q_B^2(k^*) = \max Q_B^2(k) , 0 < k < L-1 \quad (12)$$

Denklem (12)'de k^* bulmak için k 'nın bütün tamsayı değerleri için $0 < P_1(k) < 1$ aranır ve $\max Q_B^2(k)$ 'yi veren k değeri tespit edilir. Seçilen k değeri için giriş görüntüsü $f(x, y)$ Denklem (13)'teki işlem uygulanarak eşiklenir.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) > k^* \\ 0, & f(x, y) \leq k^* \end{cases} \quad (13)$$

Burada $g(x, y)$ eşikleme işleminden sonra elde edilen görüntüdür [13]. Yukarıda anlatılan adımlar iki sınıf Otsu eşikleme yöntemi için verilmiştir. Çalışmada, maksimum sınıf sayısı sekiz olana kadar kullanıcının istediği eşikleme yapabilecek bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Yukarıda verilen adımlarda eğer sınıf sayısını arttırmak istersek adımlar sınıf sayısına göre tekrar uyarlanmalıdır. Örneğin, üç sınıf için eşikleme yapılırsa, $1 \leq k_1 < k_2 < L$ iki eşik seviyesi belirlemek gereklidir. Bu değerler görüntüye uygulandığında $c_1 = [1, 2, \dots, k_1]$, $c_2 = [k_1 + 1, \dots, k_2]$ ve $c_3 = [k_2 + 1, \dots, L]$ olmak üzere üç sınıf elde edilir. Ayırt ediciliği ölçmek için $Q_B^2(k)$ kriteri k_1 ve k_2 değerlerine sahip bir fonksiyon olacaktır. Dolayısıyla, $Q_B^2(k)$ 'yi maksimum yapan k_1^* ve k_2^* eşikleme seviyesi belirlenir. Son olarak, en uygun eşik seviyeleri kullanılarak görüntü istenilen yeğinlik sınıflarına ayrıştırılır [14, 15]. Şekil 2'de kötü huylu lezyon bulunan orijinal meme MR görüntüsü yer almaktadır. Görüntüde sol memede kötü huylu lezyon bulunmaktadır. Yapılan örnek uygulamada kullanılan Otsu eşikleme yöntemiyle iki eşik değerinden başlayarak sekiz eşik değerine kadar olan kümeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bölüm 4'de açıklanan ara yüz vasıtası ile radyoloji

uzmanlarının lezyon alanını en belirgin hale getiren eşik seviyesini seçmelerine olanak sağlanmaktadır.



Şekil 2. Kötü huylu lezyon bulunan meme MR görüntüsü (Breast MR image with malignant lesion) [16].

Şekil 3'de Otsu eşikleme yönteminin iki eşik değerinden sekiz eşik değerine kadar olan görüntüleri verilmiştir. Birinci satır birinci sütunda orijinal görüntü yer almaktadır. Şekilde n sembolü ile ifade edilen eşik sayısıdır. Örneğin, $n = 2$ olarak seçildiğinde $n - 1$ adet eşik değeri atanarak görüntü bir ve sıfır içeren iki kısma ayrılmaktadır. Diğer adımlarda da bu işlem tekrarlanarak farklı görüntüler elde edilmiştir. Her görüntüde en iyi görüntülemeyi sağlayan tek bir eşik değeri yoktur. Bu nedenle Bölüm 4'de açıklanan hastane otomasyon sisteminde işlemler radyoloji uzmanının istediği gibi seçebileceği şekilde ayarlanmıştır. Bu seçenek, lezyon sınırlarının daha net olarak belirlenmesini sağlamaktadır. Lezyon sınırları gerçeğe yakın olarak belirlendiğinde, meme kanserinin teşhis ve tedavisi için uzmanlara ek bilgi sağlanmaktadır.

2.2. Bulanık Mantık Tabanlı c-Ortalama (FCM) Yöntemi (Fuzzy Logic Based c-Means (FCM) Method)

FCM yöntemi, tıbbi görüntüler için iyi segmentasyon sonuçları veren denetimsiz öğrenme yöntemlerinden biridir. Bu yöntemin bir amaç fonksiyonu vardır ve bu amaç fonksiyonuyla ilgili bazı öçütler tespit edilmiştir. FCM yöntemindeki amaç fonksiyonu genel olarak, rastgele atanan başlangıç değerlerine ait kümeler oluşturulmakta ve aynı kümedeki benzer veri değerleri gruplanmaktadır. Fonksiyon, belirlenen hata değerine ulaşmaya kadar gruplama işlemi devam etmektedir [17, 18]. FCM algoritmasının ana adımları şu şekilde açıklanabilir.

İlk adımda E_k ile gösterilen amaç fonksiyonu elde edilmektedir.

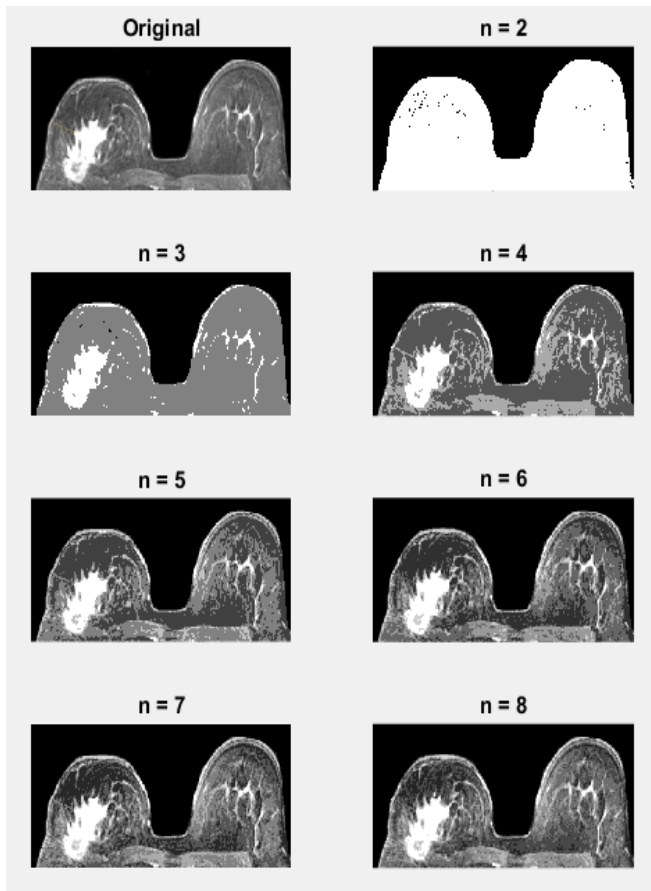
$$E_k = \sum_{j=1}^D \sum_{i=1}^N \mu_{ij}^k \|x_i - c_j\| \quad (14)$$

Denklem (14)'de, D ve N sırasıyla x_i 'nin veri noktaları ve veri kümeleridir. k , bulanık örtüşme derecesini kontrol etmek için bulanık bölüm matris üssü olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca, c_j j . kümenin merkezini, μ_{ij} ise j . kümedeki x_i üyeliğinin derecesini belirtmektedir.

İkinci adımda kümeleme adımı başlar. Başlangıçta μ üyelik matrisi rastgele atanır. Kümelerin merkezleri Denklem (15)'de verilen ifade ile hesaplanır.

$$c_i = \frac{\sum_{j=1}^D \mu_{ij}^k x_j}{\sum_{j=1}^D \mu_{ij}^k} \quad (15)$$

Üçüncü adımda, hesaplanan merkez değerleri kullanılarak, aşağıda ifade ile μ_{ij} değeri güncellenir.

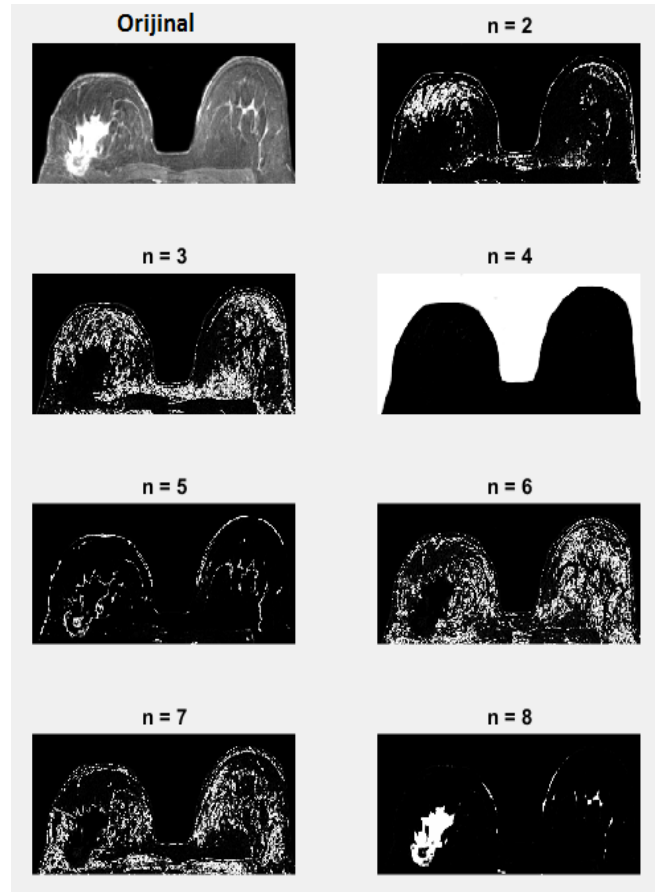


Şekil 3. Otsu yöntemi uygulanmış kötü huylu lezyon bulunan meme MR görüntüsü (Otsu method applied breast MR image with malignant lesion).

$$\mu_{ij} = \frac{1}{\sum_{m=1}^c \left(\frac{\|x_j - c_i\|}{\|x_j - c_m\|} \right)^{2/k-1}} \quad (16)$$

Son adımda ise, önceki μ matrisi yeni μ matrisi ile karşılaştırılır ve belirlenen hata değerine ulaşıncaya kadar bu işlem adımları tekrar edilir.

FCM algoritması tıbbi görüntülerde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Kötü veya bozuk görüntüler olması halinde bile etkili sonuçların üretilmesinde yararlı olduğu kanıtlanmıştır [39]. MR görüntüleri için hızlı ve güvenilir sonuçlar ürettiği için çalışmada FCM yöntemi de kullanılmıştır. Otsu yöntemi ile kıyaslayabilmek için Şekil 3'de verilen görüntü tekrar FCM yöntemi ile de ayrıştırılmıştır. Sonuçlar Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. FCM yöntemi uygulanmış kötü huylu lezyona sahip meme MR görüntüsü (FCM applied breast MR image that have malignant lesion).

Şekil 4 birinci satır birinci sütunda orijinal görüntü yer almaktadır. n sembolü sınıf sayısını belirtmektedir. Sınıf sayısı ikiden başlayarak sekize kadar arttırılmaktadır. $n = 8$ olan görüntüde kötü huylu lezyon sınırlarının net bir şekilde ortaya çıktığı görülmektedir. Burada, FCM her

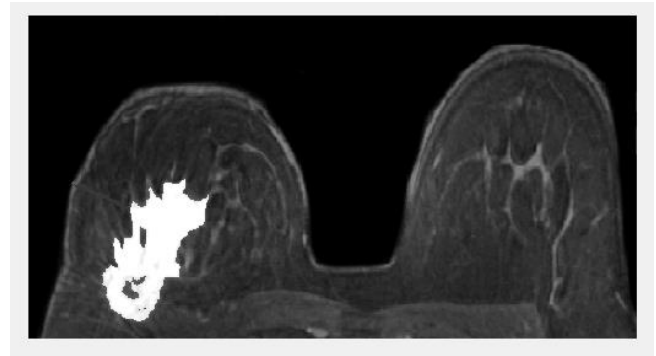
iterasyonda pikselleri kümeleyerek görüntüdeki ilgisiz piksellere direk olarak sınıf değerini atamaktadır. Ayrıca lezyon bulunan piksellere bir değerini atayarak iki seviyeli görüntüde lezyonun sınırlarını net bir şekilde ortaya çıkarmaktadır.

2.3. Bölge Büyütme Tabanlı Segmentasyon Yöntemi (Region Growing Based Segmentation Method)

Bölge büyütme tabanlı segmentasyon yöntemi, büyütme için önceden belirlenmiş ölçütler doğrultusunda piksel veya alt bölgeleri daha büyük bölgelere genişletip gruplamayı amaçlayan bir yöntemdir. Temel olarak çalışma mantığını şu şekilde açıklanabilir; Başlangıçta bir nokta kümesi belirlenir ve bu noktalardan başlayarak benzer özelliklere sahip olan komşu pikseller gruba dâhil edilir. Böylece bölge giderek büyür ve istenen gruplama sağlanınca işlem sona erer. Şimdi yöntemin nasıl uygulandığını temel adımları ile açıklayalım. $f(x,y)$ giriş görüntüsü ve $S(x,y)$ başlangıç küme noktaları olan yerlerde piksel değeri 1 diğer yerlerde piksel değeri 0 olan bir başlangıç nokta kümesini ifade etsin. Q ise her bir (x,y) noktasında sağlanması gereken koşulu temsil etsin. 8-bağlılığa dayalı temel bir bölge büyütme segmentasyon yönteminin temel adımları şu şekilde verilebilir:

- i) $S(x,y)$ içerisinde 8-bağlılığı olan bileşenler belirlenir ve her bağlı olan bileşen bir gruba atanır. Bağlılığı olan piksel değerleri 1 olarak temsil edilirken, diğer pikseller 0 ile temsil edilmektedir.
- ii) Görüntüde (x,y) koordinatında bir f_Q görüntüsü oluşturulur. Eğer giriş görüntüsü bu koordinatlarda verilen Q koşulunu sağlarsa $f_Q(x,y) = 1$ olarak görüntü değeri atanır. Diğer durumlarda $f_Q(x,y) = 0$ olarak belirlenmektedir.
- iii) Belirlenen nokta kümesine 8-bağı bulunan f_Q içinde yer alan bütün 1 değerli pikseller S içerisindeki her bir başlangıç noktasına ilave ederek bir g görüntüsü elde edilmektedir.
- iv) g içerisinde gruplanan bölgelere her nokta kümesi için 1,2,3...vb. gibi etiketler verilerek bölge büyütme kümeleri belirlenip yeni görüntü elde edilmektedir [12].

Bölge büyütme yöntemi tümörler ve lezyonlar gibi küçük veya basit yapıların belirlenmesinde tek başına kullanılmamaktadır. Çünkü bölge büyütme işleminin gerçekleştirilmesi için başlangıç nokta kümelerinin manuel olarak belirlenmesi gerekmektedir. Sunulan çalışmada gözle görülen büyüklükteki lezyon sınırlarını belirlemek için bölge büyütme tekniğinden faydalanılmıştır. Başlangıç noktaları manuel olarak lezyonun bulunduğu tahmin edilen bölgedeki konumlar olarak seçilmiştir. Bölge büyütme yöntemi görüntüyü bütün olarak taramak yerine belirlenen bölgeden başlayarak taradığı için süre olarak avantaj sağlamaktadır. Daha önce verilen segmentasyon yöntemleri ile kıyaslamak amacıyla aynı görüntü için bölge büyütme tekniği uygulanmıştır. Şekil 5’de bölge büyütme yöntemi uygulanmış MR görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5. Bölge büyütme algoritması uygulanmış meme MR görüntüsü (Region growing algorithm applied breast MR image).

Görüntüde tümör bölgesinde koordinatı verilerek başlangıç noktası belirlenmektedir. Daha sonra algoritma adımları devam ederek Şekil 5’deki görüntü elde edilmiştir. Bu yöntem, diğer iki yöntemle kıyaslandığında süre bakımından çok daha hızlı sonuç vermektedir. Ancak başlangıç noktasının kullanıcı tarafından girilmesi bu yöntemin bir dezavantaj olarak düşünülebilir.

2.4. Kümeleme Tabanlı k-Ortalama Yöntemi (Clustering Based k-Means Method)

Kümeleme tabanlı segmentasyon yöntemleri, sınıflandırma yöntemlerinin tersine eğitim verilerini kullanmadan segmentasyon işlemi gerçekleştiren yöntemlerdir. Bu nedenle, küme yöntemlerine denetimsiz yöntemler de denilmektedir. Eğitim verisinin eksikliğini gidermek için kümeleme yöntemleri görüntünün sınıflara ayrılması ve her sınıfın özelliklerinin karakterize edilmesi arasında bir yineleme işlemi

yapmaktadır. Kümeleme yöntemleri bir bakıma, mevcut verileri kullanarak kendini geliştirmektedir. Çalışmada, k-ortalama segmentasyon yöntemi de meme MR görüntülerinde lezyon tespiti ve sınırlarının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu yöntemin temel çalışma prensibi, her sınıf için tekrarlı bir ortalama yoğunluk hesaplayıp sınıf içindeki her pikseli en yakın ortalamasına göre sınıflandırarak görüntüyü kümelemektir [19]. Diğer bir ifade ile görüntüyü k adet parçaya ayırarak, parça içi varyansı en küçük parçalar arası varyansı en büyük yapmak amaçlanmaktadır. k-ortalama yönteminde başlangıçta bir k değeri belirlenir ve segmentasyon sonucu $k-1$ kümeye sahip bir görüntü elde edilir. Şimdi yöntemi açıklayalım. Segmentasyon varyansı σ_w^2 aşağıdaki gibi tanımlansın

$$\sigma_w^2 = \sum_{i=0}^{k-1} h_i \sigma_i^2 \quad (17)$$

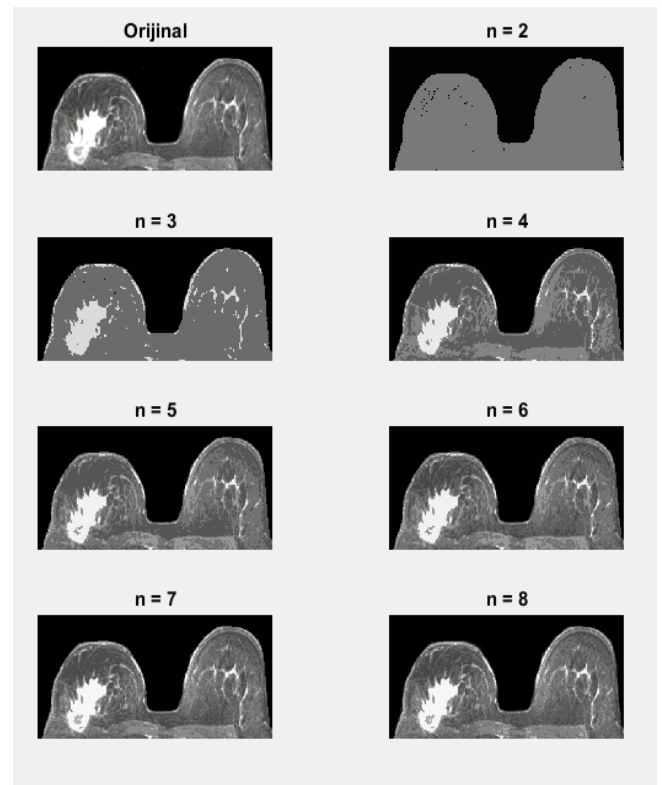
burada h_i rasgele bir pikselin segmentasyonda i kümesine ait olma olasılığıdır. S_i aralığındaki değerler gri renk içermektedir. σ_i^2 , i . kümenin grilik değerinin varyansı ve μ_i , i . kümenin ortalama grilik değeridir. İlk olarak, $k-1$ adet eşik histogram üzerinde dağıtılmaktadır. Diğer bir ifade ile grilik seviyeleri eşit uzunlukta k parçaya bölünmektedir. Buna göre görüntü, belirlenen eşik değerlerine göre kümelere ayrılmaktadır. Her k küme bölümü için küme merkezleri ve kümeyi oluşturan iki eşik arasındaki yarıçap hesaplanmaktadır.

İkinci adımda her küme için ortalama değer μ_i hesaplanır. Küme merkezleri hesaplanan μ_i değerlerine sıfırlanır. Daha sonra, belirlenen değerler merkez olarak seçilerek görüntü parçalara ayrılır. Yinelemeli olarak μ_i tekrar hesaplanarak aynı işlemler tekrar edilir. Küme merkezleri artık hareket etmeyecek düzeye geldiğinde işlem sonlandırılır [19].

Diğer yöntemlerden farklı olarak k-ortalama yönteminde üç kanallı (R, G, B) görüntü kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda diğer üç yöntemle kıyasla gerçek değerlere en yakın olan sonuçların k-ortalama yöntemi ile elde edildiği gözlemlenmiştir. Şekil 6'da k-ortalama kümeleme yöntemi uygulanmış görüntü verilmiştir. Önceki yöntemlerle kolay kıyas yapılabilmesi amacı ile aynı MR görüntüsü

kullanılmıştır. Şekil 6'da da görüldüğü gibi lezyon sınırları oldukça belirgindir.

Şimdiye kadar verilen segmentasyon yöntemleri sayesinde lezyon sınırları açık olarak tespit edilebilmektedir. Segmentasyon işleminde bir yöntemin tüm görüntüler için en iyi sonucu veremeyeceği bilindiğinden sunulan çalışmada dört farklı yöntemle uzman opsiyonel bir çalışma ortamı sağlanmaktadır. Radyoloji uzmanı uygun gördüğü sonucu seçip lezyonun bulunduğu bölgeyi işaretleyerek bir sonraki bölümde tartışılan alan hesaplama yöntemi sayesinde lezyonun alanını da hesaplama olanağına sahip olacaktır.



Şekil 6. k-Ortalama yöntemi uygulanmış meme MR görüntüsü (k-means method applied breast MR image).

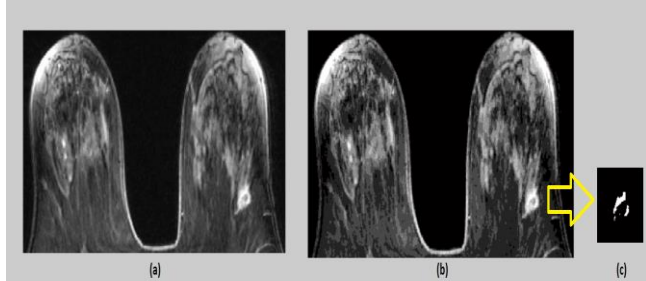
3. MEME MR GÖRÜNTÜLERİNDE LEZYON ALANININ BELİRLENMESİ (DETECTION OF LESION AREA IN BREAST MR IMAGES)

Bir görüntüde nesnelere şekli karakterize etmek için birçok niceliksel ve niteliksel teknik geliştirilmiştir. Bu teknikler, bir görüntü tanıma sisteminde nesnelere sınıflandırmak için ve bir görüntü anlama sisteminde nesneyi sembolik olarak tanımlamak için oldukça faydalıdır. Tekniklerden bazıları sadece iki seviyeli

görüntülere uygulanırken diğerleri grilik seviyeli görüntüler için de uygulanabilir hale getirilebilir.

Önceki bölümde meme MR görüntülerinde lezyonun tespit edilmesi ve sınırlarının belirlenmesi amacıyla kullanılan segmentasyon teknikleri tartışılmıştı. Bu bölümde amacımız sınırları belirlenen lezyonun kapladığı alanı bulmaktır. Segmentasyon adımından sonra elde edilen görüntülerdeki verileri değerlendirmek meme kanseri teşhis ve tedavisi için büyük önem arz etmektedir. Meme kanserinde lezyonun çevresi, alanı ve şekil bilgileri hastaya uygulanacak tedavi yönteminin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu bölümde yapılacak işlemler ve elde edilen sonuçlar meme kanseri değerlendirmelerinde radyologlar için oldukça değerlidir.

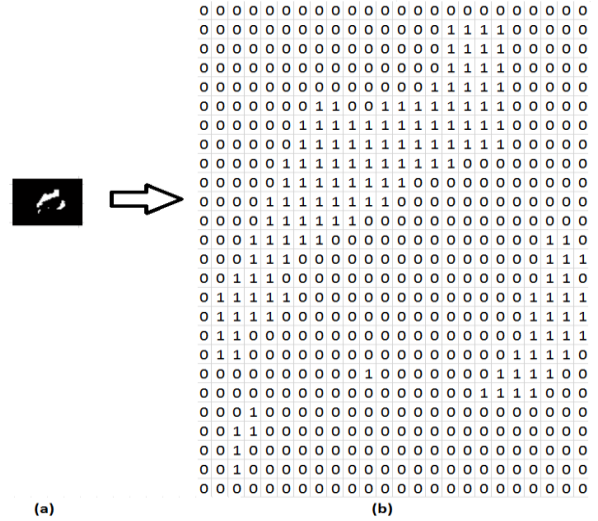
Şekil 7 (a)'da kötü huylu lezyon bulunan orijinal bir MR görüntüsü verilmiştir. Lezyon sınırlarının belirlenmesi amacıyla görüntüye uygulanan segmentasyon yöntemi Otsu'dur. Otsu'da sınır sayısı bu görüntü için sekiz olarak seçilmiştir. Segmentasyon işlemi uygulanmış görüntü Şekil 7 (b)'de gösterilmiştir.



Şekil 7. (a) Orijinal meme MR görüntüsü [38], (b) Otsu 8 seviye eşikleme, (c) Kötü huylu lezyonun ikili görüntüsü ((a) Original breast MR image [38], (b) 8-level Otsu thresholding, (c) Binary image of malignant lesion).

Şimdi bir radyoloğun segmentasyon adımı sonrası gözlemlediği lezyonun alanını hesaplamak istediğini varsayalım. Bunun için, radyolog özellikle lezyonun bulunduğu bölgeyi görüntüden seçmektedir. Daha sonra seçilen bu bölgede lezyonu tanımlayan piksellerin değeri 1, diğer piksellerin değeri 0 olacak şekilde lezyon görüntüsü ikili (binary) görüntüye dönüştürülmektedir. Bu işlem sonucu elde edilen görüntü Şekil 7 (c)'de verilmiştir. Şekil 8 (a)'da ise bölgesi seçilen kötü huylu lezyona ait iki seviyeli görüntü yer almaktadır. Bu görüntünün piksel değerleri ise Şekil 8 (b)'de verilmiştir.

Bir görüntüdeki nesneyi tanımlarken temel olarak üç yaklaşım ele alınmaktadır. Bunlar: sınır tanımlayıcılar, bölgesel tanımlayıcılar ve ilişkisel tanımlayıcılardır. Şekil 7'deki görüntüler dikkate alındığında kötü huylu lezyonun bölgesel bir alan kapladığı görülmektedir. Bu çalışmada bölgesel ve topolojik tanımlayıcılar kullanılarak lezyonun alanı, çevresi ve daireselliği hesaplanmıştır. Aşağıda bölgesel tanımlayıcılar ayrıntılı olarak açıklanmıştır.



Şekil 8 (a) Kötü huylu lezyonun iki seviyeli görüntüsü, (b) İki seviyeli görüntüye ait piksel değerleri ((a) Binary image of malignant lesion, (b) pixel values of the binary image).

3.1. Bölgesel ve Topolojik Tanımlayıcılar (Regional and Topological Descriptors)

Görüntüde bir bölgenin alanı, kapsadığı pikseller ve çevresi o bölgenin sınırının uzunluğu olarak ifade edilmektedir. Görüntüde alan ve çevre hesabı, ilgilenilen (araştırılan) bölgenin değişken olması durumunda tercih edilmektedir. Çevre ve alan ikilisi ilgilenilen bölgenin daireselliği hakkında da bilgi vermektedir. Dairesellik oranı R ,

$$R = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (18)$$

ile hesaplanır. Denklem (18)'de A ilgilenilen bölgenin alanını, P 'de çevresini temsil etmektedir. İlgilenilen bölge veya nesne tam dairesel olduğunda R değeri 1 çıkar. İlgilenilen bölge veya nesne bir kare ise R değerinin sonucunun $\pi/4$ olmaktadır. Bölge tanımlayıcılar olarak adlandırılan çeşitli parametreler mevcuttur.

Bunlar; yeşinlik seviyelerinin ortalaması, ortancası, minimum ve maksimum değerleri gibi parametrelerdir [12].

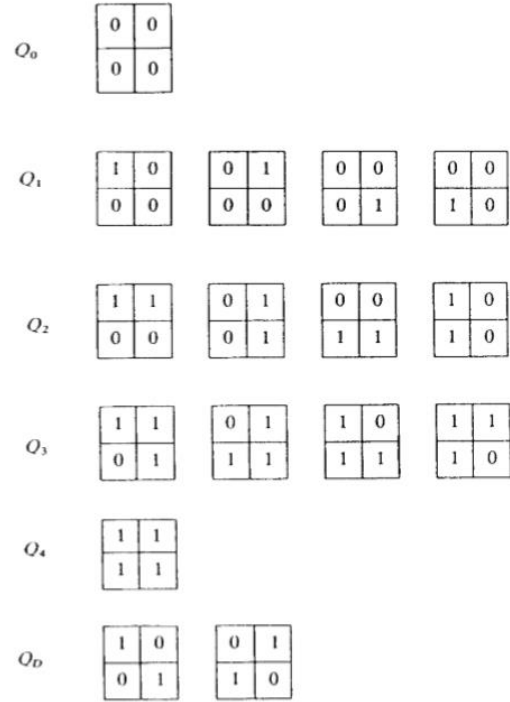
Topolojik tanımlayıcılar, görüntü üzerinde belirlenen bölgelerin global tanımlamaları için kullanılmaktadır. Topoloji genel olarak, görüntüdeki geometrik cisimlerin nitel özelliklerini ve bağıl konumlarını biçimlerinden ve büyüklüklerinden ayrı olarak ele alan bir bilim dalıdır. Meme MR görüntülerinde her hastaya ait veriler farklı boyut, çevre ve biçime sahip olduğundan, çalışmada topolojik yapılardan da yararlanılmaktadır. Elde edilen sonuçlar her hastaya göre değerlendirilip gerekli tedavi yöntemlerinin seçilmesi aşamasında verileri anlamlı hale getirmek için topolojik tanımlayıcılar büyük önem taşımaktadır.

Çalışmada topolojik ve bölgesel tanımlayıcılardan faydalanılarak geliştirilen alan, çevre ve dairesellik hesabı için kullanılan iki seviyeli bit-dörtlüsü tekniği uygulanmıştır. Bit-dörtlüsü tekniği alt bölümde açıklanmaktadır.

3.2. Bit Dörtlüsü Yöntemi (Bit Quad Method)

Gray, bir görüntüdeki bölgelere atanmış mantıksal değerlerin (1 veya 0) belirli yapılarla eşleştirmesine dayalı olarak, iki seviyeli görüntülerde nesnelere alanını ve çevresini hesaplamak amacıyla sistematik bir yöntem geliştirmiştir. Bu amaçla, her biri 0 veya 1 değerinde olan görüntü karelerinde dörtlü bit hücreleri aranmaktadır. Bir bit dörtlüsü, 2x2 boyutlarında bir dizi veri hücresinden meydana gelmektedir. Bit dörtlüleri olarak adlandırılan piksel desen kümesi Şekil 9'da verilmektedir.

Sunulan sistemde, meme MR görüntülerinde lezyon alanı belirlenen ve iki seviyeli görüntüye dönüştürülen verinin Şekil 9'da belirtilen her bit dörtlüsü deseni ile eşleştirilmesi yapılarak lezyon alanı, çevresi ve daireselliği hesaplanmaktadır. Öncelikle, her bir bit dörtlü deseni elde edilen iki seviyeli görüntü üzerinde gezdirilerek eşleşen dörtlülerin sayısı kaydedilmektedir. Daha önce de bahsedildiği gibi segmentasyon işlemi ile lezyon sınırları tespit edilmiş ve lezyonun bulunduğu bölge seçilmiş görüntüde 0 olan pikseller siyah 1 olan pikseller beyaz bölgeleri temsil eder. Lezyon, kontrast tutulumundan dolayı beyaz pikseller içermektedir.



Şekil 9. Bit dörtlü desen kümesi [21] (Bit quad pattern set [21]).

Şekil 9'da verilen desenlerden de görüldüğü gibi Q_0 deseni tamamen siyah piksellerden oluşmuştur. Dolayısıyla lezyon bölgesinde değildir ve alan için bir anlam ifade etmez. Q_1 desenleri her farklı köşesinde 1 değeri bulunan desenlerdir. Alan için bir birimlik katkı sağlayacakları açık olarak anlaşılmaktadır. Benzer şekilde Q_2, Q_3, Q_4 ve Q_5 desenleri de yorumlanabilir. Bu yorumlardan faydalanarak alan ve çevre hesabı için anlamlı ifadeler elde etmek mümkündür. Eşleşen verilerden yararlanarak belirlenen nesnenin alanı Denklem (19), çevresi ise Denklem (20) kullanılarak hesaplanabilir.

$$A_0 = \frac{1}{4} [n\{Q_1\} + 2n\{Q_2\} + 3n\{Q_3\} + 4n\{Q_4\} + 2n\{Q_5\}] \quad (19)$$

$$P_0 = n\{Q_2\} + n\{Q_1\} + n\{Q_3\} + 2n\{Q_5\} \quad (20)$$

Bu formüller Duda tarafından geliştirilmiştir. Son olarak, elde edilen lezyon alan ve çevresinden faydalanarak Denklem (21) ile lezyon daireselliği hesaplanmaktadır.

$$C_0 = \frac{4\pi A_0}{(P_0)^2} \quad (21)$$

Bit dörtlüsü yöntemi kullanılırken dikkat edilmesi gereken husus şudur. Eğer görüntünün boyutları uygun değilse bit dörtlüsünün tam olarak görüntüde gezdirilmesi için görüntünün boyutları ayarlanmalıdır [20].

4. GELİŞTİRİLEN HASTANE OTOMASYON SİSTEMİ (DEVELOPED HOSPITAL AUTOMATION SYSTEM)

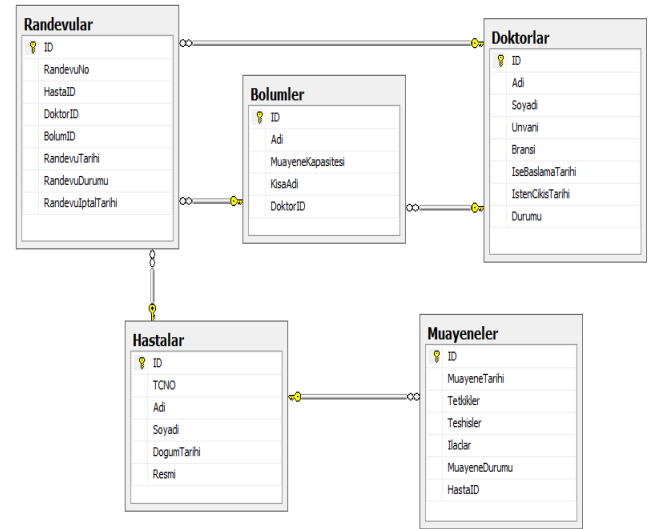
Bu çalışmada meme kanserinin teşhisinde ve tedavi yönteminin belirlenmesinde radyologlara ilave bilgi sağlayıcı bir otomasyon sistemi geliştirilmiştir. Bu amaçla öncelikle, birinci bölümde açıklanan farklı segmentasyon yöntemleri meme MR görüntülerine uygulanmaktadır. Dört farklı yaklaşımla lezyon sınırları belirlendikten sonra ikinci bölümde detayları ile anlatılan alan hesaplama tekniği bit dörtlüsü yöntemi sayesinde lezyon alanı hesaplanmaktadır. Lezyon alanının hesaplanmasında kullanıcıya istediği bölgeyi seçme olanağı sağlanmaktadır. Bu bölümde amacımız geliştirilen otomasyon sistemi anlatmaktır. Geliştirilen otomasyon sistemi temel olarak aşağıda verilen adımlar kullanılarak tasarlanmıştır:

1. T-SQL dili kullanılarak veri tabanının oluşturulması,
2. C # dili ile otomasyon sisteminin yazılımının hazırlanması,
3. C # ekranında belirtilen segmentasyon yöntemlerinin Matlab ortamında yazılması,
4. SQL-C # ve C # -Matlab bağlantısının kurulması.

Görüldüğü gibi ilk aşamada SQL ile bir veri tabanı oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu veri tabanı üzerinde verileri güncelleme, silme, yedekleme vb. işlemler bir sistemle kontrol edilmektedir. Bu sisteme veri tabanı yönetim sistemi denilmektedir. Veri tabanı yönetim sistemi, fiziksel hafızayı ve veri tiplerini kullanıcılar adına şekillendirip denetleyen ve kullanıcılarına standart bir SQL ara yüzü sağlayarak onların dosya yapıları, veri yapısı, fiziksel hafıza gibi sorunlarla ilgilenmek yerine veri giriş-çıkışı için uygun ara yüzler geliştirmelerine olanak sağlayan yazılımlardır. Çalışmada Microsoft SQL Server 2008 R2 kullanılmaktadır.

Otomasyon sisteminin tasarımının başlangıcında sisteme girilecek veriler için tablolar oluşturulmaktadır. Bu tablolara girilecek verilerin (örneğin; doktor isminin) türlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

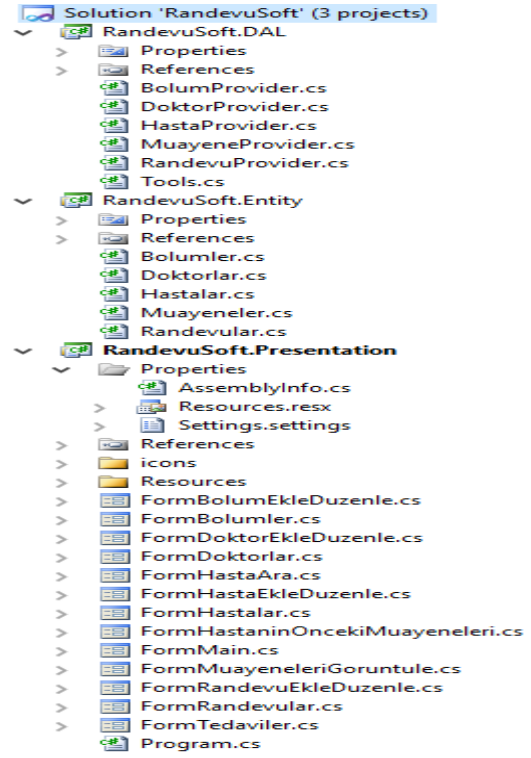
Şekil 10'da geliştirilen hastane otomasyonunun tüm tabloları ve tabloların birbirleriyle olan bağlantıları gösterilmektedir. Bu çalışmada, ilk aşamada beş adet tablo oluşturulmuştur. Geliştirilmek istenirse sisteme muhasebe kısmı, ilaç takip sistemi vb. için gerekli tablolar da eklenebilir. Gerekli veri tabanını oluşturduktan sonra kullanıcının işlem yapacağı sisteme dönüştürmek için C# form uygulamalarından faydalanılmaktadır.



Şekil 10. Geliştirilen hastane otomasyon sisteminin bütün tabloları (All tables of developed hospital automation system).

Bu çalışmada, sınıflar ve sistem için gerekli olan diğer yapılar (metodlar, alanlar, özellikler) oluşturulurken Nesne Yönelimli Programlama (Object Oriented Programming, OOP) mantığı kullanılmıştır. OOP bir görevi gerçekleştirmek için birbirleriyle etkileşime giren nesnelere dayalı bir yazılım geliştirme yaklaşımıdır. Bu etkileşimin temel yapısı nesnelere arasında mesajın gönderilmesi ve geri alınması biçimindedir. Bir nesne verilen bir mesaja tepki olarak bir fonksiyonu ya da işlemi aktif etmektedir. Sistemin ana yapısında çok (n) katmanlı mimari (n-tier architecture) yapısı modelinden esinlenilmiştir. Üç katmanlı yapıda, veri katmanı (data layer (DAL)), iş katmanı (business layer (Entity)) ve sunum katmanından (Presentation layer) yararlanılmaktadır. Yararlanılan katmanları kısaca,

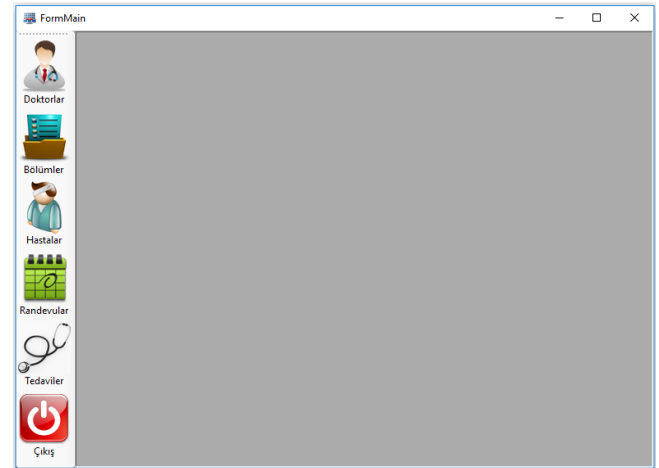
- Veri katmanı (Data Layer): Bu katman bir uygulamanın verilerini depolayan kısmıdır.
- İş Katmanı (Business Layer): Sunum katmanı ile veri katmanı arasında köprü işlevi görmektedir.
- Sunum Katmanı (Presentation Layer): Bir uygulama ile kullanıcıların etkileşimde olduğu katmandır.



Şekil 11. 3 katmanlı mimari yapısı (3-layer architectural structure).

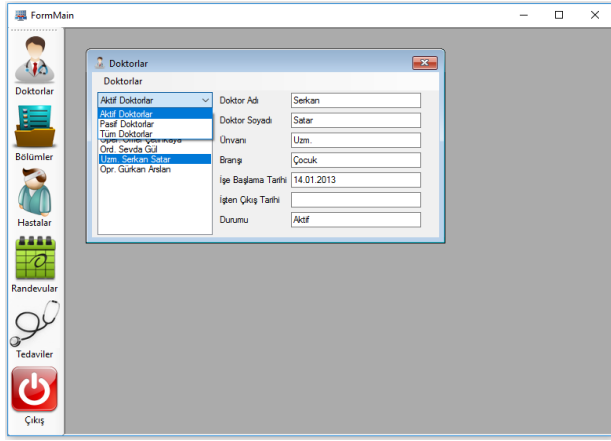
Şekil 11’de kullanılan üç katmanlı mimari yapısının genel görüntüsü yer almaktadır. Sistemin bu adımları gerçekleştirildikten sonra sunum katmanında kullanıcı ekranları tasarlanmakta ve sistem oluşturulmaktadır. Şimdi kullanıcı için tasarlanan ekranları açalım.

Ana Ekran: Sunum katmanında tasarlanan ilk kullanıcı ekranı Şekil 12’de görülmektedir. Bu ekranda uygulamaya resimli araç çubuğu eklemek için sol tarafta “tool strip menu” aracı (tool) kullanılmaktadır. Araç çubuğundaki ilk buton “Doktorlar” butonudur. Bu buton tıklandığında aktif ya da pasif durumda bulunan hastanedeki tüm doktorları gösteren bir ekran karşımıza çıkacaktır. Bu ekran üzerinden yeni doktor bilgileri ekleme, güncelleme ve silme işlemleri de yapılmaktadır. Araç çubuğundaki ikinci satırda bölümler sekmesi yer almaktadır. Bu buton tıklandığında hastanenin aktif-pasif tüm bölümlerini içeren bir ekran açılmaktadır. Ayrıca bu ekranda yeni bölüm ekleme, silme ve güncelleme işlemleri de yapılmaktadır. Araç çubuğundaki üçüncü satırdaki “Hastalar” sekmesi aktif edildiğinde, tüm hastaların listesinin bulunduğu bir ekran gelmektedir. Burada yeni hasta ekleme, güncelleme ve silme işlemleri yapılmaktadır. Araç çubuğundaki dördüncü satırda “Randevular” sekmesi yer almaktadır. Bu buton aktif edildiğinde randevuları içeren bir ekran çıkmaktadır. Bu ekranda yeni randevu ekleme, güncelleme ve silme işlemleri yapılabilmektedir. Araç çubuğunun beşinci satırında yer alan “Tedaviler” kısmı aktif edildiğinde muayene bekleyen hastaların olduğu bir ekran yer almaktadır. Bu kısım şuan için sadece meme MR görüntülerindeki lezyonu belirlemek ve gerekli ölçümleri yapmak için tasarlanmıştır. Araç çubuğunda son satırda yer alan “Çıkış” sekmesi aktif olduğunda sistem kapanmaktadır.



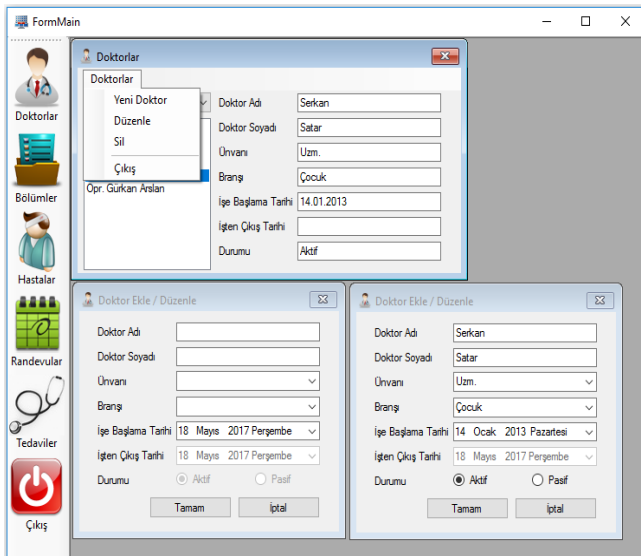
Şekil 12. Kullanıcı başlangıç ekranı (User starting screen).

Doktorlar Ekranı: Ana ekranda “Doktorlar” butonuna tıklandığında aktif edilen ekrandır. Şekil 13’de doktorlar butonu aktif olduğunda kullanıcının karşılaşılabileceği ekran yer almaktadır. Burada yedi adet “text box”, yedi adet “label”, bir adet “list box”, bir adet “combo box” ve bir adet “tool script menu” yer almaktadır. Şekil 13’deki görüntü “combo box” aracına tıklandığında elde edilen görüntüdür. Burada tüm, aktif ve pasif doktorların oluşturduğu üç bölüm yer almaktadır. Bu şekilde tüm doktorlar seçilmektedir ve tüm doktorların listesi “list box”ta gösterilmektedir.



Şekil 13. Doktorlar ekranı (Doctors screen).

Örneğin; Şekil 13’de “list box” tan Uzm. Serkan Satar seçilmiştir. Seçimi yapılan doktor bilgileri sağ tarafta “text box” larda yer almaktadır. “combo box”ta seçimi “Aktif Doktorlar” yaptığımızda hastanede mevcut olan doktorlar “list box”ta sıralanmaktadır. Aynı durum “combo box”ta da “Pasif Doktorlar” sekmesinin seçimiyle de gerçekleşmektedir. Yani hastanede olmayan veya izinli olan doktorların listesi “list box” altında yer alacaktır. Şekil 13’de “combo box” ın üstünde yer alan “Doktorlar” adındaki “tool script menu”ye tıkladığında ise Şekil 14’deki ilk ekran görülmektedir. Bu araç çubuğunda doktorlarla ilgili doktor ekleme, listeden doktor silme ya da doktor bilgilerini güncelleme işlemleri rahatlıkla yapılabilmektedir.

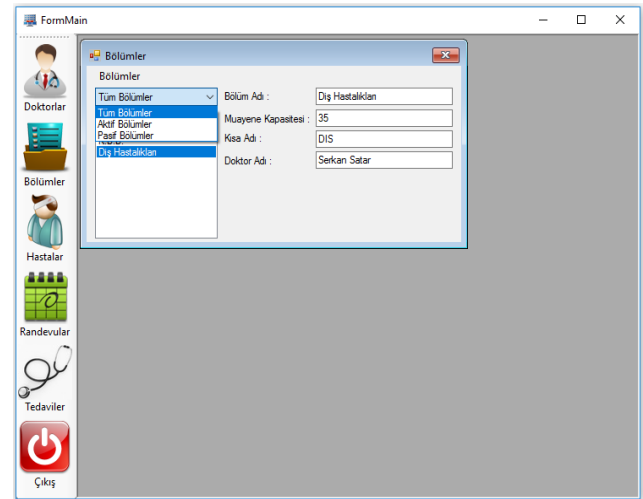


Şekil 14. Doktor ekleme, silme ve güncelleme ekranı (Doctor adding, deleting and updating screen).

Bölümler Ekranı: Ana ekranda “Bölümler” butonuna tıkladığında aktif edilen ekrandır. Şekil 15’de bölümler butonu aktif olduğunda kullanıcının karşılaşıcağı ekran verilmiştir.

Burada dört adet “text box”, dört adet “label”, bir adet “list box”, bir adet “combo box” ve bir adet “tool script menu” yer almaktadır. Şekil 15’de “combo box” aracına tıklanmış görüntü yer almaktadır. Butonda tüm, aktif ve pasif bölümlerin oluşturduğu üç bölüm yer almaktadır. Bu araç çubuğunda bölümlerle ilgili üç adet işlem yapılabilmektedir. Bu işlemler bölüm ekleme, düzenleme ve silme işlemleridir.

Hastalar Ekranı: Ana ekranda “Hastalar” butonuna tıkladığında aktif hale gelen ekrandır. Şekil 16’da hastalar butonu aktif olduğunda kullanıcının karşılaşıcağı ekran yer almaktadır. Burada dört adet “text box”, beş adet “label”, bir adet “picture box”, bir adet “combo box”, bir adet “data grid view” ve bir adet “tool script menu” yer almaktadır.

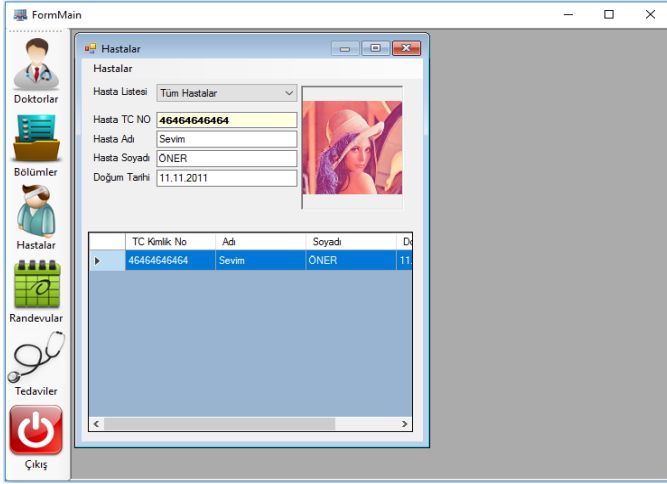


Şekil 15. Bölümler ekranı (Departments screen).

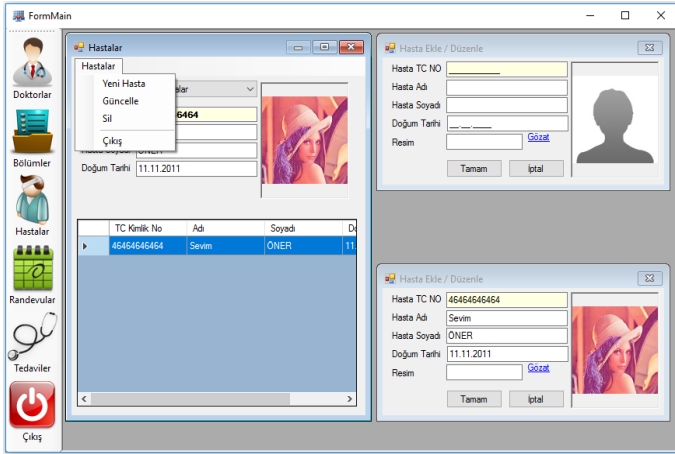
Şekil 16’da “combo box” ta “Tüm Hastalar” sekmesi aktif edilmiştir ve tüm bölümlerin listesi “list box”ta gösterilmektedir. Örneğin; Şekil 16’da “data grid view” den tüm hastaların içinden “Sevim Öner” seçilmiştir. Seçimi yapılan hasta bilgileri yukarıda “text box” larda yer almaktadır. Şekil 16’da “combo box” ın üstünde yer alan “Hastalar” adındaki “tool script menu”ye tıkladığında ise Şekil 17’deki ilk ekran görülmektedir. Bu araç çubuğunda hastalarla ilgili üç adet işlem yapılabilmektedir. Bu işlemler hasta ekleme, hasta bilgileri düzenleme ve silme işlemleridir.

Randevu Ekranı: Ana ekranda “Randevular” butonuna tıkladığında aktif edilen ekrandır. Şekil 18’de randevular butonu aktif olduğunda kullanıcının karşılaşıcağı ekran yer almaktadır. Burada on adet “text box”, on dört adet “label”, bir adet “data grid view”, üç adet “combo box”, bir

adet “picture box”, iki adet “group box”, bir adet “check box”, iki adet “button” ve bir adet “tool script menu” yer almaktadır. Ekran ilk açıldığında “data grid view” de sistemdeki tüm randevular gözükmektedir. Şekil 18’de gösterildiği gibi “combo box” aracına tıklanırsa eğer bu aracın içindeki seçeneklerin açıldığı görülür. Burada, “Detaylı Ara”, “Bu Günün Randevuları”, “Zamanı Geçmiş Randevular” ve “İptal Edilen Randevular” gibi dört adet seçenek yer almaktadır. Bu ekranda yine ekleme, güncelleme ve silme işlemleri yapılabilmektedir.



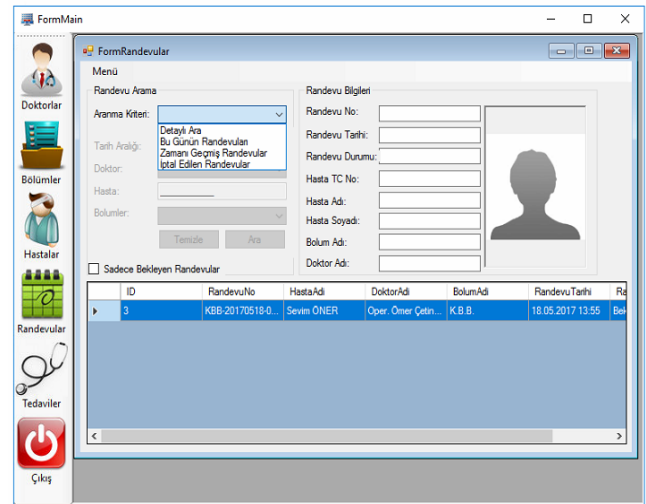
Şekil 16. Hastalar ekranı (Patients screen).



Şekil 17. Hasta ekleme, silme ve güncelleme ekranı (Patient adding, deleting and updating screen).

Tedaviler Ekranı: Ana ekranda “Tedaviler” butonuna tıklandığında aktif edilen ekrandır. Tedaviler ekranında dokuz adet “text box”, on iki adet “label”, on üç adet “picture box”, yedi adet “group box”, dört adet “radio button”, bir adet “numeric up down”, bir adet “link label”, dört adet “button” ve bir adet “tool script menu” yer almaktadır. Buraya kadar anlatılan ekranlarda genel hastane sistemi bilgileri yer almaktadır. Sistemin en can alıcı noktası aslında bu ekranda gerçekleşmektedir. Bu ekranda radyologlara

meme kanserinin sınırlarının belirlenmesi ve lezyonun olduğu alan, çevre ve dairesellik hakkında bilgi veren bir ekran tasarlanmıştır. İlk önce “Bölüm/Doktor Bilgisi” adındaki “group box” içindeki bölüm ve doktorlar belirlenmektedir. Bu işlem gerçekleştirildikten sonra muayene bekleyen hastalar “data grid view” da sıralanır. Bir hasta seçildiğinde “Segmentasyon İşlemleri” ve “Randevu Durumu” isimindeki “group box”lar aktif olacaktır. Seçilen hasta eğer muayeneye gelmediyse direkt olarak “Hasta Randevuya Gelmedi” isimli “radio button” aktif edilerek işlem tamamlanır. Hasta muayeneye geldi ise “data grid view” da hasta seçilerek “Segmentasyon İşlemleri” işlemine başlamak için hastaya ait meme MR görüntüsü kayıtlı olan adresten seçilmelidir. Seçimi yapılan bu görüntüye segmentasyon adımı uygulanması için “Otsu Thresholding”, “FCM”, “k-Means” veya “Region Growing” isimli “radio button” lardan istenilen yöntem seçilir.



Şekil 18. Randevular ekranı (Appointment screen).

Örneğin; Şekil 19’da “Gülce DENİZ” adında bir hasta randevuya gelmiş olsun. Bu hastanın meme MR görüntüsü “Gözet” isimli “link label” a tıklanarak “picture box” ta görüntülenmektedir. Segmentasyon adımı için “Otsu hresholding” isimli “radio button” atif edilerek ve “Küme Sayısı” isimli “numeric up down” da küme sayısı seçilerek segmentasyon işlemi başlatmak için “Tamam” “button” nuna basılır. Şekil 20’de seçilen segmentasyon yönteminin sonuçlarının yer aldığı görüntüler “Segmentasyon Sonuçları ve Seçim” isimli “group box” ta verilmiştir. “group box” içerisinde “numeric up down” da seçtiğimiz sayı olan sekiz değerine kadar olan bütün eşikleme sonuçları yer almaktadır. Örneğin; Şekil 21’de küme sayısı sekiz olan görüntü seçilmiştir. Seçilen

bu görüntü “Seçilen Görüntü” ismindeki “group box”ta görülmektedir. Uzman, bu görüntüde lezyon alanını belirleyip “Resmi Kırp” isimli “button”a basarak lezyon alanını kesmektedir. “Sonuçlar” ismindeki “group box”ta kesilen lezyonun orijinal hali ve sağ tarafta ise iki seviyeli görüntüsü yer almaktadır. Bu iki görüntünün altında lezyon bilgilerini içeren alan, çevre ve dairesellik hesabı yer almaktadır. Bu bilgiler dâhilinde uzman kişinin yorumlamasıyla hastanın teşhis, tetkik ve ilaç bilgileri girilerek hastanın muayene işlemi tamamlanıp “Kaydet” isimli “button”a tıklanarak muayene tamamlanır.



Şekil 4.25 Hasta seçimi yapılmış tedaviler ekranı (Patient selected treatments screen).

Yukarıda C# programı kullanılarak tasarlanan sistem ve sistemin gerçekleştirdiği işlevler açıklanmaktadır. Bu ekranlar bir hastanenin yönetimi için genel adımları teşkil etmektedir. Sistemin bizim için en önemli olan kısmı “Tedaviler” ekranıdır. Burada meme MR görüntüleri dört farklı segmentasyon yönteminden biri seçilerek gerçekleştirilmektedir. Ancak segmentasyon yöntemlerinin gerçekleştirme aşaması C# uygulaması ile sağlanmamaktadır. Yöntemlere ait fonksiyonlar Matlab 2017a programında oluşturulmuş ve kullanılmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND RESULTS)

Bu çalışmada, ülkemizde ve tüm dünyada özellikle kadınlar arasında en sık görülen kanser türlerinin başında gelen meme kanserinin teşhisine ve tedavi yönteminin belirlenmesine destek sağlayıcı yazılım tabanlı bir sistem geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, meme kanserinin teşhisinde yaygın olarak kullanılan modalitelerden biri olan MRG ile elde edilen görüntüler kullanılmaktadır. MR görüntülerine bazı görüntü işleme ve makine öğrenmesi teknikleri uygulanarak radyologlara faydalı bilgi sunulmaktadır. Çalışmada, veri seti olarak 20 farklı hastaya ait meme MR görüntülerinden yararlanılmaktadır. Kullanılan görüntüler daha önceden uzman radyologlar tarafından incelenmiş ve memede lezyon olup olmadığı varsa boyutlarının ne kadar olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla, sistemin performansını değerlendirmede radyologların yaptığı etiketlemeler kullanılmaktadır.

Çalışmada kullanılan yöntemler incelendiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır: Otsu eşikleme yöntemi hızlı ve görsel olarak farklı seçenekler sunarak uzmana lezyonu farklı açılardan inceleme imkânı sunan bir yöntemdir. FCM yöntemi diğer yöntemlere kıyasla hız bakımından yavaştır ancak segmentasyon sonucunda ürettiği görüntüde lezyonun kapladığı alanını mutlak bir şekilde belirginleştirmektedir. k-Ortalama yöntemi 3-kanallı olarak segmentasyon yapmasına rağmen performansı hızlıdır. Bu yöntem de Otsu eşiklemede olduğu gibi orijinal görüntüye çok farklı açılardan bakış sağlayan segmentasyon sonuçları üretmektedir. RG yöntemi ise, performans bakımından en hızlı cevap veren yöntemdir.

Çünkü çekirdek seçme aşaması sayesinde istenilen sonuç direk hedef alınarak uygulama başlatılmaktadır. Segmentasyon sonucunda ise FCM de olduğu gibi lezyonun kapladığı alanı net bir şekilde belirginleştirmektedir. Makalede alan sınırlı MR görüntüleri ve diğer modaliteler için geliştirilmiş hali hazırda çeşitli kurumlar tarafından kullanılan sistemler ve ara yüzler mevcuttur. Ancak yapılan araştırmalar neticesinde kullanılan mevcut sistemlerde iyileştirmeler yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada amaç, uzmanlara MR görüntülerinin farklı açılardan inceleme olanağı sağlamaktır. Bunu yaparken en hızlı, kolay ve anlaşılır şekilde faydalı

bilgiler sunmak esastır. Çalışmada açıklanan aşamalar sayesinde tüm kullanıcıların rahat bir şekilde erişebileceği ve işlem yapabileceği bir hastane otomasyon sistemi geliştirilmiştir. Sistem bu haliyle sadece çalışmanın amacı ile ilgili sınırlı işlemleri kapsasa da geliştirilmeye oldukça açık bir şekilde tasarlanmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarımızda hedefimiz lezyon sınırlarını belirlemekle kalmayıp lezyona ait karakteristikleri elde ederek teşhis aşamasına kadar tüm işlemleri otomatik olarak gerçekleştirip uzmana bir rapor hazırlayan tümleşik bir sistem oluşturmaktır.

FormMain - (FormTedaviler)

Menü

Bölüm/Doktor Bilgisi

Bölümler: Radyoloji Doktorlar: Ord. Seveda Gül

Muayene ID	Randevu No	HastaAdı	Hasta ID	Randevu Tarihi	Rat Dur
5	RAD-20170519-001	Gulce DENIZ	2	19.05.2017 11:03	Bek

Resim: C:\Users\Seveda GUL\Desktop\4-Sol-49x89.png

Segmentasyon İşlemleri

Otsu Thresholding FCM k-Means Region Growing

Küme Sayısı: 8

Tamam İptal

Segmentasyon Sonuçları ve Seçim

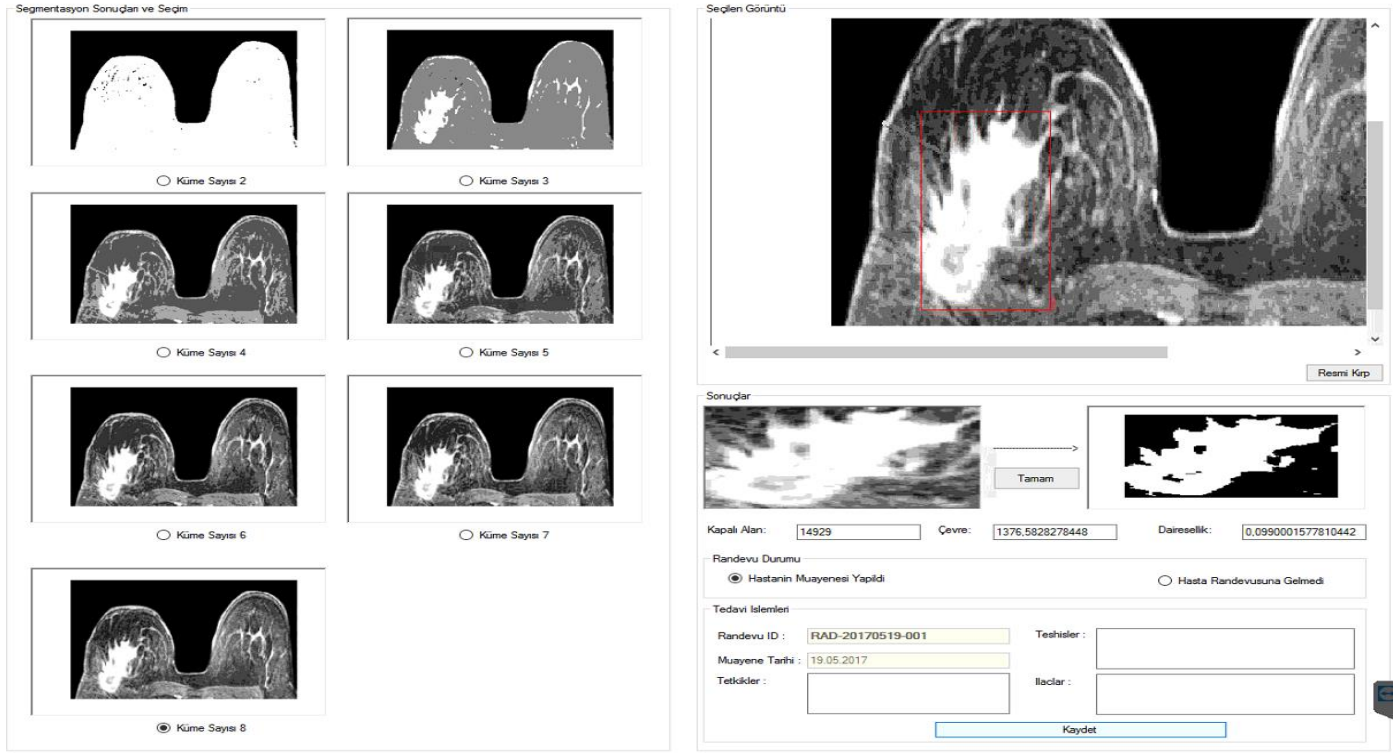
Küme Sayısı 2 Küme Sayısı 3

Küme Sayısı 4 Küme Sayısı 5

Küme Sayısı 6 Küme Sayısı 7

Küme Sayısı 8

Şekil 20. Hasta seçimi yapılmış ve segmentasyon işleminin sonuçlarının yer aldığı tedaviler ekranı (Patient selected treatments screen which includes segmentation process results).



Şekil 21. Lezyon alanının, çevresi ve daireselliği değerlerinin hesaplandığı tedaviler ekranı (Treatments screen in which lesion area, perimeter and circularity values are calculated).

KAYNAKÇA

- [1] Dünya Sağlık Örgütü Uluslararası Ajansı, "Meme Kanseri İstatistikleri" <http://www.wcrf.org/int/cancer-facts-figures/data-specific-cancers/breast-cancer-statistics>. Erişim Tarihi: 06.04.2016.
- [2] Türkiye Halk Sağlığı Kurumu Kanser Daire Başkanlığı, "Türkiye Kanser İstatistikleri" http://kanser.gov.tr/Dosya/ca_istatistik/ANA_rapor_2013v01_2.pdf. Erişim Tarihi: 06.04.2016.
- [3] http://www.breastcancer.org/symptoms/understand_bc/what_is_bc. Erişim Tarihi: 07.04.2017.
- [4] Gnonnou, C., Smaoui, N., "Segmentation and 3D Reconstruction of MRI Images For Breast Cancer Detection", IEEE Ispas' 14: International Image Processing Applications and Conference, 2014.
- [5] Fooladivanda, a., Shokouhi, S. B., Ahmadinejad N., and Mosavi, M. R., "Automatic segmentation of breast and fibroglandular tissue in breast MRI using local adaptive thresholding," 2014 21st Iran. Conf. Biomed. Eng. ICBME 2014, no. Icbme, pp. 195–200, 2014.
- [6] Fooladivanda, A., Shahriar, S. B., Ahmadinejad, N., Mosavi, M. R., "Atlas-Based Automatic Breast MRI Segmentation using Pectoral Muscle and Chest Region Model", 21st Iranian Conference on Biomedical Engineering, 2014.
- [7] Merida, A., G., Kallenber, M., Mann, M. R., Mart, R., Karssemeijer N., "Breast segmentation and density estimation in breast MRI: A Fully Automatic Framework", IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 19:1:349-357, 2015.
- [8] Khalvati, F., Gallego C., Balasingham, S., and Martel, A., "Automated Segmentation of Breast in 3D MR Images Using a Robust Atlas," IEEE Trans. Med. Imaging, vol. 34, no. 1, pp. 116–125, 2014.

- [9] Ribes S., et al., “Automatic segmentation of breast MR images through a Markov random field statistical model.,” *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 62, no. c, pp. 1986–1996, 2014.
- [10] Ertaş, G., Demirgüneş, D. D., Eroğul, O., “Conventional and Multi-State Cellular Neural Networks in Segmenting Breast Region from MR Images: Performance Comparison”, *Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)*, 2012 International Symposium on, 2012.
- [11] Pratt, W., K., *Processing Digital Image Processing*, vol. 5, no. 11. 2001.
- [12] Norouzi A., et al., “Medical image segmentation methods, algorithms, and applications,” *IETE Tech. Rev.*, vol. 31, no. 3, pp. 199–213, 2014.
- [13] Gonzalez, R., and Woods R., *Digital image processing*. 2014.
- [14] Gül, S., ÇETİNEL, G., “Detection of Lesion Boundaries in Breast Magnetic Resonance Imaging with Otsu Thresholding and Fuzzy C-Means”, *3rd International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT)*, 2017.
- [15] Otsu, N., “A threshold selection method from gray-level histograms,” *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, vol. 9, no. 1, pp. 62–66, 1979.
- [16] <http://www.aboutcancer.com/breastmriimages.htm>: Erişim Tarihi: 02.05.2017
- [17] Işık, M., Çamurcu, Ali Yılmaz, “K-means, ve aşırı küresel c-means algoritmaları ile belge madenciliği”, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22:2010, , pp. 1-18, 2010.
- [18] Pham, D. L., Xu, C., and Prince, J. L., “A survey of current methods in medical image segmentation,” *Annu. Rev. Biomed. Eng.*, vol. 2, no. 315–337, pp. 315–337, 2000.
- [19] Maintz, T., “Chapter 10. Segmentation,” *Digit. Med. Image Process.*, 2005.
- [20] Gray, S. B., “Local Properties of Binary Images in Two Dimensions,” *IEEE Trans. Comput.*, vol. C-20, no. 5, pp. 551–561, 1971.

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://www.saujs.sakarya.edu.tr		
	<u>Geliş/Received</u> 13.10.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 29.12.2017	Doi 10.16984/saufenbilder.343739	

Wi-Fi ve Bluetooth Frekansları için özgün PIF Anten içeren Akıllı Saat Tasarımı ve El Modeli Üzerinde Analizi

Muhammet Hilmi Nisanci^{*1}, Ahmet Yahya Teşneli², Nigar Berna Teşneli³, Emre Gürler⁴

ÖZ

Sunulan çalışmada Wi-Fi ve Bluetooth teknolojilerini aynı anda destekleyen, düzlem toprak yüzeyine sahip özgün düzlemsel ters F anten (PIF Anten) tasarımı ve elektriksel simülasyonları yapılmıştır. Özgün anten modelinin fiziksel parametreleri 2.47 GHz çalışma frekansı için elde edilmiş ve 3cm x 3cm x 1cm boyutlarına sahip akıllı saat içine konumlandırılmıştır. PIF anten ve akıllı saat için yansıma katsayısının frekansla değişimi incelenmiş ve akıllı saat modelinin antenin performansında önemli bir değişikliğe sebep olmadığı görülmüştür. Daha sonra yetişkin bir insan eli modelinin üzerinde analiz edilen tasarımın üç farklı aşaması için 2D ve 3D yönlendiricilik örüntüleri elde edilerek karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: anten tasarımı, PIF anten, Wi-Fi, bluetooth, akıllı saat, el modeli

A Smartwatch Design with a Noval PIF Antenna for Wi-Fi and Bluetooth Frequencies and Analysis on a Human Hand Modal

ABSTRACT

In the presented study, the design and electrical simulations of a noval planar inverted F antenna (PIFA) with plane ground surface supporting both Wi-Fi and Bluetooth technologies were performed. The physical parameters of the noval antenna model were obtained for the 2.47 GHz operating frequency, and the antenna was positioned in a smartwatch with dimensions of 3cm x 3cm x 1cm. The variation of reflection coefficient due to frequency for PIFA and smartwatch was investigated and it was seen that the smartwatch model does not cause a significant change in antenna performance. Then, 2D and 3D directivity patterns are obtained and compared for three different steps of the design that is analysed on an adult human hand.

Keywords: antenna design, PIF antenna, Wi-Fi, bluetooth, smartwatch, hand modal

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Sakarya University, Department of Electrical & Electronic Engineering, Sakarya - nisanci@sakarya.edu.tr

² Sakarya University, Department of Electrical & Electronic Engineering, Sakarya - atesneli@sakarya.edu.tr

³ Sakarya University, Department of Electrical & Electronic Engineering, Sakarya - btesneli@sakarya.edu.tr

⁴ Sakarya University, Department of Electrical & Electronic Engineering, Sakarya - b130100304@sakarya.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

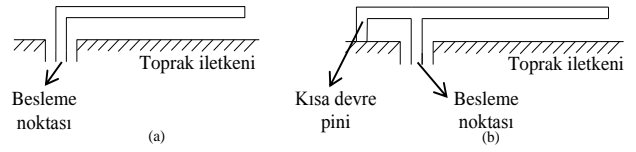
Önceleri askeri alanlarda kullanılan giyilebilir teknolojiler spor, sağlık ve oyun sektörlerinde yaptıkları çıkışla günlük hayatta da yaygın olarak yer almaya başlamışlardır [1]-[3]. Adından da anlaşılacağı gibi bu teknolojiler normalde elde tutulan teknolojik aygıtları gündelik hayatta kullandığımız saat, gözlük, bileklik, spor aksesuarları vb. ürünlere yerleştirilerek bu ürünlerin yepyeni işlevler kazanmalarına ve birçok farklı ihtiyacı karşılamalarına olanak sağlamaktadırlar. Giyilebilir teknolojilerin başında akıllı saatler, akıllı bileklikler ve bantlar, akıllı gözlükler, akıllı takılar ve akıllı lensler gelmektedir [3]-[5]. Bu cihazlar içinde bulundukları sensörlerden aldıkları verileri Wi-Fi veya bluetooth gibi kablosuz bağlantılarla akıllı telefonlara aktarmaktadır [6]-[8]. Bu çalışmada akıllı saatler için Wi-Fi ve bluetooth teknolojilerini aynı anda destekleyen özgün PIF anten tasarımı sunulmuş, önerilen antenin akıllı saate entegre edilmesi durumunda performans değişimi frekansa bağlı yansıma katsayıları dikkate alınarak incelenmiştir. Tasarımlarda yüksek performanslı bir elektromanyetik simülasyon programı olan Computer Simulation Technology (CST) ticari paket programı kullanılmıştır [9]. Akıllı saat modeli daha sonra insan kolu üzerine konumlandırılmış ve çalışma frekansındaki akım dağılımlarından üç boyutlu (3D) yönlendiricilik örüntüleri elde edilmiştir.

2. TASARIM VE ANALİZLER (DESIGN AND ANALYSIS)

Mobil uygulamalarda sıklıkla kullanılan PIF antenler Şekil 1b'de gösterildiği gibi iki tane ters L-tipi antenin (Planar Inverted L-Antenna, PIL) uç uca eklenmesi ile elde edilir. Böylece PIL antenlerin düşük olan giriş dirençleri artırılmış olur ve antenin empedans uyumu ek bir devre gereksinimi olmadan besleme noktasının konumuna bağlı olarak sağlanır [10].

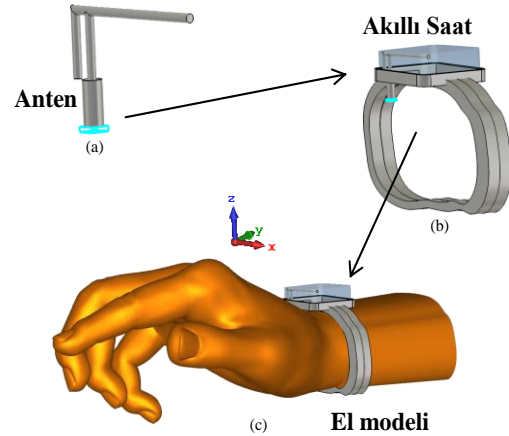
PIF antenlerin elektriksel karakteristikleri ve fiziksel parametrelerinin çalışma frekansı üzerindeki etkileri detaylı olarak çalışılmıştır [10]-[13]. Literatürde toprak iletkeni olarak tel yerine düzlem kullanılması ile antenin çalışma frekansının artırıldığı, kısa devre pininin antenin uç kısmına konumlandırılması ile antenin

boyutunun küçüldüğü ve çapının büyütülmesi ile antenin çalışma frekansının düşürüldüğünü gösteren çalışmalar mevcuttur [10], [12]-[13].

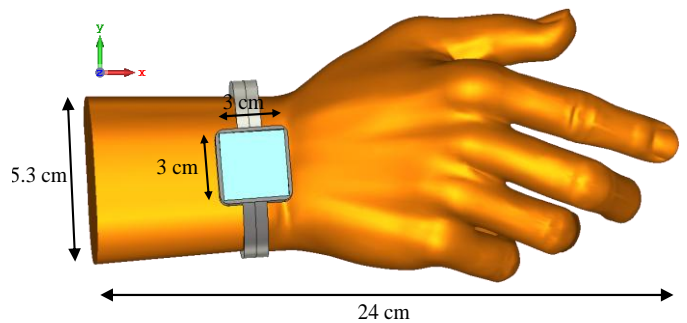


Şekil 1. Düzlem toprak yüzeyine sahip (a) ters L anten, (b) ters F anten ((a) inverted L antenna, (b) inverted F antenna with a planar ground surface)

Sunulan çalışmada tasarımlar Şekil 2'de gösterildiği gibi üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada sadece PIF antenin tasarımı üzerinde durulmuş ve istenilen çalışma frekansı için antenin fiziksel parametre değerleri elde edilip anten performansı incelenmiştir. İkinci aşamada ise elde edilen PIF anten akıllı saatin içine yerleştirilip saatin anten performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Son aşamada ise tasarımları ve elektriksel analizleri yapılan akıllı saat insan kolu üzerine konumlandırılıp çalışma frekansındaki uzak alan sonuçlarından antenin performansı incelenmiştir.



Şekil 2. Tasarımları yapılan (a) PIF anten, (b) akıllı saat ve (c) akıllı saatin konumlandırıldığı el modeli (The designed (a) PIF antenna, (b) smartwatch and (c) hand model in which the smartwatch is positioned)

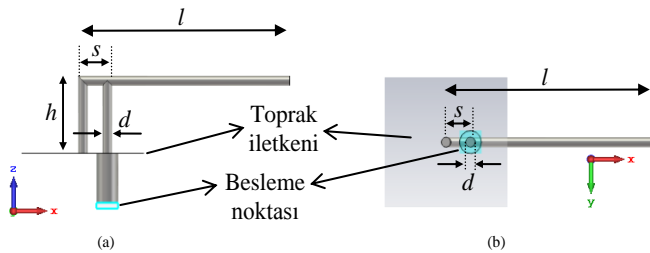


Şekil 3. Akıllı saat ve el modelinin fiziksel boyutları (Physical dimensions of the smartwatch and hand model)

2.1. 2.47 GHz Wi-Fi ve Bluetooth PIF Anten Tasarımı (2.47 GHz Wi-Fi and Bluetooth PIF Antenna Design)

Akıllı telefonlar gibi günlük hayatın vazgeçilmezleri arasında hızla yer almaya başlayan akıllı saatler, bileklikler ve bantlar benzeri giyilebilir teknoloji içeren ürünler Wi-Fi, bluetooth, GPS, GSM vb. birçok haberleşme frekanslarında çalışan antenler içermektedir. Ancak söz konusu ürünlerin küçük fiziksel boyutlara sahip olması antenlerin tasarımları ve konumlandırılmalarını oldukça zor ve önemli hale getirir. Yapılan çalışmada Şekil 3'te boyutları verilen (3cm x 3cm x 1cm) akıllı saat için merkez frekansı 2.47 GHz, bant genişliği 3.2% (2.43-2.51 GHz) olan, koaksiyel konnektör ile beslenen, iletken yüzey üzerine yerleştirilmiş bir PIF anten tasarımı önerilmektedir. Antenin bant genişliği hem bluetooth hem de Wi-Fi haberleşme frekanslarını kapsayacak şekilde seçilip saatin fiziksel boyutlarının küçük olması nedeni ile kısıtlı olan alana tek antenli çözüm üretilerek avantaj sağlanmaktadır.

Antene ait tasarım parametreleri; antenin besleme boşluğu (s), antenin toprağa uzaklığı (h), besleme iletkeninin çapı (d) ve anten uzunluğu (l) olmak üzere saate yerleştirilecek PIF anten geometrisi Şekil 4'te gösterildiği gibidir. Besleme iletkeninin çapı ve anten uzunluğuna bağlı olarak PIF antenlerin çalışma frekansı yaklaşık olarak Eşitlik 1'den hesaplanabilir [10]. Ancak literatürde Eşitlik 1'de kullanılmayan antenin besleme boşluğu ve antenin toprağa uzaklığı parametrelerinin empedans uyumunun rezonans frekansı civarında sağlanabilmesi için önemli olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur [10]-[13]. Bu nedenle önerilen PIF antenin 2.47 GHz çalışma frekansı için parametre değerleri CST programının "Parameter Sweep" menüsü kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 4. Düzlem toprak yüzeyine sahip PIF anten geometrisi ve parametreleri (a) yan görünüş, (b) alt görünüş. (PIF antenna geometry with planar ground surface and parameters (a) side view, (b) bottom view.)

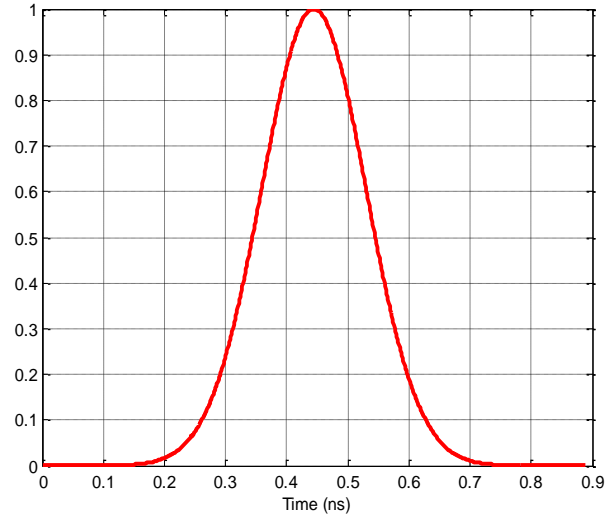
$$f_r = \frac{c}{4(\ell + d)} \quad (1)$$

Rezonans frekansında 50 ohm giriş empedansı için elde edilen parametre değerleri Tablo 1'de listelenmiştir.

Tablo 1. 2.47 GHz çalışma frekansı için PIF antenin parametre değerleri. (Parameter values of PIF antenna for 2.47 GHz operating frequency.)

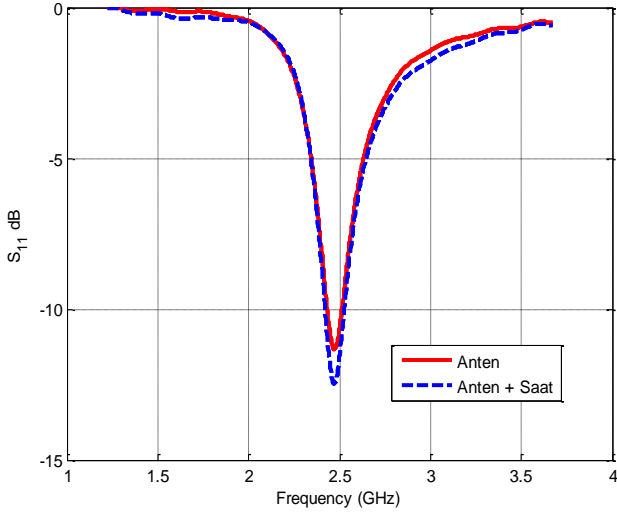
Parametre	Açıklama	Değer (mm)
s	Besleme boşluğu	4,42
h	Antenin toprağa uzaklığı	9,615
d	Besleme iletkeninin çapı	1,23
l	Anten uzunluğu	26,615
t	Koaksiyel beslemenin uzunluğu	6,124

Parametre değerleri Tablo 1'de verilen PIF anten, uyarım sinyali olarak Şekil 5'te verilen Gauss darbesi kullanılarak ve anten beslemesi dalga kılavuzu portu ile koaksiyel konnektörden yapılarak modellenmiş ve simülasyonlar sonucunda frekansa bağlı giriş yansımaya katsayısı (S_{11}) değişimi elde edilmiştir. Simülasyonlar için sınır koşulları açık alan olarak seçilmiş ve frekans aralığı antenin çalışma frekansını da kapsayacak şekilde ayarlanmıştır.



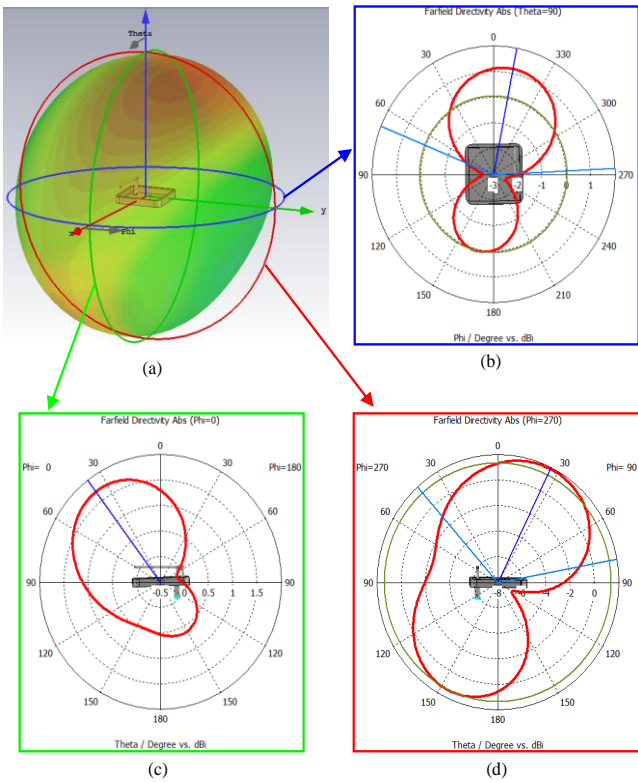
Şekil 5. Simülasyonlarda kullanılan zamana bağlı uyarım sinyali. (Time-dependent excitation signal used in the simulations)

Antenin frekansa bağlı giriş yansımaya katsayısı değerleri Şekil 6'da verildiği gibi elde edilmiştir. Bu sonuca göre tasarımı yapılan antenin çalışma frekansı hedeflendiği gibi $f_0 = 2.47$ GHz'dir. Ayrıca antenin -10 dB'de bant genişliği yaklaşık olarak 80 MHz'dir.



Şekil 6. Tasarlanan PIF antenin ve akıllı saatin frekansa bağlı yansımaya katsayılarının karşılaştırılması. (Comparison of the frequency-dependent reflection coefficients of the designed PIF antenna and smartwatch.)

Tasarlanan antenin karakteristiğinin tam olarak anlaşılabilmesi için antenin akıllı saatin içine yerleştirilmeden önceki yönlendiricilik örüntüsü de incelenmiştir. Şekil 7a'da çalışma frekansı için verilen 3D yönlendiricilik örüntüsünün $\theta = 90^\circ$, $\Phi = 0^\circ$ ve $\Phi = 90^\circ$ durumlarına karşılık gelen enine ve boyuna kesitleri alınarak sırası ile xy , xz ve yz düzlemleri için 2D örüntüleri elde edilmiştir



Şekil 7. Tasarlanan PIF antenin (a) 3D yönlendiricilik örüntüsü, (b) xy , (c) xz ve (d) yz düzlemlerinde oluşan 2D yönlendiricilik örüntüleri. ((a) 3D directivity pattern, (b) xy , (c) xz and (d) yz planes 2D directivity patterns of the designed PIF antenna)

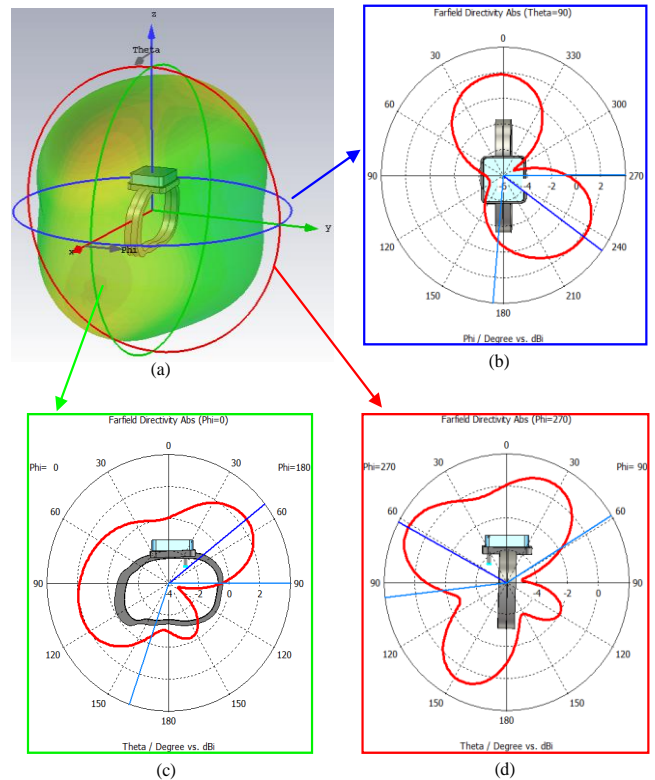
Antenin maksimum yönlendiricilik değerleri xy , xz ve yz düzlemleri için sırası ile $\Theta = 349.0^\circ$ da

1.17 dBi, $\theta = 26.0^\circ$ da 1.87 dBi ve $\theta = 37.0^\circ$ da 1.71 dBi'dir. Ayrıca Şekil 7b incelendiğinde, önerilen PIF antenin örüntüsünün çok yönlü olduğu açıkça görülmektedir. Bu sonuçlar gerçekleştirilen antenin tasarım amacına uygun olarak mobil sistemler için kullanılabilir bir anten olduğunu göstermektedir.

2.2. Akıllı Saat Tasarımı ve PIF Antenin akıllı Saate Konumlandırılması (Smartwatch Design and Positioning of the PIF Antenna on the Smartwatch)

Çalışmanın ikinci aşamasında istenilen çalışma frekansı için tasarımı yapılan anten akıllı saat modeli içine yerleştirilerek elektriksel analizleri yapılmıştır.

Bunun için öncelikle, Şekil 2b'de verilen 3D saat modeli için 1 - 4 GHz frekans aralığında yansımaya katsayısı değerleri simülasyonlar ile elde edilmiştir. Anten yerleştirilmiş 3D saat modeli için frekansa bağlı yansımaya katsayısı grafiği PIF anten ile Şekil 6'da karşılaştırılmış ve tasarlanan PIF antenin akıllı saate yerleştirilmesi durumunda çalışma frekansında herhangi bir değişiklik olmadığı, antenin tasarım hedefine uygun olarak $f_0 = 2.47$ GHz'de -12.60 dB'lik giriş yansımaya katsayısı değeri ile rezonansa geçtiği görülmüştür.

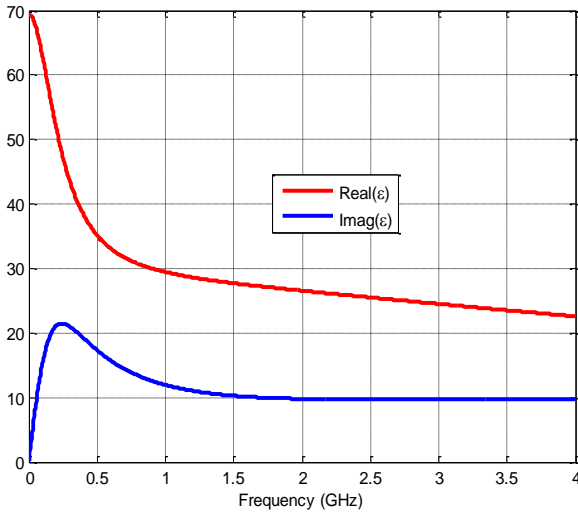


Şekil 8. Akıllı saatin (a) 3D yönlendiricilik örüntüsü, (b) xy , (c) xz ve (d) yz düzlemlerinde oluşan 2D yönlendiricilik örüntüleri. ((a) 3D directivity pattern, (b) xy , (c) xz and (d) yz planes 2D directivity patterns of the smartwatch)

Antenin saat içine yerleştirilmesinden sonra tek başına anten için yapıldığı gibi anten yerleştirilmiş saat modeli için de 2D ve 3D yönlendiricilik örüntüleri incelenerek yapının karakteristiği ayrıntılı olarak belirlenmiştir. Elde edilen yönlendiricilik örüntüleri Şekil 8'de verildiği gibidir. Antenin maksimum yönlendiricilik değerlerinin xy , xz ve yz düzlemleri için sırası ile $\theta = 234.0^\circ$ 'da 2.12 dBi, $\theta = 62.0^\circ$ 'da 1.26 dBi ve $\theta = 52.0^\circ$ 'da 2.47 dBi olduğu görülmektedir.

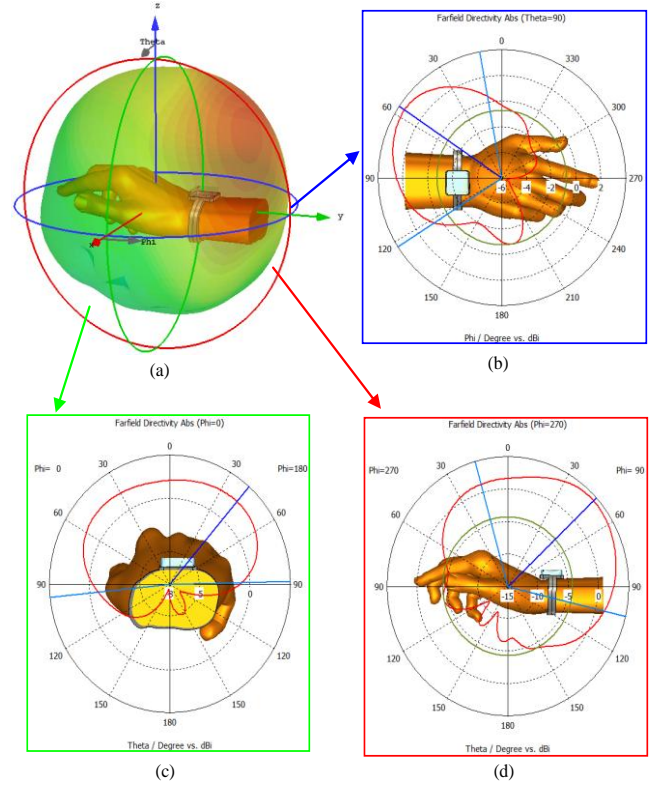
2.3. Akıllı Saatin El Modeli Üzerine Konumlandırılması (Positioning of the smartwatch on the hand model)

Çalışmanın son aşamasında, tasarımları yapılan ve elektriksel performansı simülasyon sonuçları ile belirlenen üzerine anten yerleştirilmiş akıllı saat Şekil 3'te verilen yetişkin bir insan elinin fiziksel ölçülerine sahip IXB-050 R&L CTIA 3D el modelinin üzerine konumlandırılmıştır [9],[14]. El modelinin frekansa bağlı kompleks elektriksel geçirgenliği Şekil 9'da verilmektedir.

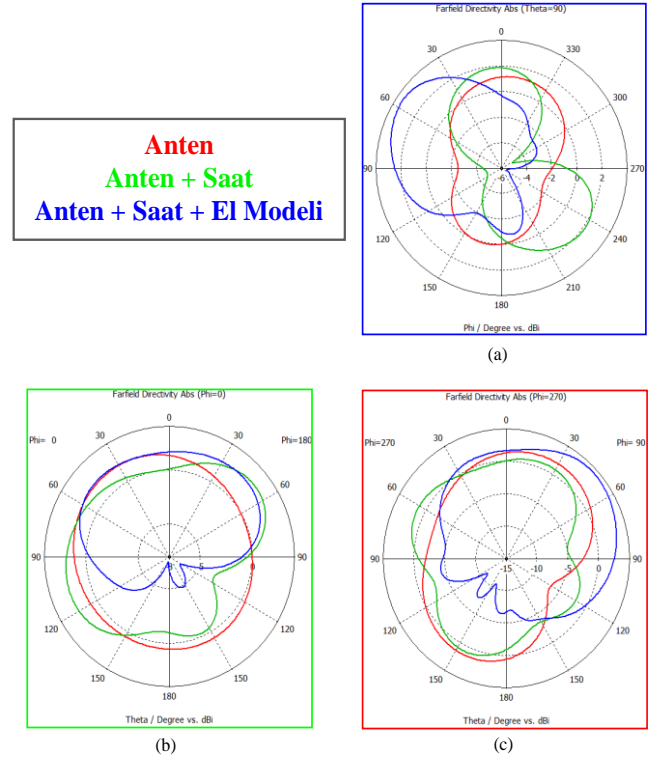


Şekil 9. El modelinin frekansa bağlı kompleks elektriksel geçirgenliği. (Frequency-dependent complex permittivity of the hand model.)

El modeli üzerindeki saat için simülasyonlar ile çalışma frekansında elde edilen 2D ve 3D yönlendiricilik örüntüleri Şekil 10'da gösterilmiştir. Buradan, antenin maksimum ışın yaptığı yöndeki yönlendiricilik değerlerinin xy , xz ve yz düzlemleri için sırası ile $\theta = 57.0^\circ$ 'da 3.72 dBi, $\theta = 48.0^\circ$ 'da 4.42 dBi ve $\theta = 43.0^\circ$ 'da 1.93 dBi olduğu görülmektedir.



Şekil 10. Üzerine saat yerleştirilen el modelinin (a) 3D yönlendiricilik örüntüsü, (b) xy , (c) xz ve (d) yz düzlemlerinde oluşan 2D yönlendiricilik örüntüleri. ((a) 3D directivity pattern, (b) xy , (c) xz and (d) yz planes 2D directivity patterns of the hand model in which the smartwatch is positioned)

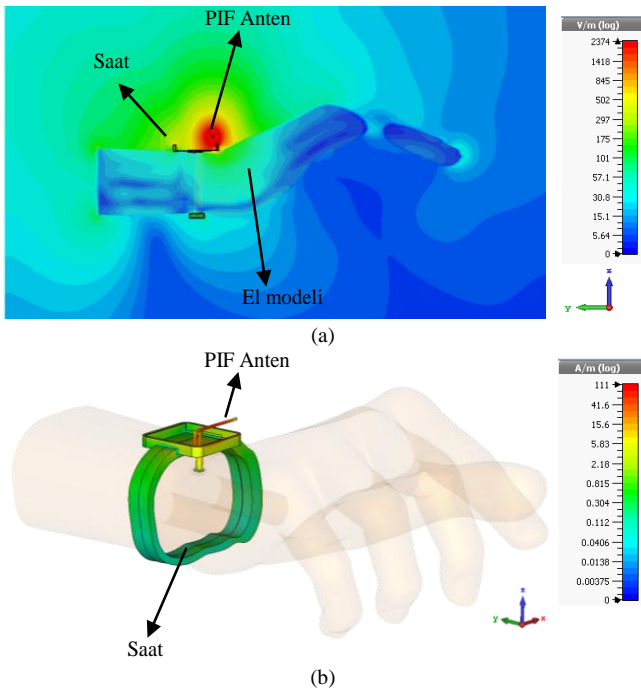


Şekil 11. (a) xy , (b) xz ve (c) yz düzlemlerinde oluşan 2D yönlendiricilik örüntülerinin karşılaştırılması. (Comparison of the (a) xy , (b) xz and (c) yz planes 2D directivity patterns.)

Başlangıçta da belirtildiği gibi bu çalışma PIF antenin tasarımı, antenin akıllı saatin içine yerleştirilmesi ve akıllı saatin insan eli üzerine konumlandırılması olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Sonuç olarak, her aşama için çalışma frekansında oluşan xy , xz ve yz düzlemlerine ait yönlendiricilik örüntüleri Şekil 11'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 11b ve Şekil 11c incelendiğinde akıllı saat kolun üzerinde iken kolun alt kısımlarında yönlendiriciliğin azaldığı açıkça görülmektedir.

Son olarak antenin çalışma frekansında Şekil 2c'de verilen 3D model üzerinde oluşan elektrik alan şiddeti dağılımı ve yüzey akım yoğunluğu sırası ile Şekil 12a ve 12b'de gösterilmiştir.

Beklendiği gibi, Şekil 12a ve 12b'den yüksek elektrik alan şiddetinin ve akım yoğunluklarının anten üzerinde ve antene yakın bölgelerde oluştuğu, antenden uzaklaştıkça azaldığı görülmektedir.



Şekil 12. Üzerine akıllı saat yerleştirilen el modelinin (a) elektrik alan dağılımı ve (b) yüzey akım yoğunluğu. ((a) electric field distribution and (b) surface current density of the smartwatch placed on the hand model)

3. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada Wi-Fi ve bluetooth teknolojilerinin ikisini de destekleyecek şekilde 2.47 GHz çalışma frekansına, yaklaşık 80 MHz bant genişliğine ve 1.87 dBi maksimum yönlendiriciliğe sahip bir özgün PIF anten tasarlanarak giriş yansımaya katsayısının frekansla değişimi belirlenmiş, 2D ve 3D yönlendiricilik örüntüleri elde edilmiştir.

Daha sonra PIF anten akıllı saate entegre edilerek oluşturulan model için tüm analizler tekrarlanmış ve saat üzerindeki antenin rezonans frekansı aynı kalırken yansıma katsayısının 1.17 dB iyileştiği gözlemlenmiştir. Son olarak akıllı saatin insan eli üzerinde kullanımı modellenerek 2D ve 3D yönlendiricilik örüntüleri, elektrik alan şiddeti dağılımları ve yüzey akım yoğunluğu değerleri incelenmiştir. Yüksek elektrik alan şiddeti ve akım yoğunluğu değerleri anten üzerinde ve antene yakın bölgelerde oluşurken antenden uzaklaştıkça azalmaktadır. Maksimum yönlendiricilik akıllı saatin ve el modelinin tasarıma eklenmesi ile artış göstermiştir.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] K. Ito, H. Y. Lin, C.H. Lin, "Novel small antennas for body-centric wireless communications," Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings (APMC), Kaohsiung, Taiwan, 4-7 Dec. 2012.
- [2] D. Wu, S. W. Cheung and Q. L. Li, "Slot antenna for all-metal smartwatch applications," European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Davos, Switzerland, 10-15 April 2016.
- [3] A. Kavas and E. Kirik, "Antenna design for smart devices," Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), Zonguldak, Turkey, 16-19 May 2016
- [4] Y. F. Zheng, G. H. Sun, Q. K. Huang, "Wearable PIFA antenna for smart glasses application," IEEE International Conference on Computational Electromagnetics (ICCEM), Guangzhou, China, 23-25 Feb. 2016.
- [5] J. Vian, Z. Popovic, "Smart lens antenna arrays," IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, Phoenix, AZ, USA, 20-24 May 2001.
- [6] W. S. Chen, T. W. Chiou and K. L. Wong, "Compact PIFA for GSM/DCS/PCS triple-band mobile phones," Antennas and Propagation Society, IEEE International Symposium, 2002. , vol. 4, pp. 528-531, June 2002.
- [7] F. A. Assadallah, J. Costantine, Y. Tawk, "A multiband and reconfigurable PIFA for mobile devices," IEEE International Symposium on Antennas and Propagation

- (APSURSI), Fajardo, Puerto Rico, 26 June - 1 July 2016.
- [8] G. Punitha, B. Saranya, V. Swathi, D. Mohanageetha, "A Multiband Slot Antenna for GPS/WiMAX/WLAN Systems," International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 5, Issue 3, March 2016.
- [9] Computer Simulation Technology, CST Studio Suite 2017, User Guide, CST, Darmstadt, Germany, 2017, available at www.cst.com.
- [10] C. C. Chiau, "Study of the Diversity Antenna Array for the MIMO Wireless Communication Systems," Department of Electronic Engineering, University of London United Kingdom, 2006.
- [11] P. Song, P. S. Hall, H. Ghafouri-Shiraz, and D. Wake, "Triple-band planar inverted F antenna," Antennas and Propagation Society, IEEE International Symposium 1999, vol. 2, pp. 908-911, 1999.
- [12] Z. D. Liu, P.S. Hall, D. Wake, "Dual-frequency planar inverted-F antenna," IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 45, no. 10, pp. 1451-1458, Oct 1997.
- [13] S. Shulteis, C. Waldschmidt, C. Kuhnert and W. Wiesbeck, "Design of a miniaturized dual band planar inverted F antenna," IEEE International Symposium on Antenna and Propagation Society, Monterey, CA, USA, June 2004.
- [14] IndexSAR, Indexsar New CTIA compliant UWPDA hand IXB-050, Surrey, England, 2017, available at www.indexsar.com.