

F ı r a t Ü n i v e r s i t e s i
Mühendislik Bilimleri Dergisi (MBD)
Cilt:30, Sayı:1, Yıl: 2018
ISSN: 1308 - 9072

İ l e t i Ő i m

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
23119, ELAZIĞ

Tel: 0 424 212 27 07
Faks: 0 424 236 99 55
e-posta: fenbilimdergi@firat.edu.tr

Baskı: Fırat Üniversitesi Matbaası

Bu dergi yılda 2 kez ve hakemli olarak yayımlanır.

Derginin Eski adı: Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Derginin Eski ISSN numarası: 1300-2708

<http://web.firat.edu.tr/fenbilimleri/Dergiler/MBD/index.html>

Fırat Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri Dergisi (MBD)

Sahibi

Prof. Dr. Kutbeddin DEMİRDAĞ
Fırat Üniversitesi Rektörü

Genel Yayın Yönetmeni

Prof. Dr. Soner ÖZGEN
F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Editör

Doç. Dr. Erkan TANYILDIZI
Fırat Üniversitesi

Editör

Yrd. Doç. Dr. Sencer ÜNAL
Fırat Üniversitesi

DANIŞMA KURULU

Deniz ÜNER	O.D.T.Ü. Kimya Müh.	Cemal GÖNCÜOĞLU	O.D.T.Ü. Jeoloji Müh.
Nurhan ARSLAN	F.Ü. Kimya Müh.	Galip AYDIN	F.Ü. Bilgisayar Müh.
M. Polat SAKA	O.D.T.Ü. Müh. Bil.	Serdar SALMAN	Marmara Ü. Metal
Erhan AKIN	F.Ü. Bil. Müh.	Yusuf CELAYİR	F.Ü. İnşaat Müh.
Z. Hakan AKPOLAT	F.Ü. Mekatronik Müh.	Eres SÖYLEMEZ	O.D.T.Ü. Makine Müh.
Ruşen GEÇİT	O.D.T.Ü. Müh. Bil.	Ülkü YETİŞ	O.D.T.Ü. Çevre Müh.
Umran S. İNAN	Stanford Ü. Elekt-Elktr. Müh.	İlker B. TOPÇU	Osmangazi İnş. Müh.
Cumali KINACI	İ.T.Ü. Çevre Müh.	Bünyamin AKSAKAL	Y.T.Ü. Malz. ve Met. Müh.
Erkan ŞAHİNKAYA	İ.M.Ü. Biyomühendislik	Temel SAVAŞKAN	K.T.Ü. Makine Müh.
Ayşe DALOĞLU	K.T.Ü. İnşaat Müh.	Mehmet CEBECİ	F.Ü. Elekt-Elktr. Müh.
Yetkin TATAR	F.Ü. Bil. Müh.	Fikret ATA	B.Ü. Elekt-Elktr. Müh.

Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi (MBD)
30-1, 2018

İÇİNDEKİLER / CONTENTS	
1. AA2024 Alaşımının V-Bükme İşlemi Sonrasında Geri Esneme Davranışlarının İncelenmesi <i>Investigation of Springback Behaviour of AA2024 Alloy After V-Bending</i> Hakan GÜRÜN, Onur ÇAVUŞOĞLU, Ulaş ÇAYDAŞ, Cebeli ÖZEK, Mahmut ÇELİK	1-8
2. Sarsma Tablasına Maruz Kalan Dolgu Duvarların Görelî Maksimum Düzlem-Dışı Deplasmanının Yapay Sinir Ağı Modelleri ile Tahmini <i>Prediction of maximum relative out-of- plane displacement of infill wall exposed to shake table by using artificial neural network models</i> Onur ONAT, Muhammet GUL	9-19
3. AISC 360-10 ve Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Çelik Yapıların Tasarımı <i>Steel Structure Design Based On AISC 360-10 and Turkish Seismic Code</i> Mustafa ÜLKER, Sedat SAVAŞ.....	21-32
4. TM Yöntemi ile Üretilmiş Al Matrisli Kompozitlerde Presleme Basıncının ve B₄C Oranının Sertlik ve Aşınma Davranışı Üzerine Etkisi <i>The Effect of Contact Pressure and B₄C Ratio on Hardness and Wear Behaviours in Al-Matrix Composites Produced by PM Method</i> Yahya Hışman ÇELİK, Erol KILIÇKAP, Burak YENİGÜN	33-40
5. Sabit ve Hareketli Hava ile Isıtılan Güneş Kolektörlerinin Isıl Verimliliklerinin Karşılaştırılması ve Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi <i>Comparison of Thermal Efficiency of Fixed and Moving Air Heated Solar Collectors and Modeling with Artificial Neural Networks</i> Mehmet DAŞ, Ebru AKPINAR	41-46
6. Farklı Teknikler Kullanılarak Domatesin Kurutulması <i>Drying Tomatoes Using Different Techniques</i> Ecem ÖZEN, Filiz KAR	47-57
7. İstanbul'daki Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinin Sera Gazı Emisyonunun Modelleme Metodu ile Tahmini <i>Estimation of Greenhouse Gas Emissions of Biological Wastewater Treatment Plants in Istanbul by Modelling</i> Hazal GÜLHAN, Hale ÖZGÜN, M. Evren ERŞAHİN, R. Kaan DERELİ, İzzet ÖZTÜRK....	59-67
8. Elazığ İlinde Doğal Gaz Tüketiminin Tahmini <i>Estimation of Natural Gas Consumption in Elazığ</i> Bilal AYDIN, Ayşe BİÇER	69-78
9. İndirgen Şartlarda Sıfır Değerlikli Demir ile Metronidazol ve Nitrat Giderimi <i>The Removal of Metronidazole and Nitrate by Zero-Valent Iron in The Reducing Conditions</i> Özge HANAY, Cemile SERTDEMİR, Burçin YILDIZ	79-86
10. Geri Kazanılan Asfalt Kaplamaların Sıcak Asfalt Karışımlarında Yeniden Kullanabilirliğinin Araştırılması <i>Investigation of Reuse by Recycling Asphalt Pavements in Hot Mix Asphalt</i> Şeref ORUÇ, Bahadır YILMAZ, Mehmet Salih MAZLUM	87-93
11. FBMC-QAM Yöntemiyle MIMO Alıcı Tasarımı <i>MIMO Receiver Design with FBMC-QAM</i> Bircan KAMIŞLIOĞLU, Ayhan AKBAL	95-103
12. Soğuk İklim Bölgesinde Farklı Dış Duvar Yapı Malzemelerinin Isıtma Yüküne Etkilerinin İncelenmesi <i>Investigation of Effects of Different External Wall Structure Materials on Heating Load in the Cold Climate Region</i> Meral ÖZEL	105-113

13. Mikroalgın Ön Arıtılmış Düzenli Depolama Sızıntı Suyunda Çoğaltılması <i>Growth of Microalgae in Pre-treated Landfill Leachate</i> Umut METİN, Mahmut ALTINBAŞ	115-123
14. Korunan ve Otlatılan Meralarda Ot Kalitesinin Karşılaştırılması <i>Comparison of Herbage Quality in the Non-Grazed and Grazed Pastures</i> Halil KARAN, Mehmet BAŞBAĞ	125-132
15. Öğütülmüş Kolemanit Katkısının Çimento Harçlarına Etkisi <i>The Effect of Ground Colemanite Additive on Cement Mortars</i> Özlem SALLI BİDECİ, Alper BİDECİ	133-138
16. Kompozit Boru Kesitlerinin Çarpma Etkisi Altında Deneysel ve Nümerik Olarak İncelenmesi <i>Experimental and Numerical Investigation of Composite Pipe Sections under Impact Effect</i> Engin GÜCÜYEN, R. Tuğrul ERDEM, Erkan KANTAR	139-149
17. Goldbach Sansı Tabanlı Yeni Bir Matematiksel Sayısal İmge Damgalama Yöntemi <i>A New Mathematical Digital Image Watermarking Method Based on Goldbach Conjecture</i> Türker TUNCER	151-159
18. Fotovoltaik - Termal (PV / T) Sistemin Sayısal (CFD) ve Deneysel Analizi <i>Numerical (CFD) and Experimental Analysis of Photovoltaic - Thermal (PV / T) System</i> Gökhan Ömeroğlu	161-167
19. Anlamsal Web Kullanılarak İlaç Ontolojisi Çıkarılması <i>Build a Drug Ontology Using Semantic Web</i> Osman ALTAY, Mustafa ULAŞ	169-174
20. Dizel Bir Aracın Elektrikli Araca Dönüşüm Performansının Değerlendirilmesi <i>Evaluation of the Conversion Performance of a Diesel Vehicle to Electrical Vehicle</i> Onur Özdal Mengi	175-182
21. Sabit Mıknatıslı Senkron Motorun Parametre Tespiti <i>Estimation Of Parameters For Permanent Magnet Senkron Motors</i> Hüseyin Yüce KÜRÜM, Erhan AKIN	183-191
22. Zaman Gecikmeli İnsan-Makine Etkileşimli Teleoperasyon Sisteminin Kontrolü <i>Control of Time Delayed Human-Machine Interaction Teleoperation System</i> Tayfun ABUT, Servet SOYGÜDER	193-202
23. SLEGS Robot 'un Tasarımı ve 2B-Navigasyon Uygulaması <i>Design and 2D-Navigation Application of SLEGS Robot</i> Servet SOYGÜDER	203-208
24. Atık Su Yönetimi için Bütünleşik Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi <i>Integrated Fuzzy Multi-criteria Decision Making Approach for Wastewater Management</i> Mehtap DURSUN	209-217
25. Sokaktan Tarama Yöntemiyle Binaların Bölgesel Deprem Risk Dağılımının Belirlenmesi: Erzurum – Yenişehir Örneği <i>Determination of Regional Seismic Risk Distribution of Structures by Sidewalk Survey Method: Erzurum – Yenişehir Example</i> Dilek OKUYUCU, Gökçe Kaan SAVAŞ, Burak GEDİK, M. Fatih ŞUŞARLIOĞLU ve Tarık KARA	219-231
26. Plazma Transferli Ark Kaynak Yöntemiyle Hardox 400 Çelik Malzemenin Yüzeyinin Farklı Oranlardaki FeCrC Tozuyla Alaşımlandırılması <i>The Alloying of FeCrC Powder Different Rates at Hardox 400 Steel Surface by Plasma Transfer Arc Transfer Welding Method</i> Ali Kaya GÜR, Muhammet Hulusi CENGİZ, Tülay YILDIZ, Semih TAŞKAYA	233-242
27. Retinal Görüntülerden Optik Diskin Aktif Kontur Yöntemi ile Bölütlenmesi <i>Optic Disc Segmentation from Retinal Images by Active Contour Method</i> Seda Arslan TUNCER	243-249

28. Kars İlindeki Binalar İçin Isıtma Yüğü ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi <i>Determination of The heating Load and Optimum Insulation Thickness for Buildings in Kars city</i> Meral ÖZEL1, Dilek TUNÇ	251-257
29. Düzce İlinde Kentsel ve Yarı kentsel Örnekleme Noktalarında Atmosferik İnorganik İyonların Kaynaklarının Belirlenmesi <i>Source Assessment of Atmospheric Inorganic Ions at Urban and Sub-Urban Sampling Points in Düzce</i> Zehra Bozkurt	259-268
30. Hastane Yoğun Bakım Skorlaması İçin Otomasyon Arayüzünün Geliştirilmesi <i>Development of an Automation Interface for Intensive Care Scoring</i> Uğurhan KUTBAY	269-275
31. 3 Boyutlu Yazıcı Kullanılarak Üretilen Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Basma Yüğü Altındaki Performanslarının Araştırılması <i>Investigation of Compression Test Performances of Honeycomb Sandwich Composites Produced by 3D Printing Method</i> Murat Yavuz SOLMAZ, Eyüp ÇELİK	277-286
32. Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Dalgalı Bağlantı (Wavy-lap) Performanslarının Uç Açısına Bağlı Olarak Araştırılması <i>An Investigation on the Joint Performance of Wavy-lap Adhesive Joints Depending on the Taper Angles</i> Murat Yavuz SOLMAZ, Selahattin YILDIRIM	287-294
33. Verici Anten Seçimi ve İşaret Uzayı Çeşitlemesi Kullanan En Yüksek Oran Birleşimi Tekniğinin Çift ve Tekdüze Anten İlişki Modelleri Altında Başarım Analizi <i>Performance Analysis of Maximal-Ratio Combining with Transmit Antenna Selection and Signal Space Diversity Under Dual and Uniform Antenna Correlation Models</i> Serdar Özyurt	295-302
34. Karbonat Kayalarının Aşınma Dirençlerinin Geniş Disk Aşınma Deneyi ile Araştırılması <i>Investigation of Abrasion Resistance of Carbonate Rocks by Wide Wheel Abrasion Test</i> Sefer Beran ÇELİK	303-310
35. Teğetsel Silindirik Taşlama Yönteminde İşleme Parametrelerinin Titreşim Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması <i>Investigation Of The Effects Of Processing Parameters On The Vibration Of Tangential Cylindrical Grinding Method</i> Çetin ÖZAY, Hasan BALLIKAYA, Mehmet ALTUĞ, Vedat SAVAŞ, Mehmet SAĞLAM ...	311-317
36. Mn/Ni katkı Nanoyapılı ZnO Yarıiletken İnce Filmlerin Yüzey Morfolojileri, Optik Sabitleri ve Dispersiyon Enerji Parametreleri <i>Surface Morphologies, Optical Constants and Dispersion Energy Parameters of Mn/Ni doped Nanostructured ZnO Semiconductor Thin Films</i> Cihat AYDIN	319-328
37. Adli Bilişim Açısından Ses İncelemeleri <i>Audio Analysis in Terms of Digital Forensics</i> Yunus KORKMAZ, Aytuğ BOYACI	329-343
38. Davranışsal Biyometrinin 5 Yılı: Kimlik Doğrulama ve Anomali Tespit Uygulamaları <i>5 Years Of Behavioral Biometrics: Authentication And Anomaly Detection Applications</i> Fatma GÜMÜŞ1, Oğuz ATA2, Hasan Hüseyin BALIK1	345-364

AA2024 Alaşımının V-Bükme İşlemi Sonrasında Geri Esneme Davranışlarının İncelenmesi

Hakan GÜRÜN^a, Onur ÇAVUŞOĞLU^a, Ulaş ÇAYDAŞ^b, Cebeli ÖZEK^b, Mahmut ÇELİK^b

^a Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü Ankara/Türkiye

^b Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü 23119 Elazığ/Türkiye
ucaydas@firat.edu.tr,

(Geliş/Received: 20.04.2017; Kabul/Accepted: 08.02.2018)

Özet

Bükme işlemi sac metal kalıpcılığında önemli bir yere sahiptir. Bükülen ürünün istenen ölçülerde ve açılarda olması son derece önemlidir. Bükülecek parçalarda istenilen açıyı elde edebilmek için, kullanılan malzemenin geri ve ileri esneme davranışlarının iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, AA 2024 malzemenin bükme işleminde geri esneme davranışlarının tespiti için deney ve analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 60°, 90° ve 120° bükme işlemi gerçekleştirilmiştir. Her açıdaki zımba için 3 ayrı bükme yarıçapı kullanılmıştır. Bükülen deney parçaları optik profilometre ile ölçülerek geri esneme miktarları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AA2024, V bükme, Geri esneme.

Investigation of Springback Behaviour of AA2024 Alloy After V-Bending

Abstract

Bending is an important operation in sheet metal molding process. The bent products have to satisfy the desired dimensions and angular tolerances after process. In order to obtain the necessary angles for the bent parts, the spring back behavior of the materials has to be well known. Experimental and analysis studies have been performed to determine the springback behavior of the AA 2024 alloy in bending process, in this study. 60°, 90° and 120° angular dies were designed for this purpose. Three different bending punch radii were used for each angular punch. The springback values were measured using an optical profilometer.

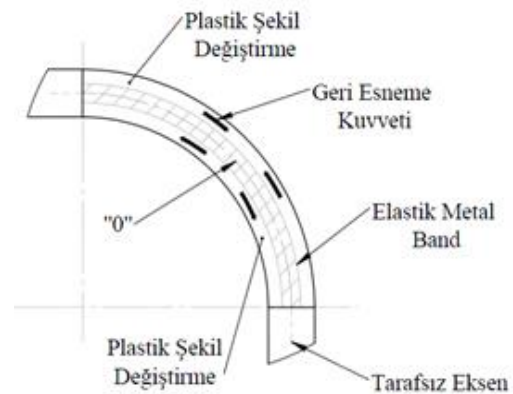
Keywords: AA2024, V bending, Springback.

1.Giriş

Alüminyum malzemeler, endüstride geniş bir yere sahiptir. Özellikle hafif ve korozyona karşı direncinin yüksek olmasından dolayı, otomotiv, havacılık sanayi, beyaz eşya vb. birçok alanda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Malzemenin bu özelliklerine karşın üretim esnasında birçok problemlerle karşılaşmaktadır. Bunlardan birisi de sac malzemenin bükülmesi esnasında oluşan geri esnemedir. Malzemeleri bükme işlemi sırasında uygulanan kuvvet kaldırıldığında, malzemenin eski haline dönmeye çalıştığından istenilen ürün geometrisi elde edilememektedir. Bu da üretimde zaman ve maliyeti olumsuz yönde etkilemektedir [1,2].

Bükme, malzemenin üzerine bir kuvvet uygulamak suretiyle gerçekleşmektedir. Bükme işlemi pres tezgahlarında gerçekleştirildiğinden, bükme kuvvetine pres kuvveti de denilmektedir.

Bükme kalıplarında uygulanan pres kuvveti diğer kalıplara göre uygulama süresi bakımından farklılıklar göstermektedir.



Şekil 1. Bükme işleminde gerilmeler [3].

Bükme işleminde, plastik şekil değişikliğinin sağlanması ve parçanın son şeklini alması gerektiğinden pres kuvveti plastik şekil değişimi tamamlanana kadar uygulanır. Malzeme bükülmeye maruz kaldığında, dış yüzeylerde çekme, iç yüzeylerde basma gerilmeleri meydana gelir. Böylece, çekme etkisinin olduğu dış yüzeylerde uzama, basma etkisinin olduğu iç yüzeylerde ise kısalma şeklinde şekil değişimleri oluşur (Şekil 1) [3].

Bükme işleminde geri esneme miktarı malzemenin mekanik özelliklerine, kalınlığına, bükme yarıçapına, bükme açısına, zımba kalıp boşluğuna, baskı esnasında zımbanın kalıpta bekleme süresine ve ortam sıcaklığı gibi etkenlere bağlıdır. Bu nedenle istenilen özellikte ürünün üretilmesi için uygun üretim şartlarının sağlanması gerekmektedir. Bu konuda literatürde birçok çalışmalar yapılmıştır. Ötü ve Demirci, AA 5754 ve Al 1050 sac malzemeleri üzerinde farklı bükme mototları kullanarak geri esneme miktarlarının tespiti üzerinde çalışmışlardır [4]. Tekaslan ve arkadaşları, geri esnemenin tespit edilebilmesi için, modüle bir V bükme kalıbı tasarlayarak, çok yaygın olarak kullanılan bakır sac malzemelerin farklı bükme açılarındaki geri esneme miktarlarını tespit etmişler ve bu özelliklere bağlı olarak geri esneme grafikleri elde etmişlerdir [5]. Tekiner, serbest bükme kalıplarında geri esnemenin deneysel olarak tespiti üzerine çalışmalar yapmıştır. Geri esnemenin tespiti için V bükme kalıbı imal edilmiştir. Dört farklı kalınlık, sekiz bükme açısı ve her açıda üç farklı bükme radyüsü değeri kullanılarak bükme deneyleri gerçekleştirilmiştir [6]. Altan ve arkadaşları, esnek form verme işlemlerinde geri esnemenin azaltılabilmesi için en uygun değerleri bulmaya çalışmışlardır. Bilgisayar destekli sayısal analiz ve matematiksel modellemelerle, karşılaşılan bu sorunların çözümü için bazı çalışmalar yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve sonlu elemanlar yöntemi ile geri esneme tahminlerinde bulunmuşlardır [7-8]. Tiryaki ve arkadaşları yapmış oldukları deneysel çalışmada, sac metal malzemeleri bükme işleminde geri esneme açısının yapay sinir ağları ile tahmini için, sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS programı ile bir simülasyon geliştirmişlerdir [9]. Wagoner ve Gan sacların geri esnemesinde kalıp tasarımının önemi üzerinde durmuşlardır. Ürünlere son şeklinin

verilmesinde kullanılan sac şekillendirme metodunu geliştirmişlerdir. Kalıp tasarımında sonlu elemanlar yöntemini kullanarak, geri esnemenin tespitinde "Displacement Adjustment Method (DA)" ve "Karafillis and Boyce (K&B)" metodlarını kullanmışlardır. Bu iki metodu kullanarak DA metodunun daha etkin ve hızlı olduğunu tespit etmişlerdir [10]. Nilsson ve arkadaşları, serbest V bükme kalıplarında geri esnemenin, sonlu elemanlar yöntemi ile tahmininin yapılmasına yönelik çalışmalar yapmıştır [11]. Carden ve arkadaşları, üç farklı otomotiv sacı kullanarak çeşitli bükme deneyleri yapmışlardır. Bu deneyler esnasında kalıp boşluğu/radyüs oranını, sürtünme katsayısını ve kontrollü gerilme kuvvetlerini dikkate almışlardır. Geri esnemenin analitik modellemesi için de bazı grafikler oluşturmuşlar ve literatüre kazandırmışlardır [12]. Mullan, geri esnemenin sayısal algoritma metodu ile tespit edilmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. İki çeşit bükme teorisi kullanmış ve bunları yaptığı deneysel çalışmalarla destekleyerek birbirleriyle kıyaslamıştır [13]. Lin ve arkadaşları, sac metallerin geri esnemesinde analitik bazı çözümler geliştirmişlerdir. Sac metaller üç ayrı parçaya bölmüşler ve sabit zımba ile elastik kalıp arasında baskıya maruz bırakmışlardır. Üretim esnasında geri esnemenin en önemli etkilerinden birinin kalıp ile iş parçası arasında oluşan sürtünmenin olduğunu gözlemlemiştir. Elastik kalıp sayesinde malzemede sürtünme etkisi azaltılmış ve sabit zımba şekli verilmesi kolaylaşmıştır [14]. Moon ve arkadaşları, alüminyum sac malzemelerdeki geri esneme miktarını azaltmak için zımba ve kalıp sıcaklığının geri esnemeye olan etkilerini araştırmışlardır [15]. Chan ve arkadaşları V bükme kalıplarında sac metal şekillendirme işleminde, geri esnemenin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi üzerinde çalışmışlardır. Farklı zımba parametreleri olan zımba açısı ve zımba yarıçapının geri esneme üzerindeki etkileri araştırılmışlardır [16]. Onate ve arkadaşları, sacların bükme işleminde sonlu elemanlar yöntemlerini kullanarak geri esneme tahmini üzerinde bazı incelemelerde bulunmuşlardır [17]. Lia ve arkadaşları, sonlu elemanlar yöntemi ile 2 ve 3 boyutlu geri esneme analizleri üzerine çalışmışlardır. Sac parçalara şekil verme işleminden sonra simülasyonlara tabi tutularak

karşılaştırmışlardır [18]. Inamdar ve arkadaşları, bükme işleminde geri esneme tahmini için sac metallere ile deneysel çalışmalar yapmış ve yapay sinir ağları yöntemini de kullanarak geri esneme tahminlerinde bulunmuştur [19]. Chatti ve arkadaşları, malzeme modellemesinde sayısal geri esneme tahminlerinde bulunmuşlardır. Modellemelerinde Bauchinger etkisi yöntemini kullanarak L ve U bükme işlemleri yapmış, deneysel geri esneme açıları ölçülerek sayısal tahminlerde bulunmuşlardır [20]. Gau ve arkadaşları, Bauschinger etkisi yönteminin geri esneme tahmini üzerindeki etkileri üzerinde çalışmalarda bulunmuşlardır [21]. Toros ve arkadaşları çalışmalarında, otomotiv sektöründe yaygın bir biçimde kullanılan alüminyum magnezyum alaşımlarından 5754-O alaşımının 60° lik V bükme kalıbındaki geri esneme davranışlarını incelemişlerdir. Malzemelere ön gerilmeler uygulanarak önce akma noktaları değiştirilmiş ve daha sonra bu erilmelerin geri esnemeye olan etkisi değerlendirilmiştir [22].

Yapılan çalışmalarda sac metal kalıpcılığında karşılaşılan geri esneme problemleri üzerinde durulmuştur. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen bilgiler kullanılarak çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiş ve bunlardan faydalanılmıştır. Matematiksel modellemenin amacı ise, uygun kalıp parametreleri, bükme açısı, bükme radyüsü, sac malzeme kalınlığı kullanılarak geri esnemenin önüne geçilmesidir. Yapılan bu çalışmada ise, kullanımı otomotiv ve havacılık alanlarında giderek yaygınlaşan AA 2024 sac malzemenin geri esneme davranışlarının incelenmesi, ürün kalitesinin ve boyutsal kararlılığının geliştirilmesi amaçlanmıştır.

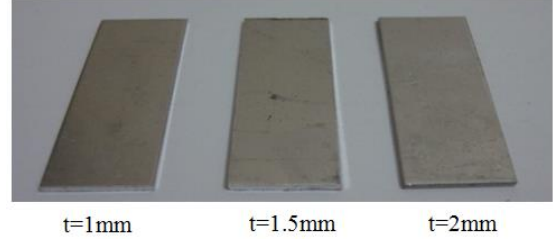
2. Materyal ve Metot

2.1. Deneysel malzemesi

Deneysel otomotiv ve havacılık sektöründe sıklıkla kullanılan AA 2024 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Deneysel numunelerinin kalınlıkları 1mm, 1.5mm ve 2 mm, ebatları ise 70x15 mm olarak hazırlanmıştır.

Numuneler, giyotin tezgahında hadde yönüne dik kesilerek hazırlanmıştır (Şekil 2). Ayrıca 2 mm malzeme kalınlığı için hadde yönüne paralel numuneleri de hazırlanmıştır. Kesme sonrasında malzeme kenarlarında oluşan

çapaklar eğe yardımı ile temizlenmiştir. Numunelere herhangi bir ısı işlem uygulanmadan bükme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel kullanılan malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Deneysel çalışmada kullanılan numuneler

Tablo 1. AA 2024’ün kimyasal bileşimi (%)

Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Si	Ti	Zn	Mg
90.7 - 94.7	<0,1	3,8 - 4,9	<0,5	0.3 - 0.9	<0,5	<0,15	<0,25	1,2-1,8

Tablo 2. AA 2024’ün mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	Birim	Değer
Çekme Dayanımı	Mpa	483
Akma Dayanımı	Mpa	345
Uzama	%	18
Elastikyet Modülü	Gpa	73,1
Poission Oranı	-	0,33
Özgül Ağırlığı	g/cm ³	2,78

2.2. Metot

Malzeme özellikleri ve işlem parametreleri geri esnemenin tahminini zorlaştıran etkenlerdendir. Malzemelerin farklı bükme parametrelerinde şekillendirilebilirliğini tespit etmek amacıyla, sac malzeme kalınlığı, bükme açısı ve zımba yarıçapları belirli sınırlar içerisinde değiştirilmiştir. V bükme deneylerinde kullanılan parametreler ve faktör seviyeleri Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 3’de görülen koşullara göre toplam 27 (3³) deney yapılmıştır. Bükme deneyleri sonrasında numunelerde meydana gelen geri esneme miktarları, 1 dakika hassasiyetindeki Mitutoyo marka optik profilometre yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 3).

Tablo 3. Deneysel koşullar

V Bükme Parametreleri	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Zimba radyüsü (mm)	1	2	4
Sac kalınlığı (mm)	1	1.5	2
Bükme açısı (°)	60	90	120

**Şekil 3.** Deneysel ortamda kullanılan optik profilometre

2.3. Bükme kalıbının tasarımı ve imalatı

V bükme kalıbında gerekli kuvveti hesaplamak için araştırmacılar birçok farklı eşitlikler ortaya koymuştur. Bu çalışmada, bükme kuvveti aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır [5].

$$P_b = \frac{C \times \sigma_b \times S^2 \times b}{W} \quad (1)$$

Bu eşitlikte; P_b , bükme kuvvetini (kg), S , sac kalınlığını (mm), σ_b , malzemenin çekme dayanımını (kg / mm²), b , parça genişliği (mm) ifade etmektedir. Eşitlikte yer alan C ; W/T' ye bağlı bir katsayı olup;

$$c = 1 + \frac{4 \times S}{W} \quad (2)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Zimba yarıçapı;

$$r_i1 = K(r_i2 + (0,5 \times S) - (0,5 \times S)) \quad (3)$$

Formülü yardımıyla hesaplanmıştır. Burada; r_i1 = zimbaya verilmesi gerekli radyüsü (mm), r_i2 , bükme radyüsünü (mm), S , sac kalınlığı (mm) ve K malzemenin mukavemet değerleri ile ilişkili bir katsayıyı göstermektedir. Bu katsayı;

$$K = 1 - [a \left(\frac{\sigma_s \times \sigma_b}{2} \right) + b \left(\frac{\sigma_s \times \sigma_b}{2} \right) \left(\frac{r_i2}{S} \right)^2] \quad (4)$$

şeklinde hesaplanır. Burada; σ_b , malzemenin çekme mukavemetini, σ_s ise malzemenin akma sınır dayanımını göstermektedir.

$$\sigma_s = [0,6 \times \sigma_b] \quad (5)$$

şeklinde hesaplanır. a ve b katsayıları ise sırasıyla 0.001 ve 0.000015 şeklinde seçilmiştir. Diğer

yandan alt kalıp radyüsü (R), kalıp açısı ($\Delta\alpha$) ve kalıp açıklık (W) değerleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla belirlenmiştir.

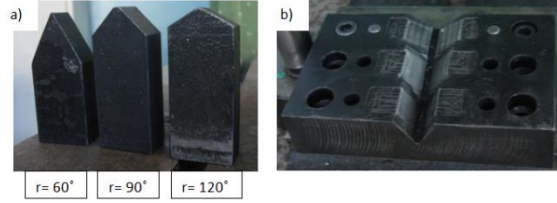
$$R = r_i1 + S \quad (6)$$

$$\Delta\alpha = (180 - \alpha_0) \left(\frac{r_i2}{r_i1} - 1 \right) (\alpha_0) \quad (7)$$

Burada; α_0 = bükme açısı

$$W = \frac{r_i1}{0,15 - 0,25} \quad (8)$$

Deneysel ortamda kullanılan bükme kalıbının farklı yarıçaplara sahip erkek zımbaları ve matrisi (dişi kalıp) AISI 1050 çeliğinden, JohnFord O-M CNC dik işleme merkezli freze tezgahında imal edilmiştir. İmalatı yapılan zimba ve dişi kalıp Şekil 4'de verilmiştir. Kullanılan zimba ve dişi kalıp ısıl işleme sertleştirilmiştir. Kalıbın komple montaj hali Şekil 5'de görülmektedir.

**Şekil 4.** Kullanılan zımbalar (a) ve dişi plaka (b)**Şekil 5.** Kalıp montajı

3. Deney Sonuçları ve Değerlendirme

60°, 90° ve 120°'lik kalıplar kullanılarak yapılan deneyler sonrasında numunelerden ölçülen geri esneme değerleri sırasıyla Tablo 4-6'da verilmiştir.

Tablo 4. 60° için elde edilen değerler

Hadde yönü	Kalınlık	R=1 mm	R=2 mm	R=4 mm
Hadde yönüne dik	1 mm	X	X	10,5
Hadde yönüne dik	1,5 mm	X	X	8,5
Hadde yönüne dik	2 mm	X	X	6,6
Hadde yönüne paralel	2 mm	X	X	7,5

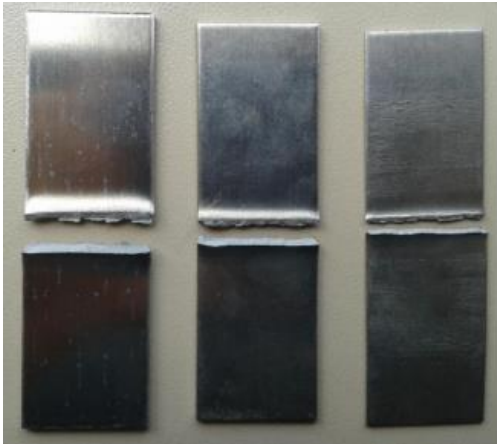
Tablo 5. 90° için elde edilen değerler

Hadde yönü	Kalınlık	R=1 mm	R=2 mm	R=4 mm
Hadde yönüne dik	1 mm	X	X	9
Hadde yönüne dik	1,5 mm	X	X	5,8
Hadde yönüne dik	2 mm	X	X	4,9
Hadde yönüne paralel	2 mm	X	X	7

Tablo 6. 120° için elde edilen değerler

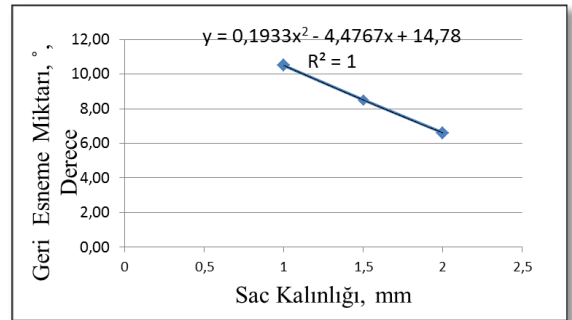
Hadde yönü	Kalınlık	R=1 mm	R=2 mm	R=4 mm
Hadde yönüne dik	1 mm	3,8	6,2	7,8
Hadde yönüne dik	1,5 mm	2,7	5,3	7
Hadde yönüne dik	2 mm	1	2,7	6,3
Hadde yönüne paralel	2 mm	3,1	4,5	7,5

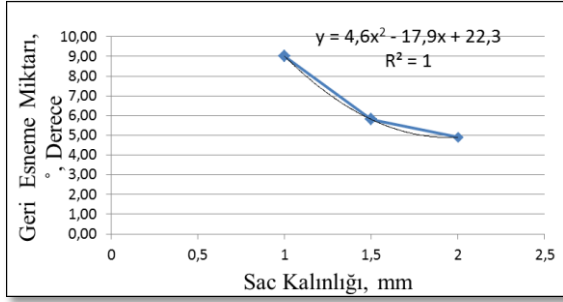
Tablolardan da görüldüğü gibi, AA 2024 alaşımının 60° ve 90°lik bükme deneylerinde 1 mm ve 2 mm uç radyüslü zımba kullanıldığında, oluşan çekme gerilmelerinden dolayı malzemeler bükme eksenlerinden kırılmışlardır. Kırılan numunelere ait fotoğraflar Şekil 6'da verilmiştir. Bükme yarıçapının düşük olduğu durumlarda, malzemenin bükme kenarında gerilmeler daha dar bir alanda yoğunlaşarak çatlaklara sebep olmakta ve parçanın kopmasına neden olmaktadır. Her üç açı değerinde de 4 mm uç radyüslü zımbalarla gerçekleştirilen deneylerde bükme işlemi sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 6.** Kırılan numunelerin görüntüsü

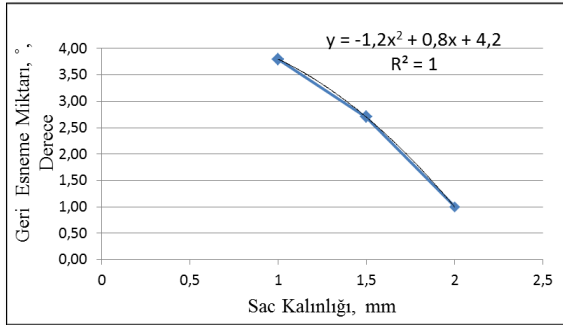
Bükme açısı 120° olduğunda tüm zımbalarla yapılan deneyler başarılı olmuştur. Elde edilen değerler kıyaslandığında malzeme kalınlığının, zımba uç radyüsünün ve bükme açısının geri esnemeye etkisinin oldukça fazla olduğu gözlemlenmiştir. Malzeme kalınlığının artmasıyla sabit kuvvet etkisiyle elastik şekil değiştirme miktarı ve dolayısıyla geri esneme değerleri de azalmaktadır. Ancak aynı sac kalınlığında hadde yönüne dik yapılan deneylerde geri esnemenin arttığı görülmüştür.

Hadde yönüne dik numunelerde meydana gelen geri esneme miktarlarının, hadde yönüne paralel numunelerden daha az olduğu tespit edilmiştir. Hadde yönünün geri esneme üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Bilindiği gibi, malzemenin tane yapısı küresel yapıdan hadde yönü doğrultusunda yönlendirilmiş ve uzamış tane yapısı şeklinde değişmektedir. Hadde yönündeki kuvvetler altında malzemenin şekil değiştirme davranışları dik doğrultuya nazaran daha kolay olmaktadır. Plastik deformasyondaki bu artış, geri esneme miktarında da orantılı bir artışın meydana gelmesine yol açmaktadır. Diğer yandan, zımba uç radyüs değeri arttıkça geri esnemede artış olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 7 – 11'deki grafikler incelendiğinde, malzeme kalınlığının artmasıyla geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Oluşturulan polinom eğri grafiklerinde, bükülen malzemelerin geri esneme miktarları görülmektedir. Bu eğri denklemlerinde istenilen değerler yerine koyularak da farklı bükme değerlerinde yapılacak olan deneylerin tahmini de yapılabilmektedir.

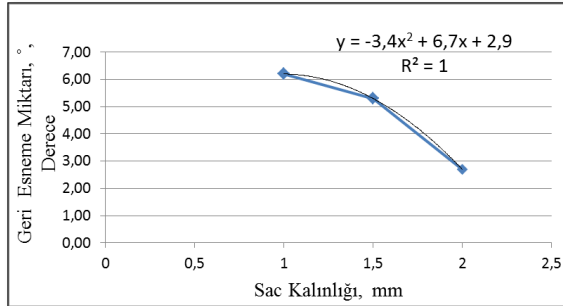
**Şekil 7.** 60° ve R= 4 mm için geri esneme grafiği



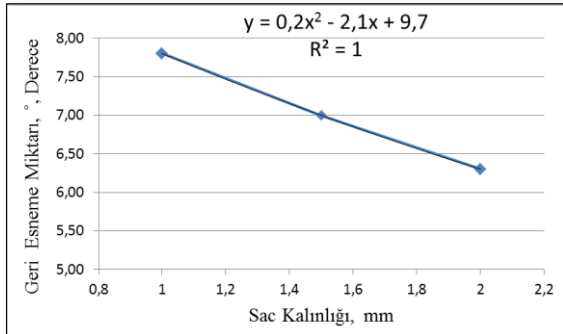
Şekil 8. 90° ve R= 4 mm için geri esneme grafiği



Şekil 9. 120° ve R= 1 mm için geri esneme grafiği



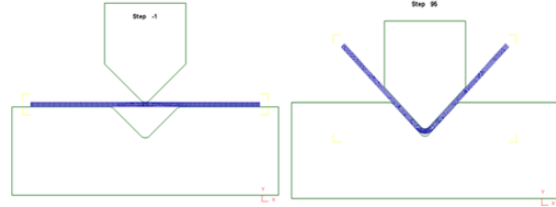
Şekil 10. 120° ve R= 2 mm için geri esneme grafiği



Şekil 11. 120° ve R= 4 mm için geri esneme grafiği

4. Simülasyon Sonuçları

Numunelerin eğilme bölgelerindeki gerilme dağılımlarını belirlemek amacıyla Deform 2D paket programı kullanılmıştır. Şekil 12'de simülasyon işleminin başlangıç ve bitiş durumlarında numune ile zımba arasındaki durum görülmektedir. Sayısal analizlerde AA 2024 malzemesi kullanılmış ve malzeme boyutları numune ölçüleri ile aynı seçilmiştir. Zımba ve matris malzemeleri rijit eleman olarak kabul edilmiştir. Zımba hızı 50 mm/sn olarak belirlenmiştir. Bükme açısının 60° ve 90° olduğu durumlarda numuneler kırıldığından, burada sadece 120° bükme açısı değerlerinde yapılan analiz sonuçları verilmiştir.

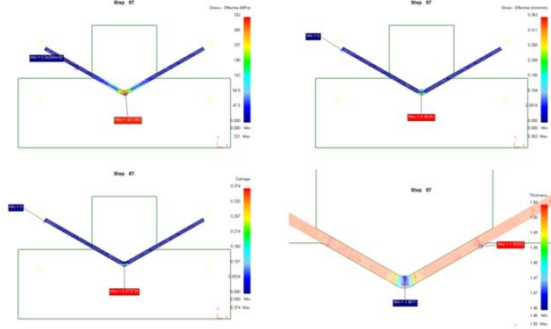


Şekil 12. Simülasyon işlemi

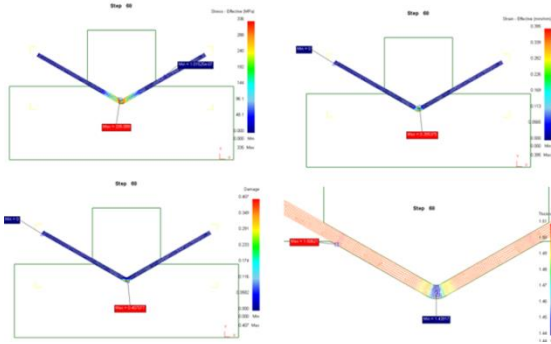
Şekil 13 – 15'te V bükme işleminde bükme açısının 120°, malzeme kalınlığının 1.5 mm ve zımba yarıçapının sırasıyla 1 mm, 2 mm ve 4 mm olduğu durumlarda, gerçekleştirilen analiz sonuçları verilmiştir. Sonuçlarda gerilme, gerinme ve sac kalınlığındaki değişimler görülmektedir.

Zımba yarıçapının 1 mm olduğu numunede, maksimum 335 MPa gerilme altında 0.395 mm bir şekil değişimi meydana gelmiştir. Bükme bölgesinde zımba ile matris arasında malzeme kalınlığı 1.43917 mm olmaktadır. Matris yarıçapı üzerinde ise bu değer 1.50621 mm'dir. Dolayısıyla sac kalınlığında, 0.06080 mm'lik bir incelme meydana gelmiştir. Benzer şekilde zımba yarıçaplarının 2 mm ve 4 mm olduğu numunelerde ise maksimum gerilmeler sırasıyla 321.051 MPa ve 307.219 MPa; şekil değiştirme miktarları ise sırasıyla 0.36341 mm ve 0.231755 mm olmaktadır. Sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, sabit malzeme kalınlığı (1.5 mm) ve bükme açısı değerlerinde (120°); zımba yarıçapının artmasıyla nominal gerilmelerin ve dolayısıyla şekil değiştirme oranlarının azaldığı görülmektedir. Bu durum, artan zımba yarıçapıyla birlikte birim alana etki eden zımba bükme kuvvetlerinin daha

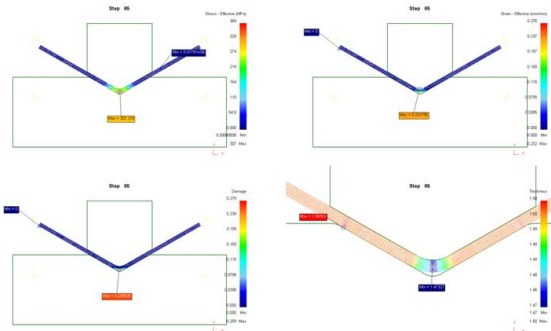
geniş bir alana homojen bir şekilde yayılması ve gerilmelerin yoğunlaşmadan ziyade alana dağılmasıyla ilişkilendirilebilir. Buna bağlı olarak plastik deformasyon ve şekil değiştirme oranları azalmaktadır.



Şekil 13. R=1mm için simülasyon sonucu



Şekil 14. R=2mm için simülasyon sonucu



Şekil 15. R=4mm için simülasyon sonucu

5. Sonuçlar

AA 2024 alüminyum alaşım sac malzemenin V bükme işlemi sonuçları değerlendirildiğinde, malzemenin sac kalınlığı, zımba açısı ve zımba uç yarıçapının geri esnemeyi önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Sac kalınlığının artması ile geri esneme miktarında azalmalar meydana

gelmiştir. Malzemenin hadde yönünün geri esnemeyi etkilediği görülmüş, hadde yönüne dik yapılan bükme işleminde geri esnemenin daha az olduğu tespit edilmiştir. Bükme açısının artması, geri esnemeyi azaltmaktadır. Kullanılan bükme açıları geri esnemeyi doğrudan etkilemiş, 60° ve 90°'lik zımbalarla yapılan deneylerde bükme işlemlerinde kırılma meydana gelmiş, 120° ise istenilen bükme işlemi gerçekleştirilmiştir. Zımba uç yarıçapı geri esnemeyi önemli derecede etkilemiş ve uç yarıçapı arttıkça geri esneme artışı görülmüştür.

6. Kaynaklar

1. Li KP, Carden WP, Wagoner R.H., (2002). Simulation of springback", *International Journal of Mechanical Sciences*, **44**: 103-122.
2. Carden W.D., Geng L.M., Matlock D.K., Wagoner R.H., (2002). Measurement of springback, *International Journal of Mechanical Sciences*, **44**: 79-101.
3. Ataşımşek, S., (1979). Sac Kalıpları", *M.E.B.*, Bursa, 232-337.
4. Ötü, R., Demirci, H.İ., (2012)60°'lik V bükme kalıbında AA 5754 ve AL 1050 Sac Malzemelerin Farklı Bükme Metotları Kullanılarak Geri Esneme Miktarlarının Tespiti, *International Iron & Steel Symposium*, Karabük, 1006-1013
5. Tekaslan, Ö., Gerger N., Şeker., U., (2008). V Bükme Kalıplarında Bakır Sac Malzemelerin Geri Esneme Miktarlarının Tespiti", *Gazi Üniversitesi Müh. Mim.Fak.Der.*, **23**: 201-238.
6. Tekiner, Z., (2004). An experimental study on the examination of springback of sheet metals with several thicknesses and properties in bending dies", *Journal of Materials Processing Technology*, **145**: 109-117
7. Altan, T., Ngaile, G., Palaniswamy, H., (2004). Optimization of blank dimensions to reduce springback in the flexforming process", *Journal of Materials Processing Technology*,: 28-34.
8. Altan, T., Livatyali, H., Kinzel, L., (2003). Computer aided die design of straight flanging using approximate numerical analysis", *Journal of Materials Processing Technology*, **142**: 532-543
9. Tiryaki, A., Şahin, Ş., Kazan, R., Fırat, M., (2006). Sac Metalleri Bükme İşleminde Geri Esneme Açısının Yapay Sinir Ağları İle Kestirimi, *11 th. Conference for computer-Aided Engineering and System Modeling, Metal Forming*, 8-16.
10. Gan, W., Wagoner, R.H., (2004). Die design method for sheet springback, *International Journal of Mechanical Sciences*, **46**: 1097-1113
11. Nilsson, A., Melin, L., Magnusson, C., (1997). Finite-element simulation of V-die bending: a

compariso experimental results, *Journal of Materials Processing Technology*, **65**: 52-58

12. Carden, W.D., Genga, L.M., Matlock, D.K., Wagoner, R.H., (2002). Measurement of springback, *International Journal of Mechanical Sciences*, **44**: 79-101.

13. Mullan, H.B., (2004). Improved prediction of springback on final formed components, *Journal of Materials Processing Technology*, **153-154**: 464-471.

14. Lin, Z., Zhang, L.C., (1997). An analytical solution to springback of sheet metals stamped by a rigid punch and an elastic die, *Journal of Materials Processing Technology*, **63**: 49-54.

15. Moon, Y.H., Kang, S.S., Cho, J.R., Kim, T.G., (2003). Effect of tool temperature on the reduction of the springback of aluminum sheets, *Journal of Materials Processing Technology*, **132**: 356-368.

16. Chan, W.M., Chew, H.I., Lee, H.P., Cheok, B.T., (2004). Finite element analysis of spring-back of V-bending sheet metal forming processes, *Journal of Materials Processing Technology*, **148**: 15-24.

17. Onate, E., Rojek, J., (1997). Prediction of elastic springback defects in sheet stamping processes using

finite element methods", *Advanced Methods in Material Processing Defects*, 349-359.

18. Lia, K.P., Carden, W.P., Wagoner, R.H., (2002). Simulation of springback, *International Journal of Mechanical Sciences*, **44**: 103-122.

19. Inamdar, M.V., Date, U.B., Desai, U.B., (2000). Studies on the prediction of springback in air vee bending of metallic sheets using an artificial neural network, *Journal of Materials Processing Technology*, **108**: 45-54.

20. Chatti, S., Hermi, N., (2011). The effect of non-linear recovery on springback prediction, *Computers and Structures*, **89**: 1367-1377.

21. Gau, T., Kinzel, L., (2001). An experimental investigation of the influence of the Bauschinger effect on springback predictions", *Journal of Materials Processing Technology*, **108**: 369-375.

22. Toros S., Ece E.R., Öztürk F., Alkan M., (2009). 5754-O Al-Mg Alaşımında Ön Gerilmenin Geri Esnemeye Etkisinin Deneysel ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1-9.

Sarsma Tablasına Maruz Kalan Dolgu Duvarların Görelî Maksimum Düzlem-Dışı Deplasmanının Yapay Sinir Ağı Modelleri ile Tahmini

Onur ONAT*¹, Muhammet GUL²

¹Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tunceli

² Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Tunceli

*onuronat@munzur.edu.tr

(Geliş/Received: 19.07.2017; Kabul/Accepted: 11.01.2018)

Özet

Bu çalışma, sarsma tablasında suni deprem yüküne maruz bırakılmış betonarme çerçeveli dolgu duvarların düzlem-dışı deplasman, göçme modu ve göçme limitinin yapay sinir ağıları (YSA) modelleri ile tahmin edilmesini amaçlamaktadır. Bu amaç için, sarsma tablasında yapılmış iki adet deney sonucu değerlendirilmiştir. Model-I güçlendirilmemiş tuğla duvarlı dolgu duvar numunesi, Model-II ise tuğla duvarlarının arası derz donatıları ile güçlendirilmiş dolgu duvar modelidir. Belirli bir ivme seviyesinden sonra duvar üzerinde çatlakların oluştuğu yerlerdeki ivme ölçerler çıkarılmıştır ve veri kaybı oluşmuştur. Kayıp olan düzlem-dışı görelî maksimum deplasman verileri YSA modelleri ile tahmin edilmiştir. Ayrıca dolgu duvarın düzlem dışı davranışı boyunca oluşan göçme mekanizması 0,79g seviyesinde her iki model için tahmin edilmiştir. Bu çalışma, YSA temelinde oluşturulmuş modellerin, kayıp verileri tam olarak tahmin ederek kesin sonuçlar alınacağını kanıtlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapay sinir ağıları, Düzlem-dışı deplasman, Dolgu duvar, Deprem

Prediction of maximum relative out-of- plane displacement of infill wall exposed to shake table by using artificial neural network models

Abstract

This paper aims to present forecasting of relative out-of-plane displacement, failure mode and failure limit of reinforced concrete frame enclosure with infill wall by artificial neural network (ANN) models. For this purpose, two shake table experiment test results were evaluated. Model-I is unreinforced brick model and Model-II is composed of infill wall with bed joint reinforcement. After a certain acceleration level, accelerometers are detached from the cracked wall surface in order not to be damaged. These instrument detachments cause data missing. Missing relative maximum out-of-plane displacements were predicted by ANN models. Moreover, failure of infill wall through out-of-plane direction is also predicted at 0,79g acceleration level for both models (Model-I and Model-II). This study proves that ANN based procedure predict robust results to estimate missing experimental data.

Keywords: Artificial neural network, Out-of-plane displacement, Infill wall, Earthquake

1. Giriş

Sarsma tablaları yapısal sistemlerin ve yapısal elemanlarının herhangi bir sismik aktivite altındaki tepkilerinin ölçüldüğü en ideal sistemlerdir. Bu simülasyon sistemleri temelde bir platform, hidrolik ayaklar ve ölçeklenmiş veya ölçeklenmemiş yapılardan oluşurlar. Platforma verilecek suni itkiler ise yatay hidrolik kuvvet sistemleri tarafından sağlanır. Sarsma tablası deneyleri, yarı-statik, tekrarlı-monotonik ve benzeşik dinamik test teknikleriyle kıyaslanınca oldukça maliyeti yüksek deneylerdir [1]. Dolgu

duvarların sismik aktivite altında düzlem-içi ve düzlem dışı deplasmanlarının deneysel yöntemlerle belirlenmesi, herhangi bir geçek deprem durumunda can ve mal kaybını önlemek için önem arz eder. Bu deneysel çalışmalar, hedeflenen durumlar için önlem alma ve uygun güçlendirme önerileri sunmak için gerekli adımlardır [2-5]. Dünya üzerinde devam eden depremler göstermiştir ki, can ve mal kayıplarının çok büyük bir kısmı dolgu duvarların düzlem dışı göçmesinden kaynaklanmıştır. Bu gerçek, araştırmacıların çalışmalarını dolgu duvarların genel ve özel davranışlarını araştırmaya itmiştir

[6-9]. Çift yönlü deprem yükleri altında, düzlem dışı davranışlar birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır [10-16]. Birbirini tetikleyen düzlem-îçi ve düzlem-dışı hasar etkileşimi, dolgu duvarların deprem esnasında rijitliğini ve tedrici göçme mekanizmasını doğrudan etkilemektedir [17]. Dolgu duvarların düzlem-dışı deplasmanı ile hasar ve göçme mekanizmalarını incelemek için yapılan deneysel çalışmaların temel amacı, lineer olmayan davranış eğrisini net bir şekilde ortaya çıkarıp, dolgu duvarların göçme anı ile ilgili fikir sahibi olabilmek. Bu amaçla deneysel numunelerin üzerine yerleştirilen; LVDT (Linear Variable Differential Transformer, Türkçesi; Doğrusal Değişken Fark Transformatörü), potansiyometre ve ivmeölçer gibi aletlerin doğru davranışı ortaya çıkarabilecek kayıtlar yapması gerekmektedir. Fakat bu aletler, çok pahalı olduklarından, deneysel çalışmanın sonlarına gelmeden ve lineer olmayan davranış tam olarak kaydedilmeden demonte edilmek zorunda kalmaktadır [14]. Furtado vd. (2016) düzlem-îçi çatlak oranının, düzlem-dışı göçmeye ve göçme mekanizmasına etkilerini araştırmak için bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, çift katmanlı dolgu duvarlar düzlem-dışı yüklemelere maruz bırakılmışlardır. Fakat, dolgu duvarların düzlem dışı toptan göçmelerini engelleyerek toplam veri kaybını önlemek, duvarların üzerindeki ölçüm yapan cihazlara ve deney düzeneğine zarar vermemek için; deney, düzlem-îçi katlar arası görelî ötelenmenin % 0,5 oranından sonra, ek aparatlar yardımıyla devam ettirilmiştir [18]. Bazı deneysel çalışmalarda ise düzlem-dışı göçme ve hasar mekanizması tayini için düzlem-îçi taşıma kapasitesinin belirli bir yüzdesi kadar düzlem-dışına yük, orantılı olarak uygulanmaktadır. Mısır vd. (2015, 2016) düzlem-îçi taşıma kapasitesinin %30'u kadar yükü düzlem dışına tedrici olarak uygulamışlardır. Bu orantılı yük uygulama sayesinde dolgu duvarların kırılğan yapısı da göz önüne alınarak, lineer olmayan davranışlarının ilk adımları rahatlıkla incelenebilmektedir fakat veri kaybı narinlik etkisinden dolayı deneyin ortalarında cihazların hasarını engellemek için çıkarılmasıyla tekrar bir problem olarak ortaya çıkmaktadır [19, 20]. Shan vd. (2016) dolgu duvarların düzlem dışı davranışlarıyla ilgili bir dizi deneysel çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalar esnasında, düzlem dışı ivme ve deplasmanları kaydeden bazı aletler

demonte edilmiştir. Bu aletlerin yapamadığı ölçümler, deneysel çalışmanın katkılarının matematiksel olarak ifadesini zorlaştırarak, lineer olmayan aşamayı ve limit durumların incelenmesini zorlaştırmıştır. Bu kayıp verilerin tahmini ve lineer olmayan durumların incelenmesi için ileri adımların tahmin edilmesi önem arz etmektedir [21].

Bu çalışmada güçlendirmesiz ve güçlendirmeli iki adet 1:1 ölçekli betonarme çerçeveli dolgu duvarın, sarsma tablası üzerinde düzlem dışı deplasmanının değerlendirildiği çalışma temel alınarak, kayıp veriler YSA tabanlı bir model geliştirilerek tahmin edilmiştir. Çalışmada ayrıca 0.79g seviyesindeki hasara ve takip eden göçme mekanizmasına sebep olan düzlem dışı görelî maksimum göçme mekanizması tahmin edilen verilerle çizilerek limit göçme durumu belirlenmiştir.

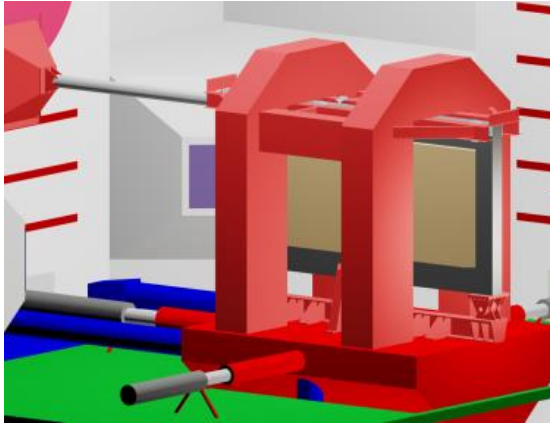
2. Önceki Çalışmalar

Tahmin, inşaat mühendisliği uygulamalarının en önemli çalışma alanlarından birini oluşturmaktadır. Literatürde betonarme yapılar [22], sarsma tablası testleri [23], dolgu duvarlı yapılar [24], kerpiç duvarlı yapılar [25], betonarme T-kiriş köprüler [26] ve yapılar üzerinde dinamik analizinin kullanıldığı betonarme çerçevelerin performansı [27] ile ilgili tahmin çalışmaları yapılmıştır. Topçu vd. (2009) betonarme yapının korozyon akımlarını modellemek için ileri beslemeli bir YSA modeli geliştirmişlerdir. 4 girdi (Uçucu kül oranı, çimento tipi, kuruma süresi, zaman aralığı) ve 1 çıktı (korozyon akımı) değişkeni kullanarak önerdikleri bu model ile yüksek doğrulukta tahminler yapmışlardır (MAPE: 9,4371, RMSE: 0,0114 ve Korelasyon katsayısı: 0,9941) [22]. Sipos vd. (2013) betonarme çerçeve ile dolgu duvarların davranışını düzlem içi yük altında tahmin etmek için hassasiyet ve boyutsuz parametre yaklaşımını kullanmışlardır [24]. Garzon-Roca vd. (2013), deneysel verinin temelinde tuğla duvarının maksimum düşey yük kapasitesini tahmin etmek için yeni bir YSA tekniği önermişlerdir [25]. Doğrusal ve doğrusal olmayan parametrelerin Levenberg-Marquardt geri yayımlı YSA modeli ile kalibrasyonu Hasançebi ve Dumlupınar (2013) tarafından çalışılmış ve yüksek doğruluk elde edilmiştir [26].

Yukarıda kısaca özetlenen çalışmalardan hareketle, inşaat mühendisliğinin özel bir konusu olan dolgu duvarının görelî maksimum düzlem-dışı deplasman değerlerinin tahmin edilmesinde YSA modellerinin kullanılması yeni ve uygun bir çalışma motivasyonu olduğu söylenebilir. Bu nedenle, bu YSA tabanlı yöntemin kullanılması ile, inşaat mühendisliği alanındaki karar vericilere, depremlere karşı makro ölçekte alınan tedbirlerin ve politikaların belirlenmesinde katkı sağlaması amaçlanmıştır.

3. Materyal ve Metot

Bu çalışmanın verileri Portekiz Ulusal İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında (LNEC) yapılan sarsma tablası deneylerinden alınmıştır [28]. Deneysel çalışmada temel amaç, çift yönlü ve eşzamanlı sarsma tablası deneyine tabi tutulan güçlendirmesiz dolgu duvar (Model-I) ile derz donatıları ile güçlendirilmiş (Model-II) dolgu duvarların gerçek davranış simülasyonunu yaparak, yerel tepkilerini ortaya çıkarmak ve derz donatılarının dolgu duvarların rijitliğine ve sünekliğine katkısını ifade etmektir. Bu deney seti ve dolgu duvarın davranışının simülasyonu Şekil 1'de gösterilmiştir.

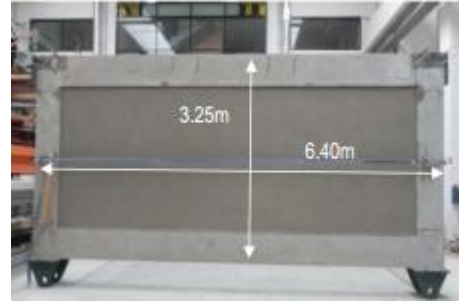


Şekil 1. Deney seti ve dolgu duvarın davranış simülasyonu [39]

Bu çalışmadan elde edilen veriler kullanılarak, kayıp veriler YSA modelleri ile tahmin edilmiş ve daha sonra limit durumu için 0,79g seviyesindeki göçme anına ait veriler tek bir grafikte toplanarak göçme modu belirlenmiştir.

3.1. Materyal

Bu çalışmaya esas deneysel çalışma, 1:1 ölçekli güçlendirmeli ve güçlendirmesiz iki adet betonarme çerçevesiz dolgu duvarın çift yönlü eş zamanlı deprem yükü altında düzlem-dışı hasar ve göçme modlarını araştırmak amacıyla uygulanmıştır. Deneye tabi tutulan numune Şekil-2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Deneye tabi tutulan numune ve boyutları [28]

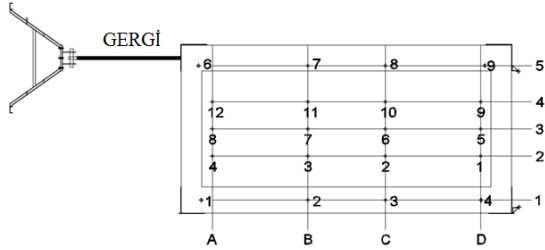
Deneye tabi tutulan betonarme malzemenin hedef mukavemeti C25/30 seçilmiştir. Dolgu duvar ise 22 cm kalınlığında tuğladan imal edilmiştir. İmal edilen betonarme çerçevesiz dolgu duvar numuneler sarsma tablası üzerindeki özel çelik destekler arasına yerleştirilerek, suni deprem yüküne maruz bırakılmıştır. Deney öncesi son durum Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Deney öncesi numune, sarsma tablası ve çelik destekler [28,39]

Dolgu duvarın üzerine düzlem-dışı doğrultudaki ivmeyi ölçmek için 12 adet ivme ölçer, betonarme çerçeve üzerine ise düzlem-dışı ivmeleri ölçmek için 8 adet ivme ölçer yerleştirilmiştir [28]. Betonarme çerçeve ve duvar üzerindeki ivmelerden aynı doğrultuda olanlar sanal akslar ile işaretlenerek düşey doğrultuda olanlar harflendirilmiş, enine doğrultuda olan akslara ise rakamlar verilmiştir. Modellere ait tablolar ve grafikler bu akslar temelinde çizilmiştir. Test edilen betonarme çerçeveli dolgu duvar modelinin, ivme ölçerlerin, düşey ve yatay aksların şematik çizimi Şekil 2’de gösterilmiştir.

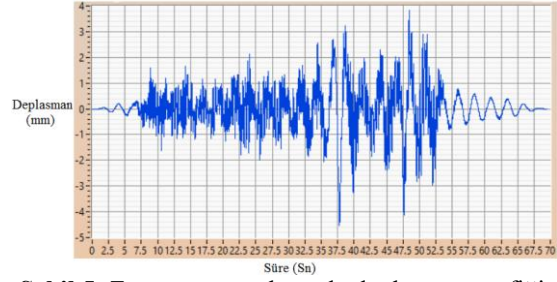
Şekil 4’te de gösterildiği gibi yatay doğrultuda 5 adet, düşey doğrultuda ise 4 adet aks bulunmaktadır. Bu sanal aksların belirlenmesindeki temel amaç, deneysel olarak elde edilen veriler ile oluşturulacak olan tabloların düzlem dışı göçme moduna ait verilerin kolay ve anlaşılabilir bir şekilde gösterilmesidir.



Şekil 4. İvme ölçerlerin yerleşimi ve akslar

Deneye tabi tutulan modeller için oluşturulan tablolar, zaman tanım alanında elde edilen deplasman grafiklerinden alınmıştır. Bu grafikler çizilirken, betonarme çerçevenin üst ve alt girişinden okunan değerlerin ortalaması alınmıştır, daha sonra bu ortalama deplasman değerinden 2, 3 ve 4 numaralı akslara ait deplasman değerleri çıkarılarak dolgu duvarın betonarme çerçeveye göre yaptığı maksimum düzlem dışı görelî deplasmanlar hesaplanmıştır. Hesaplanan deplasmanların zaman tanım alanından bir görüntü Şekil 5’te gösterilmiştir.

Bu hesaplama sonucunda oluşturulan ve Model-II’ye ait olan 0.59g seviyesindeki deplasman tablosu ve kayıp veriler Tablo 1’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Zaman tanım alanında deplasman grafiği.
0,59g A4 deplasmanı

Kayıp veriler dolgu duvarda oluşan sıva çatlaklarından dolayı oluşmuştur. Oluşan sıva çatlakları dökülmeye başladığı için 0.59g seviyesindeki deneye başlamadan önce Tablo 1’de (*) ile gösterilen kısımlarda ivme ölçerler çıkarılmıştır. Anılan çizelgelerde sıfır ile gösterilen 1. ve 5. satırların sıfır ile gösterilmesinin sebebi yukarıda da açıklandığı gibi betonarme çerçevenin deplasman değerlerinin ortalaması alındıktan sonra görelî deplasman hesabı için referans olarak kabul edilmesidir. Ayrıca kayıp veriler tahmin edildikten sonra, göçme moduna ait verilerin tam olarak gösterilmesini kolaylaştırmak. Şekil 1’de reaksiyon duvarına sabitlenmiş bir adet gergi de görülmektedir. Bu gerginin amacı, betonarme çerçeveli dolgu duvarın, sarsma tablasının hareketi esnasında, üstten mesnetleyerek düzlem içi hasar oluşmasını ve görelî kat ötelenmesi oluşmasını sağlamak. Bu deney esnasında kullanılan deprem kayıtları, Eurocode-8’e göre laboratuvar ortamında geri dönüş oranına bağlı olarak tasarım spektrumu tabanlı suni olarak üretilmiş kayıtlardır. Bu çalışmada kayıp verilerin tahmin edilmesi ve göçme adımına yönelik tahmin amaçlı her bir model için 4 girdi değeri tanımlanmıştır. Bunlar; maksimum zemin ivmesi (PGA), diferansiyel ağırlık ve ivme ölçerlerin bağlı bulunduğu koordinatın gergiden düşey ve yatay olan mesafeleri. Bu çalışmadaki girdi değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Model-II 0.59g seviyesi görelî maksimum deplasman değerleri

	A	B	C	D
5	0	0	0	0
4	5.43	*	18.85	*
3	4.52	*	*	4.3
2	*	*	30.8	4.16
1	0	0	0	0

Sarsma tablası deneyi Model-I için 4 adımda, Model-II için ise 5 adımda yapılmıştır. Bu deneylerden Model-I, tüm aletler üzerinden çıkarıldıktan sonra hasar durumuna bakılmak için maksimum 0.79g zemin ivmesiyle teste tabi tutulmuştur.

Tablo 2. Girdi değişkenlerinin tanımı

Parametreler	Birim	Değişken Tipi	Detay	
			Model-I	Model-II
PGA	g	Girdi	0.04 0.18 0.28 0.53	0.05 0.15 0.38 0.59 0.74
Yerel ağırlık	Ton	Girdi	0.1; 0.142; 0.15; 0.23	
Gergiden olan düşey mesafe	m	Girdi	1.1; 1.11; 1.64; 2.15; 2.16	
Gergiden olan yatay mesafe	m	Girdi	0.6; 2.46; 3.95; 5.8	

Bu adım Tablo 2'deki PGA değerlerine yazılmamıştır. Bu adımdaki düzlem-dışı görel maksimum ötelenmeyi bulmak için iki model göz önüne alınarak tahmin yapılmış ve göçme değerleri tablolaştırılmıştır. İki deneysel model için, 0.79g seviyesindeki göçme moduna ait görel maksimum deplasman değerleri tahmin edilmeden önce zaman tanım alanında okunan tüm ivmeler, karşı gelen deplasman değerlerine

çevrilmiştir. Çevrildikten sonra Model-II'nin 0.59g seviyesindeki eksik verileri yapay sinir ağları modeli oluşturularak tahmin edilmiştir. Model-II'ye ait eksik veriler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1'de gösterilmiş olan tüm deplasman değerleri, ivmelerin iki defa türevlerinin alınması ile aşağıdaki formüller yardımıyla elde edilmiştir.

$$a = \max|\ddot{u}_g(t)| \quad (3.1)$$

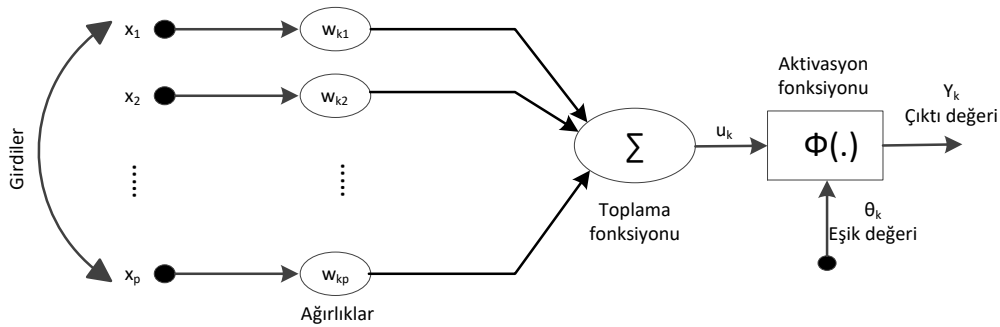
$$v = \max|\dot{u}_g(t)| \quad (3.2)$$

$$d = \max|u_g(t)| \quad (3.3)$$

a , v ve d değerleri sırasıyla ivme, hız ve deplasmanı temsil etmektedir.

3.2. Metot

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin özelliklerinden esinlenerek; öğrenme yoluyla yeni bilgiler türetebilme, keşfetme ve oluşturma gibi yetenekleri otomatik olarak gerçekleştirmek amacıyla geliştiren bilgisayar sistemleridir. YSA'nın çalışmasına esas teşkil eden en küçük birimler yapay sinir hücresi olarak tanımlanır [29-32]. En basit yapay sinir hücresi girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon (transfer) fonksiyonu ve çıkış olmak üzere 5 ana bileşenden oluşmaktadır [33]. Şekil 6'de bir YSA modeline ait akış gösterilmiştir.



Şekil 6. YSA ve bileşenlerinin gösterimi

Aktivasyon fonksiyonu ağı giren ve çıkan birimler arasındaki doğrusal olmayan eşleşmeyi sağlar. Aktivasyon fonksiyonunun doğru seçilmesi, ağ performansı üzerinde etkilidir. Genellikle hatayı minimum yapan, en yaygın

uygulama alanına sahip olan çok katmanlı ağ modellerinde aktivasyon fonksiyonu çoğunlukla sigmoid tercih edilmektedir [33]. Uygulamalarda kullanılan diğer aktivasyon fonksiyonları doğrusal, adım (step) ve hiperbolik tanjant

fonksiyonları olarak ifade edilebilir. Bir yapay sinir ağı sadece girdi ve çıktı katmanlarından oluşuyorsa tek katmanlı ağıdır. Çok katmanlı ağlarda ise, birden fazla gizli katman bulunmaktadır. YSA ile modellemede başvurulan diğer parametreler normalizasyon, katman sayısı, öğrenme katsayısı ve momentum katsayısıdır. Öğrenme katsayısı ağırlıkların değişim miktarını belirlemektedir. Momentum katsayısıysa bir önceki iterasyondaki değişimin belirli bir oranını yeni değişim miktarına eklenmesi durumudur. Ağın yerel çözümlere takılmasını engellemek için kullanılmaktadır [33]. YSA'nın çalışması iki aşamadan oluşmaktadır: eğitim ve test aşaması. Eğitim aşamasında karar verilen öğrenme algoritmasına göre ağırlıklar hesaplanır ve bu değerlere göre bir çıktı hesaplanır. Test aşamasında ise ağın görmediği örneklerden faydalanılarak sistem test edilir. YSA ağın öğrenme yöntemine göre birçok algoritmadan yararlanmaktadır. Bunlar arasında başlıcaları geri yayılma, Levenberg Marquardt algoritması, hızlı yayılım (Quick Propagation), eşleştirmeli eğilim (Conjugate Gradient) algoritması, Quasi Newton öğrenme algoritması, online geri yayılım (Online Back Propagation) ve grup geri yayılım (Batch Back Propagation) algoritmaları olarak sayılabilir. YSA; inşaat [22], gıda [34], sağlık [32,35], enerji [36] vb. [37,38] birçok alanda başarı ile uygulanmıştır. Uygulama konusu yönünden bakıldığında, başta tahmin olmak üzere sınıflandırma, veri birleştirme, resim ve görüntü işleme gibi konularda YSA sıkça başvurulan bir metod olmuştur. YSA modellerinin performansını belirlemede çeşitli ölçütler vardır. Bu ölçütlerden bazıları hata kareleri toplamı (*Mean Squared Error-MSE*), ortalama mutlak hata (*Mean Absolute Error-MAE*), ortalama mutlak yüzde hata (*Mean Absolute Percentage Error-MAPE*) olarak literatürde kullanılmaktadır. Bu ölçütler (3.4-3.6)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (3.4)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (3.5)$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i - y_i}{x_i} \right| \quad (3.6)$$

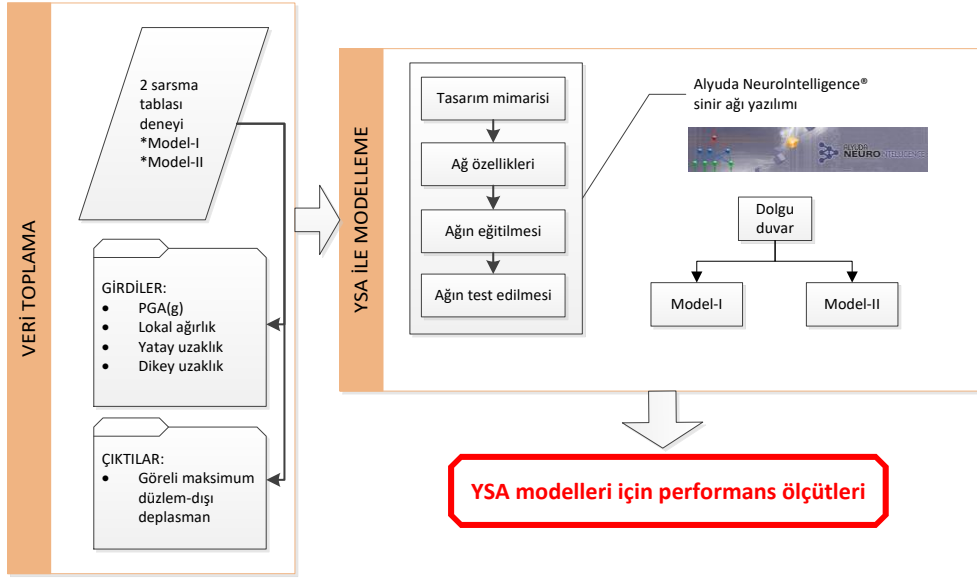
Burada x_i gözlenen değeri belirtirken, y_i ise tahmin edilen değeri göstermektedir.

Bu çalışmada sarsma tablasına maruz kalan dolgu duvarların görelî maksimum düzlem dışı deplasmanının kurulan YSA modelleri ile tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Şekil 7'de gösterilen YSA tabanlı modelleme yaklaşımı önerilmiştir. İlk olarak her iki modele ait veriler derlenmiştir. Model-I, her bir parametre için (YSA için kullanılan girdi ve çıktı parametreleri) 48 adet veriye sahipken, Model-II, 42 adet veriye sahiptir.

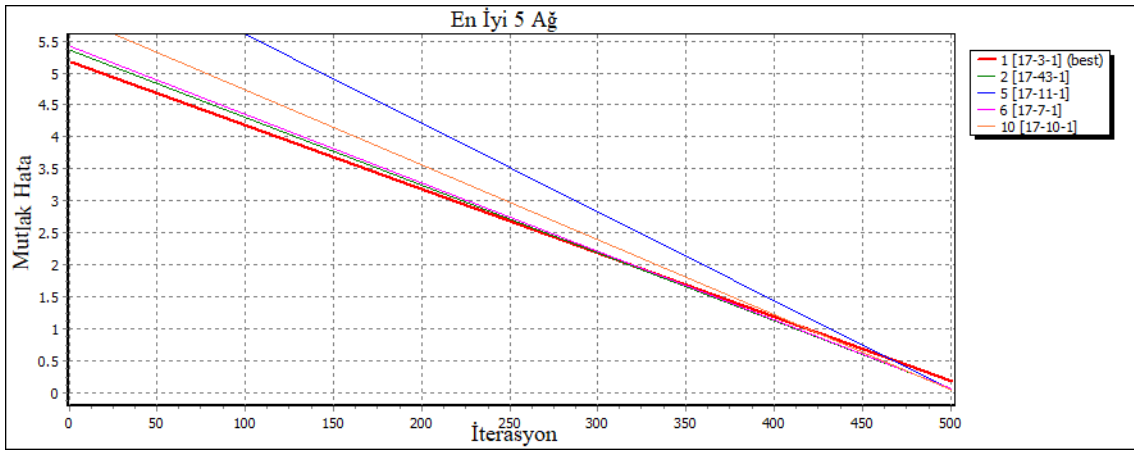
Bu ilk aşamadan sonra veriyi bölme ve normalize etme aşamaları gelmektedir. Tasarım mimarisi ve ağ özellikleri belirlendikten sonra YSA'ya bağlı eğitim ve test modelleri çalıştırılmıştır. Son olarak bu çalıştırmadan elde edilen performans ölçütlerine göre modellerin doğruluğu ve performansı değerlendirilmiştir.

4. Analiz

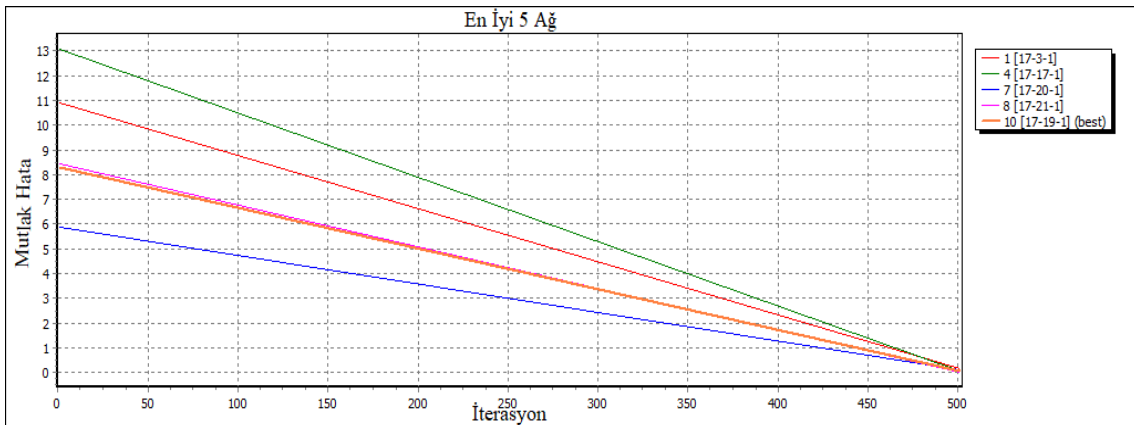
Gizli katman, nöron sayısı, ağın eğitilmesi için gerekli iterasyon sayısı, öğrenme algoritması ve transfer fonksiyonlarının seçimi için otomatik bir seçme modülünden yararlanılmıştır. Her iki model için Bölüm 4'de ifade edilen veri setlerinin YSA yazılımına aktarılmasından sonra veri setleri; ağın eğitimi, doğrulanması ve testi için 68:16:16 oranında ayrılmıştır. Otomatik ağ mimarisini seçme modülü [x-y-z] şeklinde bir yapıya sahiptir. Burada x, girdi değişkenlerinin sayısını ifade etmektedir. z, gizli katman sayısını, y ise gizli katman nöron sayısını göstermektedir. Model-I ve Model-II için, yazılımdan elde edilen en iyi ağlar ve yapıları Şekil 8 ve Şekil 9'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Önerilen YSA modelleme yaklaşımı



Şekil 8. Model-I için en iyi ağın seçilmesi



Şekil 9. Model-II için en iyi ağın seçilmesi

Her iki model için öğrenme oranı ve momentum katsayısı 0,1 olarak belirlenmiştir.

Farklı öğrenme oranı ve momentum katsayıları (0,2 ve 0,9) için de denemeler yapılmıştır. Ayrıca,

Quasi-Newton, Levenberg–Marquardt, Quick Propagation, ve Online-Back Propagation gibi algoritmalarla kurulan modeller de denenmiştir. Yapılan denemeler sonucunda en iyi ağlar ve bu ağlara ait parametreler Tablo 3’de verilmiştir.

Model-I ve Model-II’ye ait gerçek ve çıktı değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin çizimler sırasıyla Şekil 10 ve Şekil 11’de verilmiştir. Bunlar eğitim, doğrulama ve test için kullanılan verinin tamamını kapsayan grafiklerdir.

Yatay eksen, veri satır numarasını (eğitim, doğrulama ve test veri setleri dahil); dikey eksen ise hedef ve çıkış değerlerinin miktarını göstermektedir. Bu grafiklerde daha fazla çakışan nokta, geliştirilen YSA modellerinin daha yüksek doğruluğa sahip olduğunu göstermektedir.

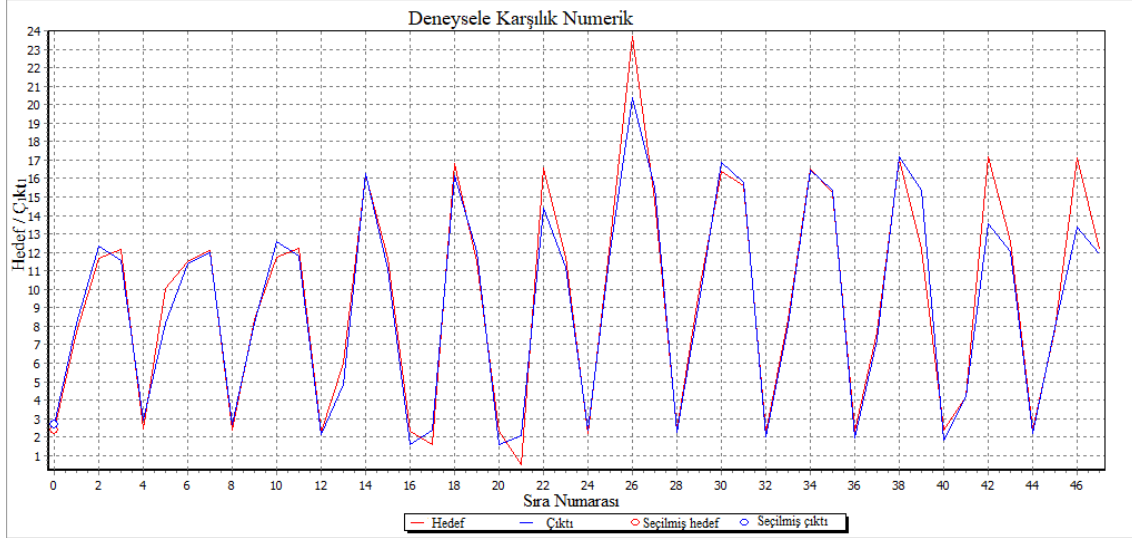
Elde edilen sonuçlar ve kullanılan gerçek veriler arasındaki karşılaştırma, YSA modellerinin, sarsma tablasına maruz kalan dolgu duvarların görelî maksimum düzlem dışı deplasmanını tahmin etmede uygun olduğunu göstermiştir. YSA modelleri doğrulandıktan sonra, Tablo 1’de ifade edilen Model-II için 0,59g seviyesindeki kayıp veriler tahmin edilmiştir (Tablo 4).

Model-II için kayıp veriler edildikten sonra, dolgu duvarının deplasmanı 0,79g PGA düzeyi için tahmin edilmiştir (Tablo 5). 0,79g PGA

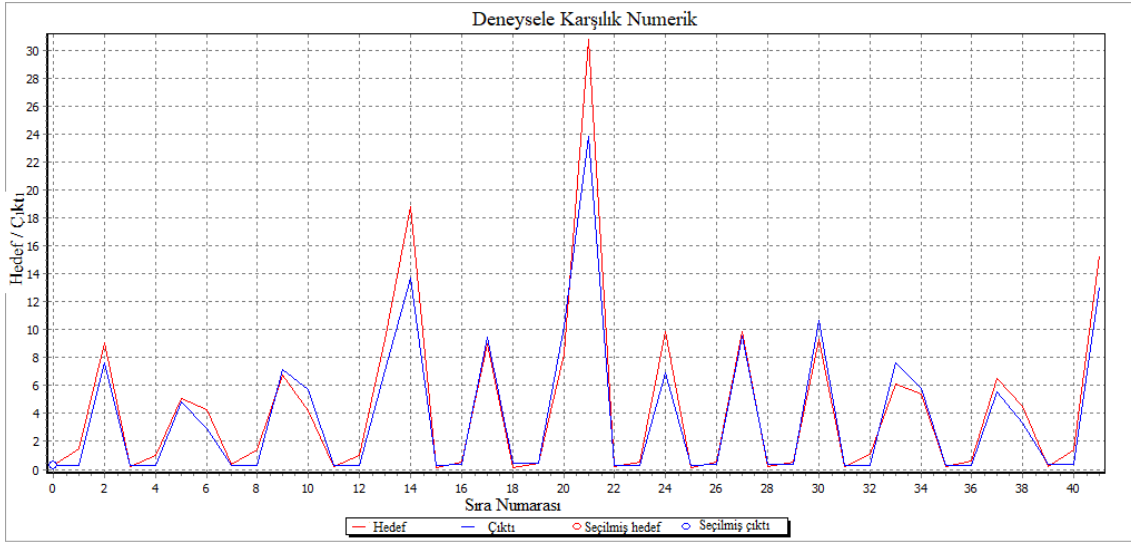
düzeyi sarsma tablasında herhangi bir ölçüm cihazı olmadan yapının ağır hasar durumunu belirlemek için yapılan son test adımı olduğu için bu PGA düzeyine göre tahmin yapılmıştır. Bu seçim, her iki modelin de kıyası için yapılmış bir tahmin düzeyidir. Karşılaştırmanın amacı dolgu duvar için bir güçlendirme tekniği olarak Model-II’nin katkısını açıkça ortaya koymaktır.

Tablo 3. En iyi ağlar ve ilgili parametreler

Parametreler	Model-I	Model-II
Ağ mimarisi	[17-8-1]	[17-19-1]
Öğrenme algoritması	Quick Propagation	Quick Propagation
Ara katman fonksiyonu	Logistic	Logistic
Çıktı katmanı fonksiyonu	Logistic	Logistic
İterasyon sayısı	501	501
Ort. eğitim hatası	0.517216	1.177598
Ort. doğrulama	0.915573	0.373163
Ort. test hatası	1.702721	0.522882
R ²	0.981628	0.918559
Öğrenme oranı	0.1	0.1
Momentum	0.1	0.1



Şekil 10. Model-I için gerçek değerlerin ve tahmini çıkış değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 11. Model-II için gerçek değerlerin ve tahmini çıkış değerlerinin karşılaştırılması

Tablo 4. Model-II 0,59g seviyesi için kayıp verilerin tahmin sonuçları

PGA	Aks No	Diferansiyel Ağırlık	Düşey mesafe	Yatay mesafe	Görelî maksimum düzlem-dışı deplasman
0.59	9	0.15	1.11	5.8	10.18
0.59	6	0.142	1.64	3.95	11.45
0.59	11	0.23	1.1	2.46	13.27
0.59	7	0.142	1.64	2.46	10.9
0.59	3	0.23	2.16	2.46	13.37
0.59	4	0.15	2.16	0.6	12.72

Tablo 5. Model-I ve II 0,79g seviyesi için YSA ile tahmin edilen görelî maksimum düzlem-dışı deplasman değerleri

PGA	Aks No	Diferansiyel Ağırlık	Düşey mesafe	Yatay mesafe	Görelî maksimum düzlem-dışı deplasman	
					Model-I	Model-II
0.79	9	0.15	1.11	5.8	15.11	10.75
0.79	5	0.1	1.64	5.8	12.26	7.4
0.79	1	0.15	2.15	5.8	15.97	13.19
0.79	10	0.23	1.1	3.95	15.62	13.32
0.79	6	0.142	1.64	3.95	15.11	11.83
0.79	2	0.23	2.16	3.95	15.19	13.37
0.79	11	0.23	1.1	2.46	12.95	13.3
0.79	7	0.242	1.64	2.46	15.11	11.37
0.79	3	0.23	2.16	2.46	14.14	13.37
0.79	12	0.15	1.1	0.6	18.3	8
0.79	8	0.1	1.64	0.6	15.97	5
0.79	4	0.15	2.16	0.6	12.49	12.86

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, YSA metodu kullanılarak geliştirilen iki farklı model ile, sarsma tablasına maruz kalan dolgu duvarların görelî maksimum düzlem dışı deplasmanı tahmin edilmiştir. Çalışmada, gerçek değerler ile YSA kullanılarak elde edilen değerler arasındaki korelasyon yüksek olarak elde edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, YSA modellerinin inşaat mühendisliği için önemli olan böyle bir durumu analiz etmede başarılı bir şekilde kullanılabilirdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca ileriki çalışmalar için, adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve regresyon modelleri gibi diğer tahmin metotları kullanılarak dolgu duvarların düzlem dışı deplasmanlarının tahmin eden çalışmalar gerçekleştirilebilir.

6. Kaynaklar

- Mendes, N., (2012). Seismic assessment of ancient masonry buildings: shaking table tests and numerical analysis. Doktora Tezi, Minho Üniversitesi, Guimaraes, Portekiz.
- Dolšek, M., P. Fajfar., (2002). Mathematical modelling of an inlled RC frame structure based on the results of pseudo-dynamic tests, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **31**: 1215-1230.
- Shing, P. B., A. B. Mehrabi, (2002). Behaviour and analysis of masonry-infilled frames, *Progress in Structural Engineering and Materials*, **4**(3): 320-331.
- Anil, Ö., Altın, S., (2007). An Experimental Study on Reinforced Concrete Partially Infilled Frames, *Engineering Structures*, **29**: 449-460.

5. Pereira, M. F. P., (2013). Avaliação do desempenho das envolventes dos edifícios face à acção dos sismos (Portekizce). İnşaat Mühendisliği Bölümü, Minho Üniversitesi. Doktora Tezi.
6. Leite, J. M., (2014). Seismic Behavior of Masonry Infill Walls: Test and Design, Doktora Tezi, Minho Üniversitesi, Guimarães, Portekiz.
7. Onat, O., Lourenco, P. B., Kocak, A., (2015). Experimental and numerical analysis of RC structure with two leaf cavity wall subjected to shake table, *Structural Engineering and Mechanics*, **55**(5): 1037-1053.
8. Onat, O., Lourenco, P. B., Kocak, A., (2016). Nonlinear analysis of RC structure with massive infill wall exposed to shake table. *Earthquakes and Structures*, **10**(4): 811-828.
9. Lourenço, P. B., Leite, J. M., Paulo-Pereira, M. F., Campos-Costa, A., Candeias, P. X., Mendes, N., (2016). Shaking table testing for masonry infill walls: unreinforced versus reinforced solutions. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. **45**(14): 2241-2260.
10. Calvi, G., Bolognini, D., (2001). Seismic Response of Reinforced Concrete Frames Infilled with Weakly Reinforced Masonry Panels, *Journal of Earthquake Engineering*, **5**(2): 153-185.
11. Griffith, M. C., Vaculik, J., Lam, N. T. K., Wilson, J., Lumantarna, E., (2007). Cyclic Testing of Unreinforced Masonry Walls in Two-Way Bending, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **36**: 801-821.
12. Hashemi, A., Mosalam, K. M., (2006). Shake-table experiment on reinforced concrete structure containing masonry infill wall. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **35**(14): 1827-1852.
13. Pujol, S., Fick, D., (2010). The Test of a Full-Scale Three Storey RC Structure With Masonry Infill, *Engineering Structures*, **32**: 3112-3121.
14. Varela-Rivera, J., L., Navarrete-Macias, D., Fernandez-Baqueiro, L., E., Moreno, E., I., (2011). Out-Of-Plane Behaviour of Confined Masonry Walls, *Engineering Structures*, **33**: 1734-1741.
15. Stavridis, A., Koutromanos, I., Shing, P. B., (2012). Shake-Table Tests of A Three-Storey Reinforced Concrete Frame with Masonry Infill Walls, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **41**: 1089-1108.
16. Misir, S., Ozcelik, O., Girgin, S. C., Kahraman, S. (2012). Experimental work on seismic behavior of various types of masonry infilled RC frames. *Structural Engineering and Mechanics*, **44**(6): 763-774.
17. Mosalam, K., Günay, M. S., (2015). Progressive Collapse Analysis of RC Frames with URM Infill Walls Considering In-Plane/Out-of-Plane Interaction, *Earthquake Spectra*, **31**(2): 921-943.
18. Furtado, A., Rodrigues, H., Arêde, A., Varum, H. 2016. Experimental evaluation of out-of-plane capacity of masonry infill walls. *Engineering Structures*, **111**: 48-63.
19. Misir, I. S., Ozcelik, O., Girgin, S. C., Yucel, U. (2016). The Behavior of Infill Walls in RC Frames Under Combined Bidirectional Loading. *Journal of Earthquake Engineering*, **20**(4): 559-586.
20. Misir, I. S., Ozcelik, O., Kahraman, S., 2015. The Behaviour of double-whyte hollow clay brick walls under bidirectional loads in R/C frame. *Teknik Dergi*, **26**(3): 7139-7165.
21. Shan, S., Li, S., Xu, S., Xie, L., (2016). Experimental study on the progressive collapse performance of RC frames with infill walls. *Engineering Structures*, **111**: 80-92.
22. Topçu, İ. B., Boğa, A. R., Hocoğlu, F. O., 2009. Modeling corrosion currents of reinforced concrete using ANN. *Automation in Construction*, **18**(2): 145-152.
23. Kumar, B., Samui, P., (2013). Application of ANN for predicting pore water pressure response in a shake table test. *International Journal of Geotechnical Engineering*, **2**(2): 153-160.
24. Šipoš, T. K., Sigmund, V., Hadzima-Nyarko, M., (2013). Earthquake performance of infilled frames using neural networks and experimental database, *Engineering structures*, **51**: 113-127.
25. Garzón-Roca, J., Adam, J. M., Sandoval, C., Roca, P., (2013). Estimation of the axial behaviour of masonry walls based on artificial neural networks. *Computers & Structures*, **125**: 145-152.
26. Hasançebi, O., Dumlupınar, T., (2013). Linear and nonlinear model updating of reinforced concrete T-beam bridges using artificial neural networks. *Computers & Structures*, **119**: 1-11.
27. Joshi, S. G., Londhe, S. N., Kwatra, N., (2014). Application of artificial neural networks for dynamic analysis of building frames. *Computers and Concrete*, **13**(6): 765-780.
28. Onat, O., (2015). Investigation of seismic behaviour of infill wall surrounded by reinforced concrete frame. Müşterek Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul Türkiye ve Minho Üniversitesi, Guimarães Portekiz.
29. Somoza, E. and Somoza, J.R., (1993). A neural-network approach to predicting admission decisions in a psychiatric emergency room. *Medical Decision Making*, **13**(4): 273-280.
30. Guneri, A.F., Gumus, A.T., (2008). The usage of artificial neural networks for finite capacity planning. *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, **15**(1): 16-25.
31. Guneri, A.F., Gumus, A.T., (2009). Artificial Neural Networks for Finite Capacity Scheduling: A Comparative Study. *International Journal of*

Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice, **15**(4): 349-359.

32. Gul, M., Guneri, A. F., 2015. Forecasting patient length of stay in an emergency department by artificial neural networks. *Journal of Aeronautics and Space Technologies (Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi)*, **2**(8): 1-6.

33. Öztemel, E., (2003). Yapay sinir ağları. Papatya yayıncılık.

34. Goyal, S., (2013). Artificial neural networks (ANNs) in food science a review. *International Journal of Scientific World*, **1**(2): 19-28.

35. Gul, M., Guneri, A. F., (2016). Planning the future of emergency departments: Forecasting ED patient arrivals by using regression and neural network models. *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, **23**(2): 137-154.

36. Kalogirou, S. A., (2001). Artificial neural networks in renewable energy systems applications: a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, **5**(4): 373-401.

37. Zhang, G., Patuwo, B. E., Hu, M. Y., (1998). Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. *International Journal of Forecasting*, **14**(1): 35-62.

38. Gul, M., Guneri, A. F. (2016). An artificial neural network-based earthquake casualty estimation model for İstanbul city. *Natural Hazards*, **84**(3): 2163-2178.

39. Correia, A. A., Costa, A. C., Candeias, P., & Lourenço, P. B. (2014). Ensaios sísmicos inovadores de pórticos com paredes de enchimento em alvenaria. *5as Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas (JPEE 2014)*, 1-16. (Portekizce)

AISC 360-10 ve Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Çelik Yapıların Tasarımı

Mustafa Ülker¹, Sedat Savaş^{2*}

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, 13000, Bitlis

²Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ
ssavas@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 05.05.2017; Kabul/Accepted: 29.11.2017)

Özet

Bu çalışmada, Amerikan AISC 360-10 ve Türk Deprem yönetmeliği DBYBHY-2007' ye göre çelik yapıların tasarım kuralları araştırılmış ve irdelenmiştir. Sayısal uygulama olarak, altı katlı çelik bir yapının tasarımı "(Bir doğrultuda süneklik düzeyi yüksek çerçevesi, diğer doğrultuda süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çapraz perdeli sistem" her iki yönetmelik esaslarıyla yapılmıştır. Araştırmada, AISC 360-10 yönetmeliğine göre tasarım ilkeleri, LRFD ve ASD 'ye göre hesap esasları, kesitlerin sınıflandırılması konuları etraflıca araştırılmıştır. Çelik yapının yapısal analizi SAP2000 programı ile gerçekleştirilmiştir. Analizde yüklem kombinasyonu olarak AISC 306-10 yönetmeliğinin yüklem kombinasyonları alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yük ve Dayanım Katsayılarıyla Tasarım, LRFD, AISC 360-10, Eurocode 3, Narinlik, DBYBHY-2007, Kesit Sınıflandırılması.

Steel Structure Design Based On AISC 360-10 and Turkish Seismic Code

Abstract

In this study, the rules for the design of steel structures in accordance with the American AISC 360-10 and Turkish Seismic Code (TSC-DBYYHY 2007) were investigated. A structural system that has "high ductile frame in one direction and high ductile eccentrically braced frame in other direction" was designed with regarding the principals of both codes. Principals of design in accordance with the AISC 360-10, fundamentals of LRFD and ASD, and classification of sections are deeply investigated in this investigation. The design of a six-storey steel structure that has "high ductile frame in one direction and high ductile eccentrically braced frame in other direction" is presented in this study. The structural analysis was performed with using SAP2000 structural analysis software. Loading combinations that are defined in AISC 360-10 are used in the structural analysis.

Keywords: Load and Resistance Factor Design (LRFD), AISC 360-10, Eurocode 3, Slenderness, DBYBHY-2007, Classification of Profiles.

1. Giriş

Bu çalışmada Amerikan Şartnamesi AISC 360-10 (Specification for Structural Steel Buildings, Çelik Binalar için Tasarım ve İnşaat Yönetmeliği) [1] ve Türk Deprem Yönetmeliği 2007 (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, DBYBHY-2007'de [2], çelik binalar için depreme dayanıklı yapı tasarım kuralları esas alınarak bir araştırma yapılmıştır. Boyutlandırma yapılırken, uluslararası geçerliliği olan ve yaygın olarak kullanılan çelik yapılarla ilgili EC3 EN 1993-1-1 [3] ve AISC 360-10 yönetmelikleri kullanılmaktadır. Yapılan araştırmada bu yönetmeliklerle yapılan

hesaplama ve boyutlandırmaların birbirine çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

AISC 360-10 yönetmeliğinin uygulamada daha yaygın olduğu, mühendislerce tercih edildiği, sonuçların daha anlaşılabilir ve uygulanabilir olduğu görülmüş, bu yönetmeliğe hâkim olan uzmanlar ve bilim adamları tarafından da bu husus doğrulanmıştır. Bu amaçla, bu çalışmada AISC 360-10 yönetmeliğinin boyutlandırma esasları incelenmiş ve Türk Deprem Yönetmeliği, DBYBHY-2007, Bölüm 4 teki çelik çerçevelerle ilgili sınırlamalar ve kriterlerin sağlanıp sağlanmadığı araştırılmıştır. Türk Deprem Yönetmeliği DBYBHY-2007, Amerikan Ulusal Deprem yönetmeliği ANSI/AISC 341-05 (Seismic Provisions for Structural Steel

Buildings) [4] ile büyük benzerlikler göstermektedir. Amerikan ve Türk Deprem yönetmeliklerinin, gerek deneysel çalışmaların sonuçlarını yansıtması gerekse büyük depremler sonucunda elde edilen sonuçları kapsamı bakımından bu konuda dünyada bir boşluğu dolduracağını söylemek mümkündür. Betonarme yapıların depreme karşı tasarımında deprem perdeleri kullanılmaktadır. Çelik yapılarda ise, söz konusu yönetmeliklerde, çelik çaprazlı perdelerle yatay yük taşıyıcı sistemlerin oluşturulması önerilmektedir.

Literatürde, çelik yapıların depreme karşı davranışı, analizi ve tasarımı konusunda kaynak [5-9] da verilen çalışmaların yapıldığı görülmüştür. Söz konusu bu çalışmalarda DBYBHY-2007 ilkeleri ağırlıklı olarak göz önüne alınmış, kaynak [9] da ise çelik karkas bir yapının EC3 [3]'e göre boyutlandırması ve kriter esasları verilmiştir. Uzun çelik çerçevelerin ve kafes sistemlerin analizi ve tasarımı konusunda son yıllarda evrimsel tekniklerle çok sayıda çalışma yapılmıştır [10-11]. Bu çalışmalarda yapıların gerilme ve büyük deplasmanlarına sınırlamalar getirilmiş, optimum tasarımlar gerçekleştirilmiş ancak söz konusu bu çalışmalarda AISC360-10 Şartnamesinin tasarım sınırlamaları göz önüne alınmamıştır. Çelik Çerçevelerin AISC-LRFD Şartnamesine göre optimum tasarımı konusunda kaynak [12] de güncel bir araştırma sunulmuştur. Ayrıca, kaynak [13-19] da AISC-360, AISC-341, EC3 ve DBYBHY-2007 Şartnameleriyle çelik yapıların analiz ve tasarımı konuları araştırılmıştır. Bu çalışmada, AISC 360-10 ve DBYBHY-2007 yönetmeliklerinin kural ve tasarım sınırlamaları göz önüne alınarak, çelik yapıların depreme karşı analiz ve boyutlandırılması gerçekleştirilmiştir.

2. Aisc 360-10 Yönetmeliğine Göre Tasarım İlkeleri

Yapılan çalışmada, dünyada en yaygın olarak kullanılan "Çelik Yapı Tasarım" yönetmeliğinin ANSI/AISC 360-10 olduğu görülmüştür. SAP2000 [20] gibi yapısal analiz programlarında tasarım aşamasında ilgili yönetmeliklerin programa katılmış olması, AISC 360-10 yönetmeliğinin etkin, uygulanabilir ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

Yönetmelikte, LRFD (Load and Resistance Factor Design) [21] ve ASD (Allowable Strength Design) [22] boyutlandırma ilkelerine göre çelik yapıların tasarımı ve inşası konusunda gerekli kurallar verilmektedir. LRFD ile çelik yapıların, Yük ve Mukavemet Çarpanına Göre Tasarımı, kısacası çelik yapıların taşıma gücü ve ASD ile de Güvenlik Gerilmelerine Göre Tasarım ilkeleri ifade edilmektedir. ASD, güvenlik gerilmelerine göre tasarımla, yaklaşık yüz yıldan beri uğraşılmaktadır. LRFD, taşıma gücü ilkesiyle tasarımın ise yaklaşık otuz yıllık bir geçmişi bulunmaktadır. AISC 360-10 yönetmeliğinde yükler ve yükleme birleşimleri, Amerikan Yük şartnamesi ASCE/SEI-7 ye göre alınmaktadır [23].

2.1. LRFD Yaklaşımıyla Tasarım

LRFD yöntemiyle tasarımda, yapısal güvenlik için aşağıdaki bağıntı verilir:

$$R_u \leq \phi R_n \quad (1)$$

Burada, R_u = LRFD yük kombinezonlarıyla belirlenen gerekli dayanım, R_n = nominal (karakteristik) dayanım, ϕ = dayanım azaltma faktörü, ϕR_n = tasarım dayanımını (sınırlanan yapısal tasarım), gösterir. Dayanım azaltma faktörü yönetmelikte $\phi \leq 1$ olarak tanımlanmıştır.

2.2. ASD yaklaşımıyla tasarım

ASD, güvenlik gerilmeleriyle tasarım için aşağıdaki bağıntı verilir:

$$R_a \leq R_n / \Omega \quad (2)$$

Burada, R_a = ASD yük kombinezonlarıyla belirlenen gerekli dayanım, R_n = nominal (karakteristik) dayanım, Ω = güvenlik katsayısı, R_n / Ω = güvenlik gerilmesini gösterir. Güvenlik katsayısı yönetmelikte $\Omega > 1$ olarak tanımlanmıştır. LRFD ve ASD yönetmeliklerine göre yapılan çözümlemede,

$$\Omega = \frac{6D}{\phi} \left(\frac{1}{4D} \right) = \frac{1.5}{\phi} \quad (3)$$

olarak elde edilir.

2.3. Malzeme

Yapısal çelik malzemesi, ASTM (American Society for Testing and Materials) standartında

[24] A6/A6M-09 ile başlayıp A992/A992M-06a 'ya kadar çok sayıda verilmektedir. En yaygın olanlar, A36, A53, A572 ve A992 çelikleridir. A36 çeliğinde, akma gerilmesi $F_y = 220 \text{ N/mm}^2$, kopma gerilmesi $F_u = 340 \text{ N/mm}^2$ civarında olup ülkemizdeki Fe37 çeliğine eşdeğer olduğu söylenebilir. Aynı şekilde A992 çeliğinde, $F_y = 350 \text{ N/mm}^2$, kopma gerilmesi $F_u = 500 \text{ N/mm}^2$ dayanıma sahiptir ve Fe52 çeliğine karşı gelmektedir. Bu çeliklerin karşılığı EC3 normunda S235 ($F_y = 235 \text{ N/mm}^2$, $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$) ve S355 ($F_y = 355 \text{ N/mm}^2$, $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$) karşı gelmektedir. ASTM A6 ve ASTM A673 'e göre yapısal çeliklerde yapılan testlerde minimum Charpy-V-Notch (CVN) dayanımı (Çentik Dayanımı) değeri 218C'de 27 Nm (27 J) olacaktır.

2.4. Kesit özellikleri

Basınç çubuklarında yerel burkulmanın önlenmesi için, enkesitte genişlik/kalınlık oranına sınırlama getirilmiştir. AISC-360-10 Şartnamesinde, kesitler kompakt, kompakt olmayan ve narin olarak sınıflandırılır. Ayrıca, Amerikan Deprem yönetmeliği AISC-341'e göre ek bir sınıflandırma daha verilir, o da sismik kompakt kesit sınıflandırılmasıdır. AISC-360-10 'da enkesit koşullarıyla ilgili çizelgeler, bu tanımlama ve sınıflandırmalar esas alınarak, ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

2.5. Çekme çubuklarının tasarımı

Çekme kuvvetinin statik bir kuvvet olduğu ve kesitin ağırlık merkezine etki ettiği kabul edilir. Çekme çubuğunda narinlik için bir sınırlama getirilmemiştir. Ancak yine de narinlik oranının $\frac{L}{r} \leq 300$ olması önerilmektedir. (L = çubuk uzunluğu, r = atalet yarıçapı) Brüt alandan ve kopma alanından, aşağıdaki çekme kuvvetleri hesaplanır:

Brüt alanın çekmede akma durumu için:

$$P_n = F_y A_g \quad (4)$$

$\phi_t = 0.90$ (LRFD), $\Omega_t = 1.67$ (ASD) bulunur. Net alanın çekmede kopma durumu için:

$$P_n = F_u A_e \quad (5)$$

$\phi_t = 0.75$ (LRFD), $\Omega_t = 2.00$ (ASD) bulunur. Bu ifadelerle, tasarım çekme dayanımı, ve

güvenlik çekme dayanımı, P_n/Ω_t brüt alandan ve kopma alanından hesaplanabilmektedir.

Burada; A_e = efektif net alan (mm^2), A_g = brüt alan (mm^2), F_y = minimum akma gerilmesi (MPa), F_u = minimum kopma dayanımı (MPa) şeklinde ifade edilir.

2.6. Basınç çubuklarının tasarımı

Tasarım basınç dayanımı $\phi_c P_n$ ve güvenlik basınç dayanımı, P_n/Ω_c aşağıdaki gibi hesaplanır:

Nominal (kesit ve malzeme özellikleri kullanılarak) basınç dayanımı P_n , eğilme burkulması, burulmalı burkulma ve eğilmeli-burulmalı burkulmadan hesaplanan alt limitler olmak üzere; $\phi_c = 0.90$ (LRFD) $\Omega_c = 1.67$ (ASD) alınır. Çubuk narinliği, KL/r hesabında kullanılacak olan K efektif uzunluk katsayısı Tasarım çizelgelerinden alınır. (KL/r narinlik formülünde; L = yanal desteksiz çubuk uzunluğu (mm), r = atalet yarıçapını gösterir) AISC 360- 10 yönetmeliğinde çubuk narinliği için; $KL/r \leq 200$ sınırlaması getirilmiştir. Eğilmeli burkulmada nominal basınç dayanımı;

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (6)$$

formülü ile hesaplanır. Kritik gerilme F_{cr} 'nin hesabı için aşağıdaki gibi iki sınırlama göz önüne alınır:

$$KL/r \leq 4.71 \sqrt{E/F_y} \quad (7)$$

$$F_{cr} = [0.658^{F_y/F_e}] F_y \quad (8)$$

$$\frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{E/F_y} \quad (9)$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad (10)$$

Burada, F_e = elastik burkulma gerilmesi olup aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left[\frac{KL}{r}\right]^2} \quad (11)$$

2.7. Eğilme etkisindeki çubukların tasarımı

Basit eğilme altında çubuklar incelenirken, eğilmenin ana eksen (güçlü eksen) etrafında olduğu, kuvvetin, burulma meydana getirmemesi için, kayma merkezine etki ettiği kabul edilir.

AISC 360-10 yönetmeliğinde kesit davranışına göre mukavemet momentleri farklılık gösterir. Yönetmelik, kesitleri şu şekilde sınıflandırmaktadır:

- Kompakt kesitler (C): Plastik moment ve dönme kapasitesinin tümünü kullanan kesitlerdir. Bu kesitlerde ancak, taşıma gücü aşıldıktan sonra yerel burkulma olayı görülebilir.

- Kompakt Olmayan Kesitler (NC): Bu kesitler, yerel burkulma olmadan akma gerilmesine ulaşabilen kesitlerdir. Ayrıca bu kesitlerin kompakt kesitlerden ayrıcalığı, dönme kapasitesinin olmayışıdır.

- Narin Kesitler (S): Bu kesitlerde, kesiti oluşturan elemanlarda (başlık levhalarında, gövde levhalarında), akma gerilmesine ulaşılmadan, yerel burkulma olayı meydana gelmektedir.

Tasarım eğilme dayanımı $\phi_b M_n$ ve güvenlik eğilme dayanımı, M_n/Ω_b 'in hesaplanmasında $\phi_b = 0.90$ (LRFD) $\Omega_b = 1.67$ (ASD) olarak alınır. Nominal eğilme dayanımı M_n 'in hesabında, tüm çift simetri eksenli kesitler (I kesit gibi) ve tek eğrilikli tek simetri eksenli çubuklar için, moment değişim katsayısı (yanal burulmalı burkulma değişim katsayısı);

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (12)$$

ifadesiyle hesaplanır. Burada, M_{\max} = yanal destekler arasındaki maksimum moment (N.mm), M_A = yanal destekler arasında dörtte bir noktadaki moment (N.mm), M_B = yanal desteklerin orta noktadaki moment (N.mm), M_C = yanal destekler arasında dörtte üç noktadaki moment (N.mm) gösterir. Momentlerin formülde mutlak değeri yazılacaktır. Konsol kirişlerde ve açıklıkta bir yerdeki momentin uçlardaki momentten büyük olduğu durumlarda $C_b = 1$ alınır.

2.8. Kesme kuvveti etkisindeki çubukların tasarımı

Kesme kuvveti etkisi altında çubuklar incelenirken, kesitin tek veya çift simetri eksenli olduğu ve kesme kuvvetinin gövde düzlemi tarafından karşılandığı kabul edilir. Şekil 1 de, AISC-360-10 yönetmeliğinde I hadde profili için

efektif kesme alanı (gövde düzlemi) gösterilmiştir.

Tasarım kesme dayanımı, $\phi_v V_n$ ve kesme güvenlik dayanımı, V_n/Ω_v 'in hesaplanmasında, $\phi_v = 0.90$ (LRFD) , $\Omega_v = 1.67$ (ASD) olarak alınır.

2.9. Eğilme + eksenel kuvvet ve burulma kuvveti etkisindeki çubukların tasarımı

AISC 360-10 yönetmeliğine göre, bir veya iki simetri eksenli çubukların, eksenel kuvvet ve eğilme etkisi altındaki tasarımı, burulmalı veya burulmasız, ve sadece burulma etkisi altında kalması durumları incelenmiştir.

2.9.1. Çift ve tek simetri düzlemli çubukların eğilme ve eksenel kuvvet altında tasarımı

Eksenel kuvvetin basınç olması halinde aşağıda verilen denklemler kullanılır:

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \text{ ise;} \quad (13)$$

$$\frac{P_r}{P_c} \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

$$\frac{P_r}{P_c} < 0.2 \text{ ise;} \quad (14)$$

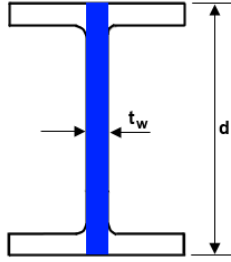
$$\frac{P_r}{2P_c} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

Burada, P_r = LRFD veya ASD yük kombinezonlarıyla hesaplanan hesap eksenel dayanımı (N), P_c = basınç eksenel kuvvet taşıma gücü (N), M_r = LRFD veya ASD yük kombinezonlarıyla hesaplanan hesap eğilme dayanımı (N.mm), M_c = eğilme momenti taşıma gücü (N.mm), formüllerde x indisi, eğilmede güçlü eksen, y indisi ise, eğilmede zayıf eksen gösterir. Eksenel kuvvetin çekme olması halinde, yukarıda basınç durumu için verilen (13) ve (14) denklemleri kullanılır.

2.9.2. Burulma momenti etkisindeki HSS boru ve HSS dikdörtgen kesitlerin tasarımı

Tasarım burulma dayanımı, $\phi_T T_n$ ve burulma güvenlik dayanımı, T_n/Ω_T hesaplamak için $\phi_T = 0.90$ (LRFD) , $\Omega_T = 1.67$ (ASD)

denklemleri kullanılır. Nominal burulma dayanımı T_n 'in hesabı, aşağıda verilecektir.



Şekil 1. AISC-360-10 yönetmeliğinde efektif kesme alanı

$$T_n = F_{cr}C \quad (15)$$

Burada, C = HSS burulma sabitidir. Kritik gerilme F_{cr} aşağıda açıklandığı şekilde hesaplanır. HSS boru kesitler için (16) ve (17) denklemler kullanılmaktadır:

$$F_{cr} = \frac{1.23E}{\sqrt{\frac{L}{D}} \left(\frac{D}{t}\right)^{5/4}} \quad (16)$$

$$F_{cr} = \frac{0.60E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{3/2}} \quad (17)$$

Hesaplanan bu kritik gerilmelerden en büyüğü alınacaktır. Ancak bu gerilmenin, akma gerilmesinin 0.6 katını geçmemesi gerekir:

$$F_{cr} \leq 0.6F_y \quad (18)$$

Burada D = dış çap (mm), t = et kalınlığı (mm), L = çubuk uzunluğu (mm) ifade etmektedir. C = HSS boru kesit burulma sabiti olup, $C = \frac{\pi(D-t)^2t}{2}$ formülü ile hesaplanır. HSS dikdörtgen kesitler için aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır:

$$\frac{h}{t} \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise,} \quad (19)$$

$$F_{cr} = 0.6F_y$$

$$2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 3.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise,} \quad (20)$$

$$F_{cr} = \frac{0.6F_y(2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}})}{\left(\frac{h}{t}\right)}$$

$$3.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 260 \text{ ise,} \quad (21)$$

$$F_{cr} = \frac{0.458\pi^2E}{\left(\frac{h}{t}\right)^2}$$

Burada h = kesit uzun kenarından, başlık kalınlıkları ve iç yarıçap çıkarılarak elde edilen boy (mm), t = et kalınlığı (mm) C = HSS dikdörtgen kesit burulma sabiti olup, $C = 2(B - t)(H - t)t - 4.5(4 - \pi)t^3$ formülü ile hesaplanır. (B ve H , kısa ve uzun kenar dış boyutlardır)

3. Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Çelik Yapıların Tasarımı

DBYBHY 2007'de, depreme karşı davranışları bakımından, çelik binaların yatay yük taşıyıcı sistemleri, süneklik düzeyi bakımından iki sınıfa ayrılmıştır.

- Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
- Süneklik Düzeyi Normal Sistemler

Bu şekilde sınıflandırma, "Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçevesel", "Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler", "Süneklik Düzeyi Yüksek Dışmerkez Çelik Çaprazlı Perdeler", "Süneklik Düzeyi Normal Çerçevesel" ve "Süneklik Düzeyi Normal Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler" olarak, deprem yönetmeliğindeki tanımlamalarla, beş başlık altında yeniden yazılabilir.

Söz konusu bu sistemlerle ilgili tüm formülasyonlar ve uygulama kısıtlayıcıları bu araştırmada göz önüne alınmıştır.

4. Sayısal Uygulamalar

Bu çalışmada, Amerikan Şartnamesi AISC 360-10 ve Türk Deprem Yönetmeliği DBYBHY-2007 esas alınarak, çelik bir binanın tasarımı yapılmıştır.

4.1. Sistem

Seçilen çelik bina, [25]' den alınan, “bir doğrultuda süneklik düzeyi yüksek çerçevesi, diğer doğrultuda süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çapraz perdeli” bir yapı sistemidir. Söz konusu problem [25] çözüldükten, ülkemiz şartnameleri, TS498 [26] ve TS648 [27] ‘deki yüklemeler ve hesap esasları göz önüne alınmıştır. Sistemin kalıp planı Şekil 2 de, tipik kesitler ise Şekil 3 ve Şekil 4 te verilmiştir. Üç boyutlu sistem genel görünüşü ve SAP2000 hesap modeli Şekil 5 te görülmektedir. Çelik binanın (x) doğrultusundaki yatay yük taşıyıcı sistemi, süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çapraz perdelerden, (y) doğrultusundaki yatay yük taşıyıcı sistemi ise, süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçevelerden oluşmaktadır. Kat döşemeleri, çelik kirişlere mesnetlenen ve trapez profilli sac levhalar üzerinde, yerinde dökme betonarme olarak inşa edilen kompozit döşeme sisteminden meydana gelmiştir. Betonarme döşeme, düzlemi içerisinde rijit bir diyafram oluşturmaktadır. Kat planında görüldüğü gibi, 2 m aralıklarla ara (tali) çelik kirişler yerleştirilmiştir. Bu kirişler, ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmıştır.

Taşıyıcı sistemin kirişleri ve kolonları, Avrupa norm profilleri (kirişler için IPE profilleri, kolonlar için HEB profilleri) kullanılarak tasarlanmıştır. Düşey düzlem çapraz elemanları ise kare kesitli kutu profillerden seçilmiştir.

Sistemin tasarımında Fe52 yapı çeliği kullanılması öngörülmektedir. Yapı çeliğinin özellikleri ile ilgili olarak, DBYBHY 2007 - 4.2.3.1 bölümü geçerlidir. TS648 Çelik Yapılar Standardı'na göre, Fe52 yapı çeliğinin; akma gerilmesi; $\sigma_a = 355 \text{ N/mm}^2$, elastisite modülü $E = 206182 \text{ N/mm}^2$ ve emniyet gerilmeleri, normal gerilme için $\sigma_{em} = 212 \text{ N/mm}^2$, kayma gerilmesi için $\tau_{em} = 122 \text{ N/mm}^2$ değerlerini almaktadır. DBYBHY 2007 - 4.2.3.2 bölümüne uygun olarak, deprem yükleri etkisindeki

elemanların birleşim ve eklerinde **ISO 10.9** kalitesinde (akma gerilmesi, $\sigma_a = 900 \text{ N/mm}^2$), deprem yükleri etkisinde olmayan elemanların birleşim ve eklerinde ise **ISO 5.6** kalitesinde (akma gerilmesi, $\sigma_a = 300 \text{ N/mm}^2$) bulon kullanılmıştır.

4.2. Yükler

Yapı analizinde göz önüne alınan normal ve çatı katı yükleri Tablo 1’de verilmiştir.

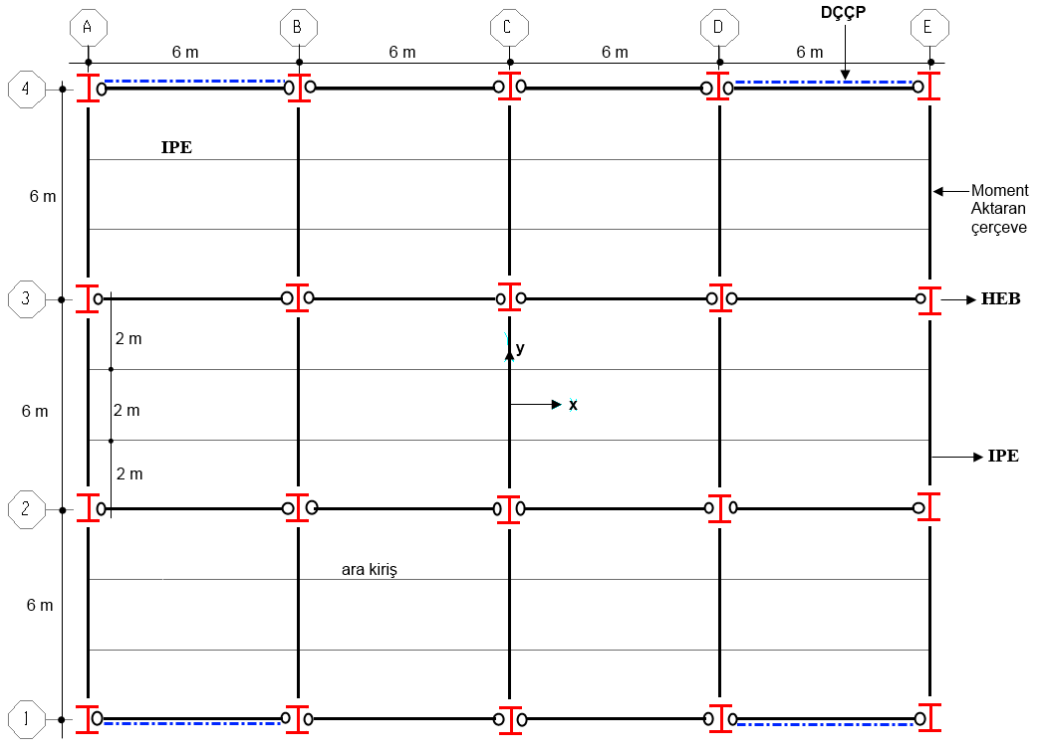
4.3. Deprem karakteristikleri

Tasarımı yapılacak olan çelik yapı, 1. derece deprem bölgesinde, Z2 yerel zemin sınıfı üzerindedir. Yukarıda tanımlanan yapının deprem parametreleri, DBYBHY 2007, ilgili maddeler göz önüne alınarak aşağıdaki şekilde yazılabilir:

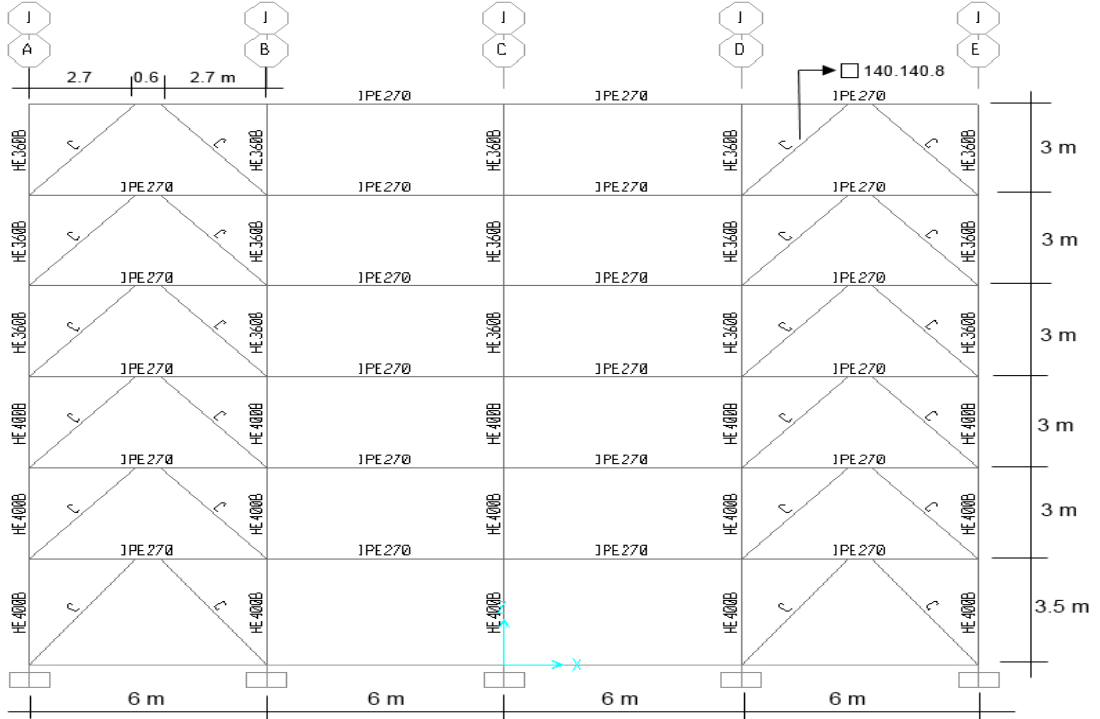
Etkin yer ivmesi katsayısı (1^0 deprem bölgesi): $A_0 = 0.40$, Bina önem katsayısı (konutlar ve işyerleri): $I = 1.00$, Spektrum karakteristik periyotları: $T_A = 0.15 \text{ sn}$ $T_B = 0.40 \text{ sn}$ (Z2 yerel zemin sınıfı), Taşıyıcı sistem davranış katsayısı: (x doğrultusunda deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çelik çaprazlı perdeler tarafından taşındığı çelik bina): $R = 7$, (y doğrultusundaki deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek çerçevelerle taşındığı bina): $R = 8$, Hareketli yük katılım katsayısı (konutlar ve işyerleri): $n = 0.30$

4.4. Düzensizliklerin kontrolü

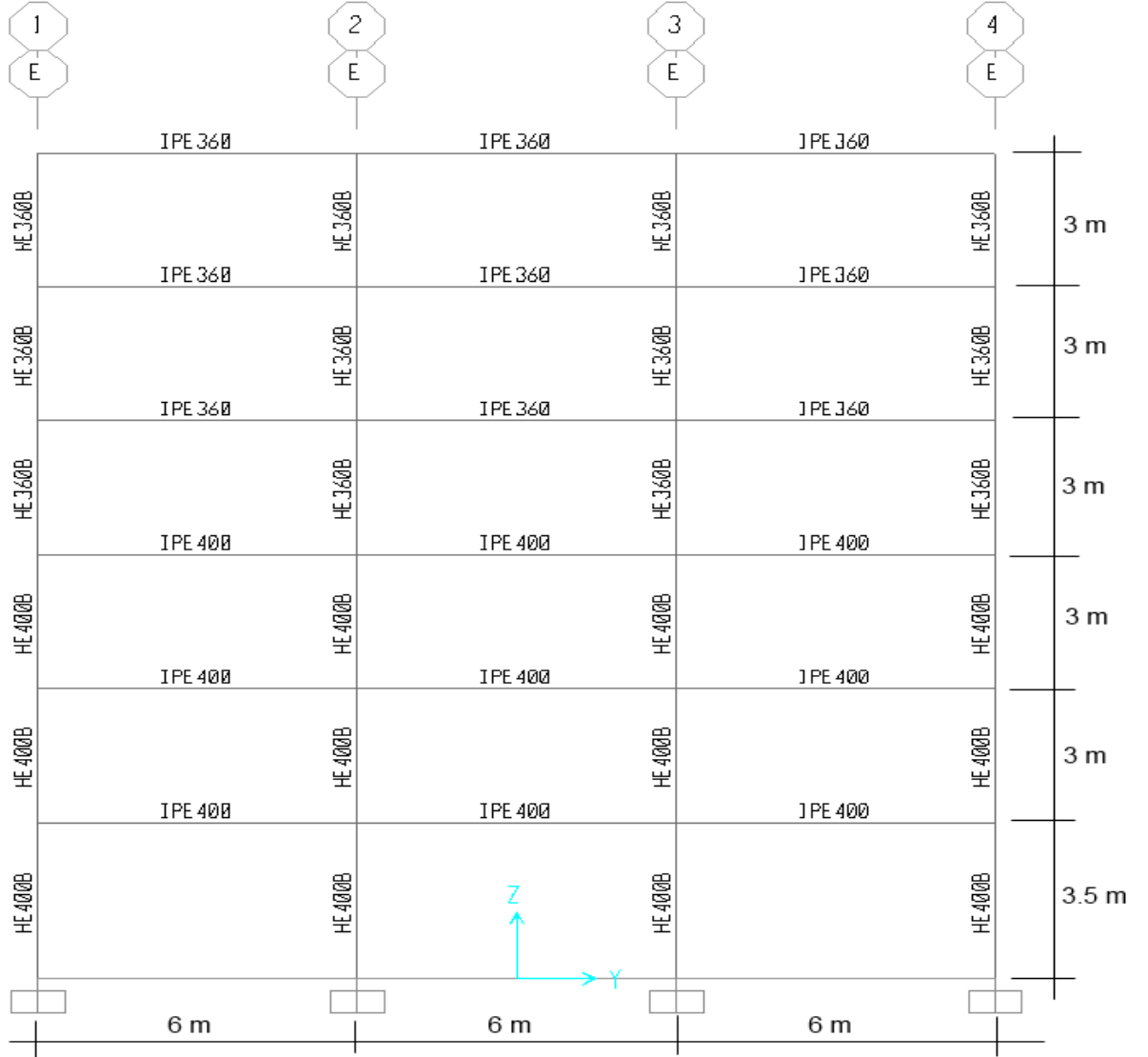
DBYBHY 2007 (Bölüm 2.3) esas alınarak, düzensizlik kontrolü yapılmıştır. Bina kat planlarında çıkıntıların olmaması, döşeme süreksizliklerinin ve döşemelerde büyük boşlukların bulunmaması, yatay yük taşıyıcı sistemlerin planda düzenli olarak yerleşmesi nedeniyle planda düzensizlik durumları mevcut değildir.



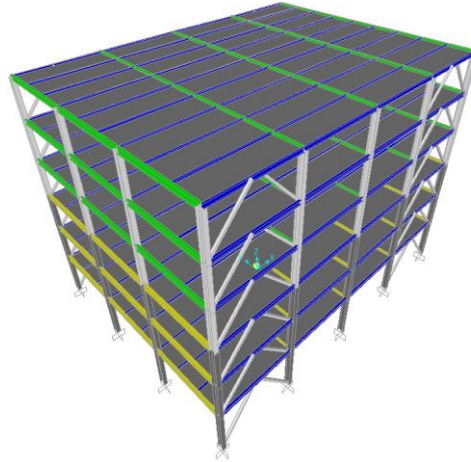
Şekil 2. Normal kat sistem planı



Şekil 3. 1 ve 4 aksları çerçeveleri (DÇÇP, Dışmerkez Çelik Çaprazlı Perdeler)



Şekil 4. A ve E aksları moment aktaran çerçeveler



Şekil 5. Üç boyutlu sistem genel görünüşü ve SAP2000 hesap modeli

Tablo 1. Normal ve çatı katı yükleri

Yükler	Toplam sabit yük (g)	Hareketli yük (q)	Dış Duvar Yükü (g _d)
Çatı Döşemesi	4.3 kN/m ²	1.0 kN/m ²	
Normal kat Döşemesi	4.9 kN/m ²	2.0 kN/m ²	3.0 kN/m

Benzer şekilde, taşıyıcı sistemin düşey elemanlarında süreksizliklerin ve ani rijitlik değişimlerinin olmaması ve kat kütlelerinin yapı yüksekliği boyunca değişiklik göstermemesi nedeniyle, düşey doğrultuda düzensizlik durumları da mevcut değildir.

4.5. Binanın birinci doğal titreşim periyodunun belirlenmesi

Binanın yapısal analizi, SAP2000 V18.0.2 de gerçekleştirilmiştir. Bina yüksekliği, $H_N =$

18.5 m < 40 m olduğundan, ayrıca sistemde burulma ve yumuşak kat düzensizlikleri bulunmadığından, deprem analizi için “Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi” kullanılmıştır. Program tarafından hesaplanan kat ağırlıkları ve kat kütleleri, Tablo 2 de verilmiştir.

SAP2000 programıyla, yapı sisteminin (x) doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyodu: $T_{1x} = 0.75928 \text{ s} \cong 0.76 \text{ s}$ (y) doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyoduysa $T_{1y} = 1.14139 \text{ s} \cong 1.14 \text{ s}$ şeklinde hesaplanmıştır.

Tablo 2. Kat ağırlıkları ve kat kütleleri

Kat	W_i	m_i
Roof	2172.5	221.5
5	2860.0	291.5
4	2860.0	291.5
3	2872.8	292.8
2	2876.7	293.2
1	2885.3	294.1
Σ	16527.3	1684.7

4.6. Toplam eşdeğer deprem yükünün hesabı

DBYBHY-2007 ye göre, göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkileyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti);

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10A_0IW \quad (22)$$

denklemini ile belirlenir. Binanın (x) doğrultusundaki taban kesme kuvveti;

$$T_{1x} = 0.76 \text{ s} > 0.40 \text{ s} = T_B$$

için $S(T_{1x}) = 2.5 \left(\frac{0.40}{0.76}\right)^{0.8} = 1.496$ ve

$R_{ax}(T_{1x}) = R_x = 7$ değerleri, (22) denkleminde yerine yazılırsa;

$$V_{tx} = 16527.3 \frac{0.40 * 1.0 * 1.496}{7} = 1412.8 \text{ kN}$$

$> 0.10 * 0.40 * 1.0 * 16527,3 = 661.0 \text{ kN}$ şeklinde hesaplanır. Benzer şekilde (y) doğrultusundaki taban kesme kuvveti;

$$T_{1y} = 1.14 \text{ s} > 0.40 \text{ s} = T_B$$

için hesaplanan $S(T_{1y}) = 2.5 \left(\frac{0.40}{1.14}\right)^{0.8} = 1.082$ ve $R_{ay}(T_{1y}) = R_y = 8$ değerleri, (22) denkleminde yerine yazılırsa;

$$V_{ty} = 16527.3 \frac{0.40 * 1.0 * 1.082}{8} = 894.1 \text{ kN}$$

$$> 0.10 * 0.40 * 1.0 * 16527,3 = 661.0 \text{ kN}$$

bulunur.

4.7. Katlara etkileyen eşdeğer deprem yükleri

DBYBHY-2007 yönetmeliğine göre, toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkileyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak ifade edilir. Binanın N'inci katına (tepesine) etkileyen ek eşdeğer deprem yükü, ΔF_N , (x) ve (y) doğrultuları için;

$$\Delta F_{Nx} = 0.0075 * N * V_{tx}$$

$$= 0.0075 * 6 * 1412.8$$

$$= 63.58 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{Ny} = 0.0075 * N * V_{ty} = 0.0075 * 6 * 894.1 = 40.23 \text{ kN}$$

şeklinde hesaplanır. Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N tepe kuvveti dışında geri kalan kısmı, N'inci kat dahil olmak üzere, binanın katlarına;

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{W_i H_i}{\sum_{j=1}^N W_j H_j} \quad (23)$$

formülü ile dağıtılır. Hesaplanan eşdeğer deprem yükleri Tablo 3 te gösterilmiştir.

4.8. Yük kombinasyonları

AISC 360-10 yönetmeliğinde yükler ve yükleme birleşimleri, Amerikan Yük şartnamesi ASCE/SEI-7 ye göre alınmaktadır. Yapı sisteminin düşey yükler ile yatay deprem ve rüzgar kuvvetleri altında analizi ile elde edilen iç kuvvetler, AISC 360 -10 Yönetmeliğine uygun olarak, SAP2000 programında birleştirilmiştir. Burada, LRFD yöntemine göre yük katsayıları esas alınmıştır.

Tablo 3. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri

Kat	h (m)	H _i	W _i	W _i H _i	W _i H _i /ΣW _i H _i	F _{ix}	F _{iy}
Çati	3	18.5	2172.5	40191.3	0.228	371.06	234.82
5	3	15.5	2860.0	44330.0	0.251	339.14	214.63
4	3	12.5	2860.0	35750.0	0.203	273.50	173.09
3	3	9.5	2872.8	27291.6	0.155	208.79	132.14
2	3	6.5	2876.7	18698.6	0.106	143.05	90.53
1	3.5	3.5	2885.3	10098.6	0.057	77.26	48.89
		Σ	16527.3	176360.0	1.000	1412.80	894.10

4.9. Göreli kat ötelemelerinin kontrolü

Görelî kat ötelemelerinin kontrolü, DBYBHY 2007'ye göre yapılmıştır.

Herhangi bir kolon için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış göreli kat ötelemesi, Δ_i

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (24)$$

denklemleri ile hesaplanır. Bu denklemde d_i ve d_{i-1} , her bir deprem doğrultusu için binanın ardışık iki katında, herhangi bir kolonun uçlarında, azaltılmış deprem yüklerinden meydana gelen en büyük yer değiştirmeleri gösterir. (x) ve (y) doğrultularında %5 ek dış merkezlikle uygulanan azaltılmış deprem yükleri altında, SAP2000 ile analizden elde edilen d_{ix} ve d_{iy} yatay yerdeğiştirmelerinin her katta aldığı değerler Tablo 4 ve Tablo 5 'in üçüncü kolonunda, ardışık katlar arasındaki azaltılmış göreli kat ötelemeleri ise tabloların dördüncü kolonunda verilmiştir. Tablo 4 ve Tablo 5 ten görüldüğü gibi, δ_i/h_i oranlarının en büyük değerleri (x) ve (y) doğrultularında $(\delta_{ix}/h_i)_{maks} = 0.0098$ ve $(\delta_{iy}/h_i)_{maks} = 0.0165$ olarak hesaplanmıştır. DBYBHY 2007

'de öngörülen $(\delta_i/h_i)_{maks} = 0.0165 < 0.02$ koşulu sağlanmaktadır. Böylece, binanın yapısal analizi, SAP2000 V18.0.2 de yapılmıştır. DBYBHY-2007 ye göre, sistemin tüm hesaplamaları yapılmıştır.

5. Sonuçlar

Bu araştırmada, DBYBHY-2007 Yönetmeliğinin 'Çelik Binalar İçin Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları' bölümü incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Söz konusu deprem yönetmeliğinde verilen tüm koşulların; malzeme, enkesit, süneklik düzeyi tasarım kuralları, merkezi çelik çaprazlı perdelerin tasarım kuralları, dışmerkez çelik çaprazlı perdelerin tasarım kuralları gibi, sağlandığı ve Amerikan ANSI/AISC 341-05 Deprem Yönetmeliği ile büyük bir benzerlik gösterdiği görülmüştür.

Tablo 4. x-doğrultusunda görel kat ötelemelerinin kontrolü, R = 7

Kat	h_i (cm)	δ_{ix} (cm)	Δ_{ix} (cm)	$\delta_{ix} = R\Delta_{ix}$ (cm)	δ_{ix}/h_i
Çatı	300	2.142	0.217	1.519	0.0051
5	300	1.925	0.300	2.100	0.0070
4	300	1.625	0.365	2.555	0.0085
3	300	1.260	0.399	2.793	0.0093
2	300	0.861	0.422	2.954	0.0098
1	350	0.439	0.439	3.073	0.0088

Tablo 5. y-doğrultusunda görel kat ötelemelerinin kontrolü, R = 8

	h_i (cm)	δ_{iy} (cm)	Δ_{iy} (cm)	$\delta_{iy} = R\Delta_{iy}$ (cm)	δ_{iy}/h_i
Çatı	300	3.116	0.324	2.592	0.0086
5	300	2.792	0.493	3.944	0.0131
4	300	2.299	0.601	4.808	0.0160
3	300	1.698	0.619	4.952	0.0165
2	300	1.079	0.617	4.936	0.0165
1	350	0.462	0.462	3.696	0.0106

AISC 360-10 yönetmeliğinde verilen yükleme kombinezonları ile elde edilen kat ağırlığı, kesit tesirleri, kat ötelemeleri ve ikinci merteye etkileri gibi değerler, yürürlükten kaldırılan eski TS648 ve DBYBHY-2007 'ye göre yaklaşık %10-28 mertebesinde büyük bulunmuştur. Toplam kat ağırlığı [25]'de $W_i = 15127$ kN iken, bu çalışmada toplam kat ağırlığı, $W_i = 16527.3$ kN olarak, %8.5 daha fazla hesaplanmıştır. Bu da AISC 360-10 yönetmeliğinin daha güvenli olduğunu göstermektedir.

Ülkemizde AISC 360 Şartnamesinin hesap ve esaslarına dayalı yeni bir çelik yapılar yönetmeliğinin, ÇYTHY-2016 [28] yürürlüğe girmiş olması ile çelik yapıların analiz ve tasarımı konusunda uygun çözümlerin elde edilebileceği ve daha güvenli sonuçlara ulaşılabileceği görülmektedir.

6. Kaynaklar

1. ANSI/AISC 360-10, Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA, 2010.
2. DBYBHY-2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2009.

3. CEN, Eurocode 3, Design of Steel Structures-Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings.(EC3 EN 1993-1-1), European Committee for Standardisation, Brussels, 2005.

4. ANSI/AISC 341-10, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA, 2010.

5. Tunçel, U., Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve Sistemlerin DBYBH 2007 Yönetmeliğine Göre Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2007.

6. Simur, I., Dışmerkez Çaprazlı Çelik Çerçeveli Sistemlerin DBYBH 2007 Yönetmeliğine Göre Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2007.

7. Yavuzarslan, T., 2007 Deprem Yönetmeliği'nin 1998 Deprem yönetmeliği ile Karşılaştırılması ve Sayısal İrdelemesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2007.

8. Aydın, R., 2006 Deprem bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'in Çelik Binalar ile İlgili Bölümünün Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2007.

9. Ceylan, Ö.G., 10 Katlı Çelik Bir Büro Binasının EUROCODE 3 Göre Karşılaştırılması Boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2007.

10. Degertekin, S.O., Hayalioglu, M.S. and Ulker, M., Tabu search based optimum design of geometrically non-linear steel space frames, Struct. Eng. Mech., **27(5)**: 575-588, 2007.

11. Kelesoglu, O. and Ulker, M., Multi-objective fuzzy optimization of space trusses by Ms-Excel, *Advances in Engineering Software*, **36(8)**: 549-553, 2005.
12. Artar, M., Optimum design of steel space frames under earthquake effect using harmony search, *Struct. Eng. Mech.*, **58(3)**: 597-612, 2016.
13. Maheri, M.R. and Narimani, M.M., An enhanced harmony search algorithm for optimum design of side sway steel frames, *Computers and Structures*, **136**: 78–89, 2014.
14. Toğan, V., Design of planar steel frames using Teaching–Learning based optimization, *Engineering Structures*, **34**: 225-232, 2012.
15. Ky, V.S., Lenwarib, A. and Thepchatrri, T., Optimum design of steel structures in accordance with AISC 2010 specification using heuristic algorithm, *Engineering Journal*, **19(4)**: 71-81, 2015.
16. Denavit, M. D., Hajjar, J. F., Perea, T. and Leon, R. T., Seismic performance factors for moment frames with steel-concrete composite columns and steel beams, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **45(10)**: 1685-1703, 2016.
17. Kaveh, A. and Abbasgholiha, H., Optimum design of steel sway frames using big bang-big crunch algorithm, *Asian Journal Of Civil Engineering (Building And Housing)*, **12(3)**: 293-317, 2011.
18. Montuori, R., Nastro, E. and Piluso, V., Seismic response of EB-frames with inverted Y-scheme: TPMC versus eurocode provisions, *Earthquakes and Structures*, **8(5)**, 1191-1214, 2015.
19. Firat, F.K. and Yucemen, M.S., Comparison of loads in Turkish earthquake code with those computed statistically, *Earthquakes and Structures*, **8(5)**: 977-994, 2015.
20. SAP2000, *Integrated Finite Elements Analysis and Design of Structures*, Computers and Structures, Inc, Berkeley, CA., 2015.
21. AISC-LRFD, *Load And Resistance Factor Design Specification For Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction, IL, USA, 2001.
22. AISC-ASD, *Specification for Structural Steel Building: Allowable Stress Design and Plastic Design*, American Institute of Steel Construction Inc., Chicago, USA, 1996.
23. ASCE/SEI 7-10, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, American Society of Civil Engineers, Virginia, USA, 2010.
24. ASTM, *American Society for Testing and Materials*, West Conshohocken, PA, 2009.
25. Aydınoglu, M.N., Celep, Z., Özer, E. and Sucuoğlu, H., *DBYBHY-2007: Açıklamalar ve Örnekler Kitabı*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2009.
26. TS-498, *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1997.
27. TS-648, *Çelik Yapıların Hesap Ve Yapım Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
28. ÇYTHY-2016, *Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2016

TM Yöntemi ile Üretilmiş Al Matrisli Kompozitlerde Presleme Basıncının ve B₄C Oranının Sertlik ve Aşınma Davranışı Üzerine Etkisi

Yahya Hışman ÇELİK¹, Erol KILIÇKAP², Burak YENİGÜN³

¹Batman Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye

²Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye

³Batman Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye

yahyahisman.celik@batman.edu.tr

(Geliş/Received: 14.05.2017; Kabul/Accepted: 02.10.2017)

Özet

Toz metalürjisi (TM) yöntemi sayesinde metal tozlarının istenilen şekle çok kısa zamanda dönüştürülmesi ekonomik anlamda seri imalatı mümkün kılmaktadır. Bu durum, malzemelerde talaşlı işleme ihtiyacını ortadan kaldırarak karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek olan parçaların üretilmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle alüminyum ve alaşımları, ticari alanlarda vazgeçilmez malzemeler olarak TM yöntemi ile üretimde yerini almıştır. Bu çalışmada, TM yöntemiyle üretilmiş B₄C takviyeli Al matrisli kompozitlerin farklı presleme basıncına (400 ve 475 MPa) ve takviye oranına (takviyesiz ve ağırlıkça % 4, 8 ve 12 takviyeli) bağlı olarak mikroyapı, sertlik ve aşınma davranışları incelenmiştir. Numunelerin aşınma deneyleri özel olarak imal edilen test düzeneği ile 0,50 m/s sabit kayma hızında, farklı uygulama yüklerinde (5, 10 ve 15 N) ve farklı kayma mesafelerinde (250, 500 ve 750 m) yapılmıştır. Ayrıca üretilen kompozitlerin mikroyapısal değişimlerini belirlemek için optik mikroskop ve SEM görüntüleri incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, kompozit numunelerde presleme basıncının ve takviye oranının artması ile sertlik değerlerinin arttığı ve aşınma kayıplarının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca kayma mesafesi ve uygulanan yükün artması ile aşınma miktarının arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Aşınma, B₄C, Kompozit, Sertlik, Toz Metalürjisi.

The Effect of Contact Pressure and B₄C Ratio on Hardness and Wear Behaviours in Al-Matrix Composites Produced by PM Method

Abstract

The conversion of metal powders into a desired shape in a very short time thanks to the powder metallurgy (PM) method is economically enabled mass production. This situation allows producing of parts with complex and high dimensional accuracy by eliminating the machining needs. Particularly aluminium and its alloys have taken place as indispensable materials in commercial areas in production with PM method. In this study, microstructure, hardness and wear behaviours depending on different contact pressure (400 and 475 MPa) and reinforcement ratio (unreinforced and weight % 4, 8 and 12 reinforced) of Al matrix composites reinforced with B₄C produced by PM method were investigated. Wear experiments of these specimens were performed with specially manufactured test equipment at different application loads (5, 10 and 15 N), different sliding distances (250, 500 and 750 m) and a constant sliding velocity of 0.50 m/s. In addition, optical microscope, SEM images were investigated to determine the microstructural changes of the manufactured composite. In result of experimental studies, it was determined that the hardness values increased and the wear loss decreased with increasing the contact pressure and reinforcement ratio in composite specimens. It was also seen that the amount of wear increased with increasing of the sliding distance and the applied load.

Keywords: Wear, B₄C, Composite, Hardness, Powder Metallurgy.

1. Giriş

Seramik takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin üretilmesinde toz metalürjisi (TM) ve sıvı üretim teknikleri olmak üzere iki tip üretim

tekniki kullanılmaktadır. TM ile üretimde, takviye parçacıkları matris içerisinde homojen olarak dağılır ve yoğunlukları teorik olarak hesaplanan yoğunluklara yakın bir değerdedir. Ancak bu teknikte kompozit malzemeler farklı

aşamalardan geçirilerek üretilir. Sıvı üretim teknikleri ise daha düşük maliyette olmasına rağmen takviye parçacıkları matris içerisinde homojen olarak dağılmamakta ve yüksek erime sıcaklıklarından dolayı ara yüzeyde istenmeyen kimyasal reaksiyonlar oluşabilmektedir [1,2]. Yıllık metal matrisli kompozit üretiminin % 69'unu Al matrisli kompozitler oluşturmaktadır. Al alaşımlarının aşınma direnci; yük taşıyıcı ve aşındırıcı eleman olarak görev yapan seramik elyafların veya parçacıkların bir araya getirilmesiyle iyileştirilir [3]. Seramik parçacıklarıyla güçlendirilmiş Al metal matrisli kompozitler (Al-MMK); otomobil, uçak ve MMK'nin düşük yoğunluğunun büyük yararlar sağladığı diğer uygulamalarda aşınmaya dayanıklı, sürtünmeli malzemeler olarak ticari kullanım bulmaya başlamıştır [4]. Al-MMK'ler üzerine yapılan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Shorowordi ve ark., [4] karıştırma döküm yöntemi ve ardından sıcak ekstrüzyon yöntemi ile üretilen ve farklı temas basınçları altında aşındırılan Al/B₄C ve Al/SiC kompozit malzemenin tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Al/B₄C ve Al/SiC kompozitlerdeki aşınma oranının artan temas basıncı ile arttığını ve yüksek temas basınçlarında sürtünme katsayısının çok az miktarda azaldığını bulmuşlardır. Ipek [5] sıvı döküm yöntemi ile üretilen B₄C ve SiC takviyeli Al 4147 alaşım matrisli kompozitlerin adhezif aşınma davranışlarını incelemiştir. Alaşım matrisindeki ağırlıkça B₄C parçacık oranının artmasıyla Al/B₄C kompozitin aşınma direncini önemli ölçüde arttırdığını gözlemlemiştir. Topcu ve ark., [6] TM yöntemi ile üretilen B₄C parçacık takviyeli Al matrisli kompozitlerin takviye oranına bağlı mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında kompozitlerdeki takviye oranının artmasıyla malzemenin darbe enerjisinin azaldığını ve sertlik değerinin arttığını gözlemlemiştir. Baradeswaran ve Elaya Perumal [7] döküm yöntemi ile üretilen Al 7075 parçacık takviyeli kompozit malzemede B₄C parçacık takviyesinin mekanik ve tribolojik davranışlara etkisini incelemişlerdir. Varol ve ark., [8] TM yöntemi ile Al2024/B₄C parçacık takviyeli kompozitlerin üretiminde; öğütme zamanı, parçacık boyutu ve parçacık miktarının kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerine

etkisini yapay sinir ağlarını kullanarak araştırmışlardır. Öğütme zamanının artması kompozitin sertliğini artırırken bağlı yoğunluğunun azalmasına neden olduğunu gözlemlemiştir. Harichandran ve Selvakumar [9] karıştırma ve ultrasonik kavitasyon yardımcı döküm yöntemleri ile üretilen Al/B₄C kompozit malzemede mikro ve nano B₄C parçacıklarının mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Mikro ve nano kompozitlerin mekanik özelliklerini değerlendirmek için çekme, sertlik, darbe ve aşınma testleri gerçekleştirmişlerdir. Çekme sonuçlarından % 6'ya kadar nano B₄C takviyeli kompozitler içeren numunelerin özelliklerinin, mikro B₄C takviyeli kompozitlerden daha iyi olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca nano kompozitlerin süneklik ve darbe enerjisinin mikro B₄C parçacık takviyeli kompozitlerinkinden daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Hariprasad ve ark., [10] karıştırma döküm tekniği ile üretilen % 5 Al₂O₃ ve dört farklı (% 0, 3, 5 ve 7) B₄C parçacık takviyeli Al 5083 matrisli kompozitin aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Al₂O₃ ve B₄C parçacık takviye oranının artmasıyla kompozit malzemedeki aşınma direncinin arttığını tespit etmişlerdir. Kumar Bodukuri ve ark., [11] TM yöntemi ile üretilen Al/SiC/B₄C MMK'larda B₄C parçacık oranındaki artışın, MMK'ların mikrosertlik değerini önemli derecede arttırdığını tespit etmişlerdir. Seçilmiş ve Çelik [12], TM yöntemiyle üretilen B₄C takviyeli Al-MMK'lerde takviye oranının sertlik ve mikroyapıya etkisini incelemişlerdir. Siddesh Kumar ve arkadaşları [13], karıştırma döküm tekniği ile ürettikleri Al2219, Al2219/B₄C ve Al2219/B₄C/MoS₂ hibrit kompozitlerin aşınma davranışlarını incelemişlerdir. B₄C ve MoS₂ takviyelerinin hibrit kompozitin aşınma direncini arttırdığını tespit etmişlerdir. Thirumalai Kumaran ve arkadaşları [14], karıştırma döküm yöntemi ile üretilen AA6351 metal matrisli B₄C ve SiC parçacık takviyeli kompozitlerin takviye oranının aşınma davranışları üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kompozit içerisindeki B₄C parçacık oranının artmasıyla aşınma oranının önemli ölçüde düştüğünü, dolayısıyla daha yüksek yük ve kayma hızı koşullarında B₄C parçacık oranı yüksek olan kompozitlerin iyi aşınma direnci davranışı sergilediğini gözlemlemiştir. Mazahery ve Shabani [15], kaplanmış B₄C takviyesiyle

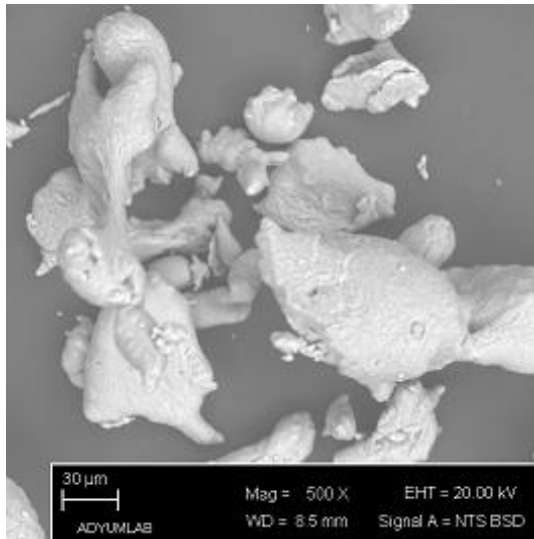
güçlendirilmiş Al-Si matrisinin aşınma davranışını incelemiştir. Siddhartha Prabhakar ve arkadaşları [16], Al/B₄C takviyeli MMK'lerin B₄C takviyesine, yüke, kayma hızına ve kayma mesafesine bağlı tribolojik davranışlarını incelemiştir. Hasırcı ve Gül [17], TM yöntemi ile üretilen Al matrisli B₄C parçacık takviyeli kompozitlerin kuru kayma koşullarındaki abrasif aşınma davranışlarını incelenmiştir. Al matris içerisine ilave edilen B₄C parçacıklarının iyi bir şekilde dağıldığı ancak takviye oranının artmasıyla dağılım düzeninin bir miktar azaldığını gözlemlemiştir. Rajesh ve arkadaşları [18], döküm yöntemi ile üretilen Al6061 matrisli B₄C seramik takviyeli kompozitin aşınma davranışını incelemiştir. Takviye oranının malzemenin yoğunluğu, sertliği, gözenekliği, uzaması ve mukavemeti gibi özelliklerini etkilediğini belirtmişlerdir. Shabani ve Mazahery [3], TiB₂ ile kaplanmış B₄C parçacıklarını farklı hacimlerde alüminyum alaşımına ilave ederek güçlendirilmemiş A356 alaşımının aşınma özelliklerini deneysel olarak araştırmışlardır. Karamış ve arkadaşları [19], TM yöntemi ile üretilen AA2124 metal matrisli farklı parçacık boyutlarına ve takviye oranına sahip SiC, B₄C veya Al₂O₃ takviye parçacıklı kompozitlerin tribolojik özelliklerini incelemiştir. SiC ve B₄C takviye oranına sahip kompozitlerin Al₂O₃

takviye oranına sahip kompozitlerden daha yüksek aşınma direnci gösterdiğini gözlemlemiştir. Uthayakumar ve arkadaşları [20], karıştırma döküm yöntemi ile üretilen Al 1100 alaşım matrisli % 5 SiC ve % 5 B₄C takviyeli hibrit kompozit malzemenin aşınma davranışlarını incelemiştir. Hibrit kompozit malzemelerin aşınma dirençlerinin oldukça iyi olduğunu tespit etmişlerdir.

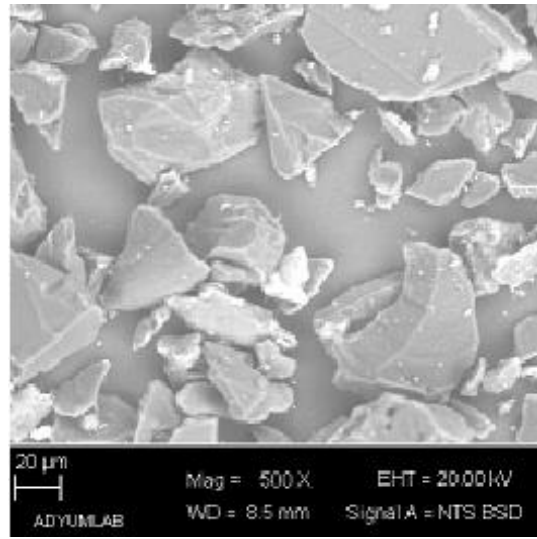
Yapılan çalışmalar incelendiğinde TM veya karıştırma döküm yöntemi ile üretilen Al matrisli seramik parçacık takviyeli çok sayıda çalışmanın olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada B₄C parçacık takviyeli Al-MMK'lerin TM yöntemi ile üretilmesinde presleme basıncının ve takviye oranının kompozitin sertliğine ve aşınma davranışlarına etkisi incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

TM yöntemi ile B₄C parçacık takviyeli Al matrisli (Al/B₄C) kompozitlerin üretilmesinde presleme basıncının ve takviye oranının sertlik ve aşınma davranışları üzerine etkilerini belirlemek için 25-44 µm boyuta ve % 99.9 saflığa sahip B₄C tozu ile 1-210 µm ve % 99 saflığa sahip Al tozu temin edilmiştir. Temin edilen tozlara ait SEM görüntüleri Şekil 1'de verilmiştir.



a) Saf Al tozu



b) B₄C tozu

Şekil 1. Tozların SEM görüntüleri

Tozlar 1 mg hassasiyete sahip hassas terazi ile tartılıp içerisine yağlayıcı olarak 5/1000

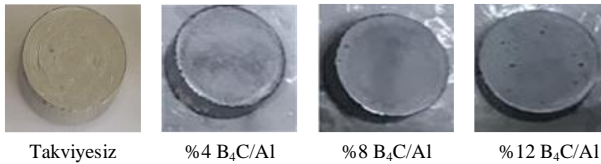
oranında çinko stearat tozu ilave edilmiştir. Tozların karışım oranları takviyesiz Al, ağırlıkça

% 4, 8 ve 12 B₄C/Al olacak şekilde hazırlanmıştır. Tozlar 5 mm çapındaki çelik bilyeler yardımı ile mekanik karıştırma cihazında (Planetary Ball Mill, XQM-2) 300 dev/dak dönme devrinde 20 dakika boyunca karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi sonucunda tozların homojen olarak dağıldığı gözlemlenerek tozlar 20 mm çapında silindirik kalıp içerisinde 400 ve 475 MPa basınçlar altında preslenmiştir. Bu doğrultuda farklı presleme basıncındaki saf Al ile farklı takviye oranına sahip Al/B₄C kompozitler Nabertherm Marka fırında 580°C sıcaklıkta 120 dakika boyunca argon gazı ortamında sinterlenmiştir. Sinterlenerek kompozit haline getirilen numunelerin yüzeyleri PRESİ MINITEC 233 parlatma cihazında sırasıyla 120, 240, 400, 600, 800 ve 1200 boyuttaki zımpara kâğıtları, HS-V 3 parlatma keçesi, 3 mikron elmas süspansiyon ve alkol kullanılarak temizlenmiştir. Numunelerin optik görüntüler NADE marka NMM-800 TRF model optik mikroskopla 5X büyültme ile incelenmiştir. Çalışmada kullanılan cihazların görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir.

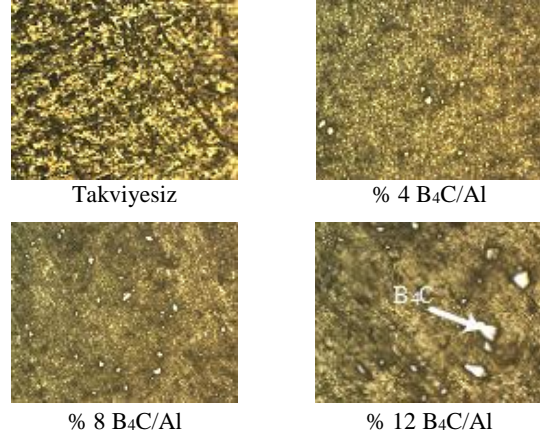


Şekil 2. Çalışmada kullanılan cihazlar

Al/B₄C kompozit numunelere ait resimler ve optik görüntüler sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4’de verilmiştir.

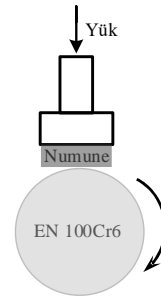


Şekil 3. Al/B₄C kompozitlere ait resimler



Şekil 4. Al/B₄C kompozitlerin optik görüntüleri

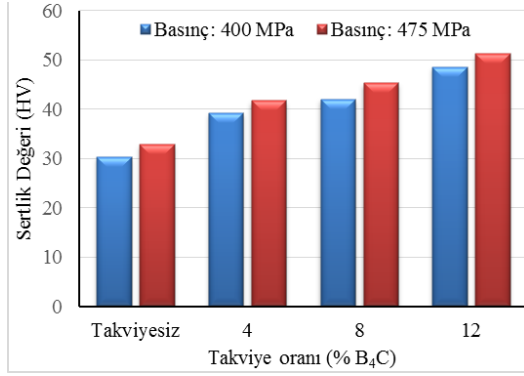
Sertlik deneyleri Shimadzu HMV mikrosertlik ölçüm cihazında gerçekleştirilmiştir. Kompozit numunelerin farklı noktalarına 1 N’luk yük 15 saniye boyunca uygulanarak elde edilen izin büyüklüklerine bağlı olarak alınan ortalama değere göre sertlik değerleri tespit edilmiştir. Aşınma deneyleri ise JETCO JML-3010Y torna tezgâhına bağlanan özel aşınma deney düzeneği ve aşındırıcı olarak kullanılan EN 100Cr6 rulman çeliği ile yapılmıştır. Şekil 5’de kompozitlerin aşınma deneyinin yapılması için hazırlanan deney düzeneği gösterilmiştir. Aşınma deneyleri kuru kayma şartları altında, 0,50 m/s sabit kayma hızında, 5, 10 ve 15 N yüklerde, 250, 500 ve 750 m kayma mesafelerinde gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyi yapılan numunelerin SEM görüntüleri de incelenmiştir.



Şekil 5. Aşınma deney düzeneği

3. Sonuçlar

Farklı presleme basınçlarında TM yöntemi ile üretilen saf Al ile B₄C parçacık takviyeli Al matrisli kompozit numunelerin aşınma davranışlarını belirlenmeden önce, bu numunelerin sertlikleri tespit edilmiştir (Şekil 6).



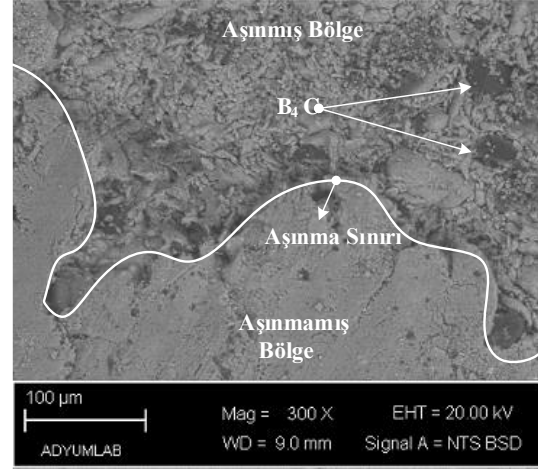
Şekil 6. Basınç ve takviye oranına bağlı sertlik değerleri

Şekil 6’da görüldüğü gibi sertlik değeri, presleme basıncı ve takviye oranı ile değişmektedir. Hem presleme basıncının hem de takviye oranının artması sertlik değerini arttırmıştır. En düşük sertlik değeri, preleme basıncının 400 MPa olduğu takviyesiz Al’den 30,4 HV, en yüksek sertlik değeri ise presleme basıncının 475 MPa olduğu % 12 B₄C takviyeli Al matrisli kompozitten 51,3 HV olarak ölçülmüştür. Sertliğin değişmesine en büyük katkıyı takviye oranının değişmesi sağlamıştır. Çünkü takviye elemanı olarak kullanılan B₄C oldukça sert bir yapıya sahiptir ve ilave edildiği malzemenin sertlik değerini artırır. Baradeswaran ve Elaya Perumal [7] ve Mazahery ve Shabani’de [15] kompozit malzemeye ilave edilen takviye elemanının oranındaki artışın sertliği önemli ölçüde arttırdığını belirtmişlerdir. Orhan ve ark. [21] ve Guo ark. [22] presleme basıncının artmasının tozlar arasındaki gözenekli

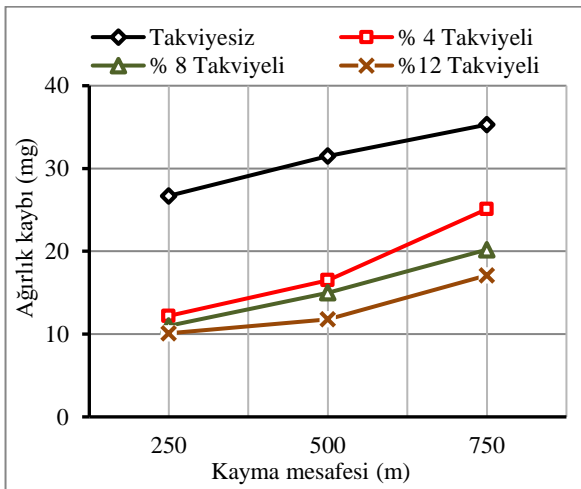
yapıyı azaltarak, sertlik değerinin artmasına katkı sağladığını ifade etmişlerdir.

Şekil 7’de % 12 B₄C takviyeli Al matrisli kompozit numune üzerinde aşınma deneylerinin yapıldığı bölge ile aşınmamış bölgenin SEM görüntüsü verilmiştir. Tozlar mekanik karıştırma cihazında karıştırılarak hazırlandığı için numune içerisinde takviye elemanının homojen olarak dağıldığı görülmüştür. Ayrıca aşınma ile birlikte numune yüzeylerinde çizikler, çatlaklar ve çukurlaşmalar gözlemlenmiştir.

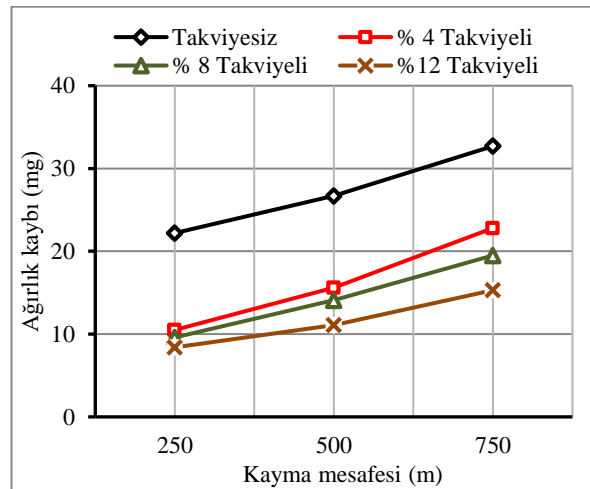
Takviyesiz ve farklı B₄C takviyeli Al matrisli kompozitlerin kuru kayma şartları altında kayma mesafesine bağlı ağırlık kaybı değişimi Şekil 8’de, takviye oranına ve yüke bağlı ağırlık kaybı değişimi Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 7. % 12 B₄C takviyeli numuneye ait aşınma SEM görüntüsü

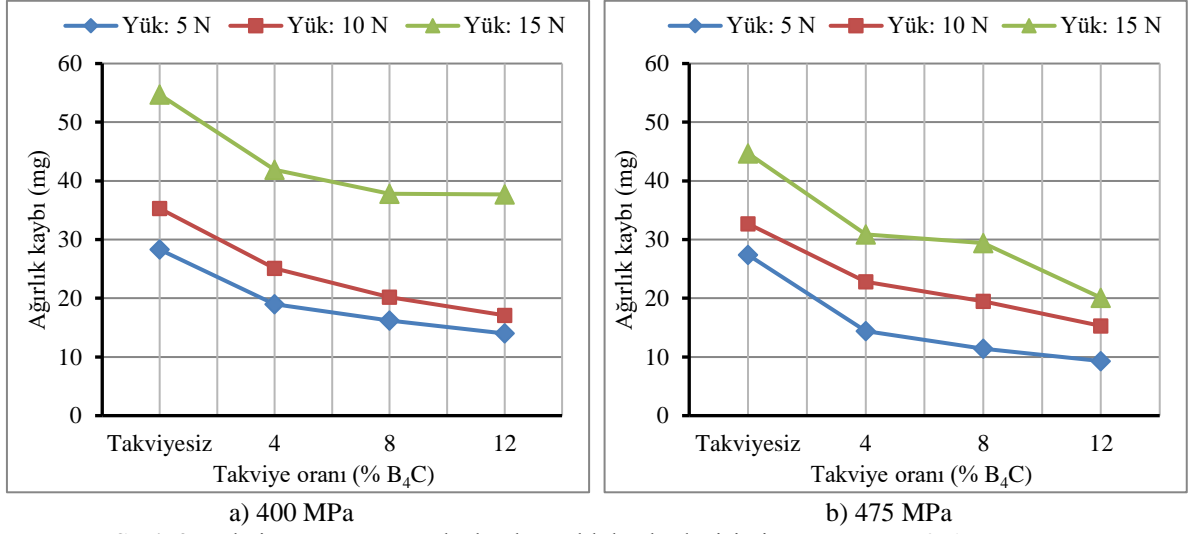


a) 400 MPa



b) 450 MPa

Şekil 8. Kayma mesafesine bağlı ağırlık kaybı değişimi (Yük: 10 N)

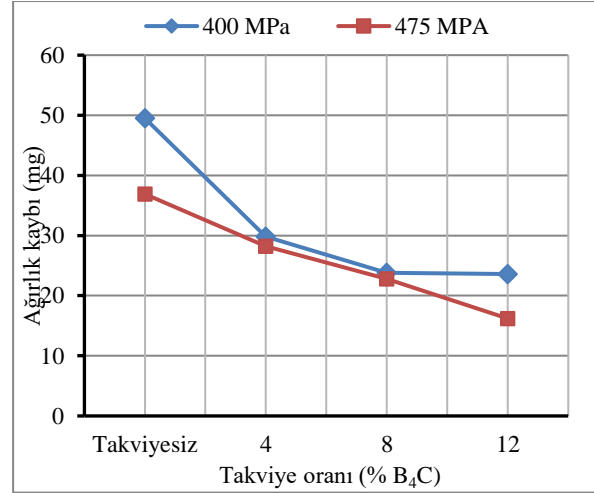


Şekil 9. Takviye oranına ve yüke bağlı ağırlık kaybı değişimi (Kayma mesafesi: 750 m)

Şekil 8’de görüldüğü gibi hem 400 MPa hem de 475 MPa basınç altında preslenerek üretilen tüm numuneler için kayma mesafesinin artması ağırlık kaybının artmasına neden olmuştur. Şekil 9’da ise uygulanan yükün artması ile ağırlık kaybının arttığı görülmektedir. Bir biri ile etkileşim halinde çalışan yüzeylerde bağlı hareketin sonucu olarak hasarlar oluşmaktadır. Bu hasarlar özellikle plastik deformasyonun sonucu olarak malzeme kaybı ve mikroçatlaklar olarak gözlemlenmektedir. Yükün ve kayma mesafesinin artması plastik deformasyonu arttırdığından dolayı kompozit malzemelerde ağırlık kaybı artmıştır.

Şekil 8 ve Şekil 9’da da görüldüğü gibi takviye oranının artması ise ağırlık kaybını azaltmıştır. Ağırlık kaybının azalmasına katkı sağlayan diğer etmen ise kompozit numunelerin üretilmesi esnasında kullanılan presleme basıncıdır. Şekil 10’da presleme basıncına ve takviye oranına bağlı ağırlık kaybı değişimi verilmiştir. Sert ve daha az gözenekli yapıya sahip olan makine elemanları, bir biri ile etkileşim halinde çalıştığı zaman daha az plastik deformasyona uğrar. Guo ve ark. [22] B₄C takviye elemanının oldukça sert ve iyi aşınma direncine sahip olduğundan dolayı bu takviye elemanları ile üretilen kompozitlerin aşınma dirençlerinin arttığını ifade etmişlerdir. Dolayısıyla aşınma direnci yüksek olan malzemelerde ağırlık kaybı azalmaktadır.

Minimum ağırlık kaybı presleme basıncının 475 MPa, uygulanan yükün 5N ve kayma mesafesinin 250 m olduğu durumda % 12



Şekil 10. Presleme basıncı ve takviye oranının ağırlık kaybına etkisi (Yük: 15 N, Kayma mesafesi: 500 m)

B₄C takviyeli Al matrisli kompozit numuneden 3,3 mg olarak elde edilmiştir. Maksimum ağırlık kaybı ise presleme basıncının 400 MPa, uygulanan yükün 15 N ve kayma mesafesinin 750 m olduğu durumda takviyesiz numuneden 54, 7 mg olarak elde edilmiştir.

4. Tartışma

TM yöntemiyle farklı presleme basınçlarında üretilmiş takviyesiz ve B₄C takviyeli Al matrisli kompozitlerin mikroyapıları, sertlik ve aşınma değerleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- ✓ B₄C takviyesinin matris içerisinde homojen olarak dağıldığı görülmüştür.

- ✓ Presleme basıncının ve B₄C parçacık takviye oranının artması sertlik değerinin artmasına katkı sağlamıştır.
- ✓ En yüksek sertlik değeri 475 MPa presleme basıncında üretilen % 12 B₄C takviyeli Al matrisli kompozit numuneden 51,3 HV olarak elde edilmiştir.
- ✓ En düşük sertlik değeri 400 MPa presleme basıncında üretilen takviyesiz numuneden 30,4 HV olarak elde edilmiştir.
- ✓ Kompozit numunelerin sertlik değeri arttıkça aşınma kaybına bağlı olarak aşınma direncinin arttığı tespit edilmiştir.
- ✓ Presleme basıncının ve takviye oranının artması ile aşınma kaybının azaldığı görülmüştür.
- ✓ Kayma mesafesinin ve uygulanan yükün artması ile aşınmanın arttığı görülmüştür.
- ✓ En fazla aşınma miktarı 400 MPa presleme basıncında üretilen takviyesiz numuneden elde edilmiştir.
- ✓ En iyi aşınma direnci 475 MPa presleme basıncında üretilen % 12 B₄C takviyeli Al matrisli kompozit numuneden elde edilmiştir.

5. Kaynaklar

1. Bedir, F. (2007). Characteristic properties of Al-Cu-SiC_p and Al-Cu-B₄C composites produced by hot pressing method under nitrogen atmosphere. *Materials and Design*, **28**: 1238-1244.
2. Fattah-Alhosseini, A., Naseri, M., Alemi, M.H. (2016). Corrosion behavior assesment of finely dispersed and highly uniform Al/B₄C/SiC hybrid composite fabricated via accumulative roll bonding process. *Journal of Manufacturing Processes*, **22**: 120-126.
3. Shabani, M.O, Mazahery, A. (2011). Modeling of the wear behavior in A356-B₄C composites. *Journal of Materials Science*, **46**:6700-6708.
4. Shorowordi, K.M., Haseeb, A.S.M.A., Celis J.P. (2006). Tribo-surface characteristics of Al-B₄C and Al-SiC composites worn under different contact pressures. *Wear*, **261**: 634-641.
5. Ipek, R. (2005). Adhesive wear behaviour of B₄C and SiC reinforced 4147 Al matrix composites (Al/B₄C-Al/SiC). *Journal of Materials Processing Technology*, **162**:71-75.

6. Topcu, I., Gulsoy, H.O., Kadioglu, N., Gulluoglu, A.N. (2009). Processing and mechanical properties of B₄C reinforced Al matrix composites. *Journal of Alloys and Compounds*, **482**:516-521.
7. Baradeswaran, A., Elaya Perumal, A. (2013). Influence of B₄C on the tribological and mechanical properties of Al 7075-B₄C composites. *Composites: Part B*, **54**:146-152.
8. Varol, T., Canakci, A., Ozsahin, S. (2013). Artificial neural network modeling to effect of reinforcement properties on the physical and mechanical properties of Al2024-B₄C composites produced by powder metalurgy. *Composites: Part B*, **54**:224-233.
9. Harichandran, R., Selvakumar, N. (2016). Effect of nano/micro B₄C particles on the mechanical properties of aluminium metal matrix composites fabricated by ultrasonic cavitation-assisted solidification process. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, **16**:147-158.
10. Hariprasad, T., Varatharajan, K., Ravi, S. (2014). Wear characteristics of B₄C and Al₂O₃ reinforced with Al 5083 metal matrix based hybrid composite. *Procedia Engineering*, **97**:925-929.
11. Bodukuri, A.K., Eswaraiyah, K., Rajendar, K. (2016). Fabrication of Al-SiC-B₄C metal matrix composite by powder metallurgy technique and evaluating mechanical properties. *Perspectives in Science*, **8**:428-431.
12. Seçilmiş, K., Çelik, Y.H. (2016). Investigation of hardness and microstructures of B₄C/Al composites in different reinforcing rates. *International Engineering Science and Education Conference*, (1-3 December 2016), *Proceeding Book*, Diyarbakır, 667-663.
13. Kumar, N.G.S., Ravindranath, V.M., Shankar, G.S.S. (2014). Dry sliding wear behaviour of hybrid metal matrix composites. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, **3**:554-558.
14. Kumaran, S.T., Uthayakumar, M., Aravindan, S., Rajesh, S. (2016). Dry sliding wear behaviour of SiC and B₄C-reinforced AA6351 metal matrix composite produced by stir casting process. *Journal of Materials: Design and Applications*, **230**:484-491.
15. Mazahery, A., Shabani, M.O. (2012). A comparative study on abrasive wear behavior of semisolid-liquid processed Al-Si matrix reinforced with coated B₄C reinforcement. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, **65**:145-154.

- 16.**Prabhakar, N.S., Radhika, N., Raghu, R. (2014). Analysis of tribological behavior of aluminium/B₄C composite under dry sliding motion. *Procedia Engineering*, **97**:994-1003.
- 17.**Hasırcı, H., Gül, F. (2010). B₄C/Al kompozitlerin takviye hacim oranına bağlı olarak abrasif aşınma davranışlarının incelenmesi. *SDU International Technologic Science*, **2**:15-21.
- 18.**Rajesh, G.L., Auradi, V., Kori, S.A. (2016). Mechanical behaviour and dry sliding wear properties of ceramic boron carbide particulate reinforced Al6061 matrix composites. *Transactions of the Indian Ceramic Society*, **75**:112-119.
- 19.**Karamış, M.B., Cerit, A.A., Selçuk, B., Nair, F. (2012). The effects of different ceramics size and volume fraction on wear behavior of Al matrix composites (for automobile cam material). *Wear*, **289**:73-81.
- 20.**Uthayakumar, M., Aravindan, S., Rajkumar, K. (2013). Wear performance of Al-SiC-B₄C hybrid composites under dry sliding conditions. *Materials and Design*, **47**:456-464.
- 21.**Orhan, A., Gür, A.K., Çalığülü, U. (2007). Al matrisli B₄C takviyeli kompozitlerin sıcak presleme yöntemiyle üretimi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **4**:8-13.
- 22.**Guo, W.M., Zhang, Z.L., Li, J.X., You, Y., Wu, S.H., Lin, H.T. (2016). Improvement of densification and mechanical properties of Al₂O₃-B₄C ceramics. *Ceramics International*, **42**:11486–11489.

Sabit ve Hareketli Hava ile Isıtılan Güneş Kolektörlerinin Isıl Verimliliklerinin Karşılaştırılması ve Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi

Mehmet DAŞ¹, Ebru AKPINAR²

¹Erzincan Üniversitesi İliç Dursun Yıldırım Meslek Yüksekokulu
24700 İliç, ERZINCAN, mdas@erzincan.edu.tr

²Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
23200 ELAZIĞ, ebruakpinar@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 29.05.2017; Kabul/Accepted: 30.01.2018)

Özet

Bu çalışmada, sabit ve hareketli hava ısıtmalı güneş kolektörleri (HIGK) kullanılmıştır. Hareketli ve sabit güneş kolektörünün ısı performansları deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel verilerde, güneş kolektörlerinin giriş ve çıkış hava sıcaklıkları, radyasyon, hava hızı, emici plaka sıcaklıkları, toplayıcıların dış yüzey sıcaklıkları ve şeffaf örtü sıcaklıkları ölçülmüştür. Yapılan ölçümlere dayalı olarak her iki güneş kolektörlerinin ısı verimleri hesaplanmıştır. Deneysel verilerle hesaplanan ısı verim için yapay sinir ağı (YSA) modeli oluşturulmuştur. YSA modeli ile ısı verim değerleri tahmin edilmiştir. Sonuç olarak deneysel ve tahmin edilen ısı verimleri karşılaştırılmış, HIGK'nin daha verimli çalıştığı tespit edilmiştir. Yapay sinir ağı modelinin, sabit HIGK ve hareketli HIGK'lerinin ısı verimlerini başarıyla tahmin ettiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Takip Sistemi, Güneş Kolektörü, Isıl Verim

Comparison of Thermal Efficiency of Fixed and Moving Air Heated Solar Collectors and Modeling with Artificial Neural Networks

Abstract

In this study fixed and moving air heated solar collectors (AHSC) were used. Moving and fixed solar collector's thermal performances were investigated experimentally. In the experiments, inlet and outlet air temperatures of solar collectors, radiation, air velocity, absorbent plate temperatures, outer surface temperatures of collectors and transparent cover temperatures were measured. The thermal efficiencies of both solar collectors were calculated according to the measurements. An artificial neural network (ANN) model was constructed for the thermal efficiency calculated from experimental data. Thermal efficiency values were estimated with ANN model. It has been determined that the artificial neural network model successfully predicts the thermal efficiencies of fixed AHSC and moving AHSC.

Keywords: Solar Tracking System, Solar Collector, Thermal Efficiency

1. Giriş

Günümüzde enerji ihtiyacı nüfus artışı, hızlı teknolojik gelişmeler, ekonomik büyüme ve küreselleşme gibi etmenlere bağlı olarak artmaktadır. Artan enerji ihtiyacına cevap verebilmek amacıyla insanoğlu mevcut enerji kaynaklarının yanı sıra alternatif enerji kaynaklarına yönelmeye başlamıştır [1].

HIGK uzun ömürlü, hafif, korozyon gibi problemleri olmayan düşük maliyetli basit cihazlardır. Konvansiyonel bir hava ısıtma kolektörü etrafı iyi yalıtılmış bir kasa, bu kasa içine yerleştirilen bir yutucu plaka ve en üste ise bir saydam örtüden meydana gelir. Hava akımının doğal veya cebri olması durumuna göre de sistemde bir fan yer alır. Güneş enerjili hava kolektörlerinde yutucu plaka ve hava arasındaki ısı transfer katsayısı düşüktür. Bu nedenle bu

kollektörler istenilen ısı verim değerlerinde çalışmamaktadır [2].

Literatürde güneş enerjisinden daha etkili bir şekilde faydalanmak için güneş takip sistemli çalışmalar yapılmıştır. İşcan, güneşi sürekli olarak gün içerisinde iki yönde takip edebilen güneş takip sistemi devresi tasarlamıştır. Yapılan sistemin gün içerisinde çalışma analizini yapmış ve tasarlanacak farklı güçler için maliyet analizi hazırlamıştır [3]. Demirtaş, bilgisayar kontrollü iki eksenli güneş takip sistemi tasarlamış ve imal etmiştir. Sistemin dikey ve yatay hareketini step motor (adım motoru) ile sağlamıştır. Elde edilen verileri bilgisayar ortamına kaydedebilmek için ve sistemi bilgisayar ile kontrol edebilmek için mikro denetleyici kontrollü bir ara birim kullanmıştır. Güneş takip sistemi ile takip edildiğinde normal gün ışığında 12 Volt, güneşe dik olduğu zamanlarda 18.5 Volt, güneşi yeterli hassasiyette takip edemediği veya havanın kapalı olduğu zamanlarda ise 10 Volt civarında gerilim üretmiştir. Hareketli sistemin üretimlerini sabit sistem ile karşılaştırdığında %35 daha fazla üretim elde ettiğini savunmuştur [4]. Seme and Štumberger, iki eksenli güneş takip sistemi üzerinde güneş radyasyonu ve Diferansiyel Evrim kullanarak güneş açıları için yeni bir tahmin algoritması geliştirmişlerdir [5]. Kırbas ve ark., güneş takip mekanizması kullanarak hava ısıtmalı güneş kollektörlerinde güneş enerjisinin etkin kullanımını sağlamışlardır. Çalışmalarında biri sabit biri hareketli olmak üzere iki adet kolektörün çıkış sıcaklıkları arasındaki farkı belirlenmek için ölçümler yapmışlardır. Sabah ve öğleden sonra hareketli tipteki kollektörün çıkış sıcaklığının sabit olan kollektöre göre ortalama 5-12 °C daha fazla olduğu belirlemişlerdir [6].

Günümüzde güneş enerjisi ile çalışan sistemlerin verimini incelemek ve performansını arttırmak için yapay sinir ağları (YSA) ile çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Altıntaş ve ark, düz yutucu plaka ile konik yayların yerleştirildiği yutucu plakaya sahip hava ısıtmalı güneş kollektörlerinin verimi ve kollektör çıkış sıcaklığını incelemişlerdir. Elde ettikleri değerleri YSA ile tahmin etmiş ve %97 tahmin başarısı elde etmişlerdir [2]. Şevik ve ark., güneş destekli bir ısı pompalı kurutucuda mantar kurutmuşlardır. Deneylerden elde edilen nem içeriği (MC), ayrılabilir nem oranı (MR) ve kurutma hızı (DR) değerleri Levenberg-Marquardt (LM) geri

yayılım öğrenme algoritması ve Fermi transfer fonksiyonu kullanılarak YSA ile modellemişlerdir. Geliştirilen modelin istatistiksel geçerliliğinin belirlenmesinde çoklu belirleme katsayısı (R^2), ortalama hata kareleri karekökü (RMSE), ve ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) istatistik değerlerini kullanmışlardır [7]. Erentürk ve ark., farklı kuruma şartları ve farklı örnek kalınlıkları için havucun tek tabaka kuruma kinetiğini incelemişlerdir. Kuruma verileri kullanılarak kurutma eğrileri elde etmişlerdir. Kuruma kinetiğini ifade etmek amacıyla literatürde bulunan dört farklı kurutma modeli sisteme uygulamışlardır. Modellerin kıyaslanması, r , r^2 , χ^2 , ve SSR değerleri bulunarak yapmışlardır. Bunlara ek olarak nem içeriği tahmininde YSA modelleri uygulanmış ve seçilen modellerle kıyaslamışlardır [8]. Özdemir ve ark., farklı kurutma sıcaklıklarında (40, 45, 50 ve 55 °C) ve 0.5 (m/s) hava hızında ısı geri kazanımlı (CIRHR) konvektif-kızıl ötesi kurutma sisteminin deneysel performansını değerlendirmişlerdir. Sistemin enerji tüketimi ve kiviinin kurutma kinetiğini yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak modellemişlerdir. Kurutma sisteminin enerji verimliliği değerlerini % 2.85 ve % 32.17 arasında elde etmişlerdir. YSA modeli, sistemin enerji tüketimini ve kiviideki nem içeriğini tahmin etmek için kullanmışlardır. YSA ağında Levenberg-Marquardt (LM) ve Fermi transfer fonksiyonlu geriye yayılım öğrenme algoritmalarını kullanmışlardır [9].

Bu çalışmada ısı verimi arttırmak için HIGK ne güneş takip özelliği kazandırılmıştır. Tasarlanan hareketli HIGK ve sabit HIGK'nin ısı verimlilikleri hem deneysel hem de YSA modeliyle bulunmuştur.

2. Materyal ve Metot

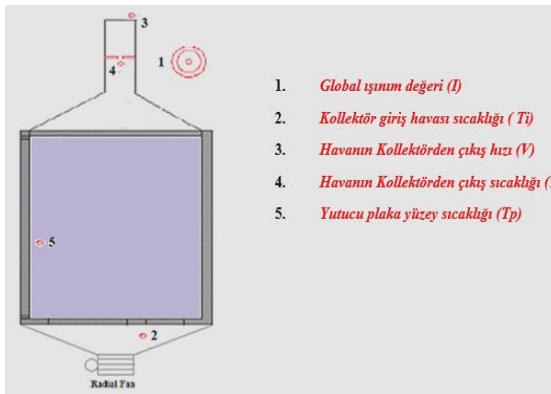
Hareketli ve sabit HIGK'leri 800mm x 1400mm ölçülerindedir ve yutucu plakaları siyaha boyanmış trapez sacdan oluşmaktadır. HIGK'nin performansını etkileyen en önemli faktörlerden biri güneş ışığından maksimum düzeyde faydalanmaktır. Bunun için güneş ışınlarının kollektöre sürekli 90°'de gelmesi gerekir. Hareketli HIGK güneş ışınlarının kollektöre dik açıda gelebilmesi için programmable logic controller (PLC) sistemi ile

güneşi doğu-batı ve kuzey-güney yönlerinde takip edecek şekilde tasarlanmıştır. Sabit HIGK ise azimut açısına göre Elazığ ili için 42° ye sabitlenmiştir. Sabit ve hareketli kolektörlerin performansını ölçmek için kurulan deney düzeneği Şekil-1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney Düzeneği

Deney düzeneğinin kurulumundan sonra sistem açık hava koşulları altında çalıştırılarak gerekli ölçümler yapılmıştır. Kolektörlerin ısı verimlerinin hesaplanması için kolektörlerin girişinden, çıkışından, yutucu plaka ve saydam örtü üzerinden çeşitli ölçümler yapılmıştır. Deney setindeki ölçüm noktaları Şekil-2.'de verilmiştir. Ölçümler Mayıs 2017'de saat 08:00-17:00 arasında Elazığ ilinde yapılmıştır. Veri kaydetme aralığı 30 dakika olarak ayarlanmıştır



Şekil 2. Ölçüm Noktaları

Hava hızı ölçümü için ±0,2 (m/s) hassasiyetli hotwire tip anemometre kullanılmıştır. Kolektörlerin çıkış hava kanalına anemometre yerleştirilerek hava hızları ölçülmüştür. Kolektörlerin giriş ve çıkış hava sıcaklıkları

ölçümü için her iki bölgeye birer adet ısı sensör monte edilerek sıcaklıklar ölçülmüştür. Yutucu plaka yüzey sıcaklığı için plaka üzerine ısı sensör yerleştirilmiştir. Kullanılan ısı sensörler ±0.5°C hassasiyetlidir. Global radyasyon miktarı ölçümü için solar radyasyon ölçer kullanılmıştır. Deneylerde hava sıcaklığı, hava hızı, yüzey sıcaklığı ve güneş ışınımı değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümler yardımıyla kütleli debi ve ısı verim hesaplamaları yapılmıştır.

3. Yöntem

Güneş enerjili hava kolektöründe faydalı enerji, kolektörden geçen akışkanın giriş ve çıkış sıcaklığına bağlı olarak,

$$Q_u = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i) \quad (1)$$

şeklinde hesaplanır. Burada, \dot{m} , kolektörden geçen havanın kütleli debisi (kg/s), C_p havanın özgül ısıdır (J/kgK), T_i ve T_o sırasıyla kolektör hava giriş ve çıkış sıcaklıklarıdır (°C).

Kolektörden geçen havanın kütleli debisi ise,

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A_k \quad (2)$$

şeklinde hesaplanır. Burada ρ havanın yoğunluğu (kg/m³), V hava akış hızı (m/s), A_k ise kolektörün çıkış kesit alanı (m²)'dir.

Termodinamiğin I. kanunundan faydalanarak kolektörün ısı verimi;

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i)}{I \cdot A_C} \quad (3)$$

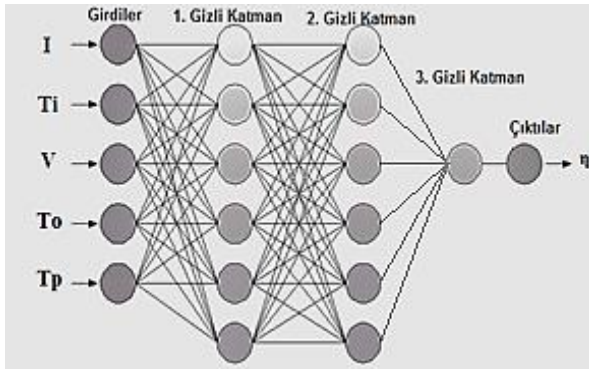
şeklinde belirlenir. Burada, η ısı verimi, I kolektör yüzeyine gelen güneş ışınımı (W/m²), A_C ise güneş ışınımının direkt olarak vurduğu yutucu plaka yüzey alanıdır (m²).

4. Verilerin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi

Yapay sinir ağları ya da kısaca YSA; insan beyninin çalışma sisteminin yapay olarak benzetimi çabalarının bir sonucu olarak ortaya

çıkıştır. YSA, belirli değerlere dayanarak, girdi alanında olan noktaları çıktı alanında olan eş noktalara belli bir fonksiyonla bağlamaktadır [9]. Yapay sinir ağları, örüntü tanıma, tahmin etme, sınıflandırma vb. geniş uygulama alanına sahiptir. Yapay sinir ağları, insanlara benzer olarak örnekler ile öğrenirler. Bu nedenle veri seti, eğitim ve test kümesi olarak iki kısma ayrılır [10].

Sistemde, yapay sinir ağları beş giriş ve bir çıkış olarak modellenmiştir. Havanın kolektöre giriş sıcaklığı (T_i), yutucu plaka yüzey sıcaklığı (T_p), global radyasyon (I) değeri, havanın çıkış hızı (V) ve kolektör havası çıkış sıcaklığı (T_o) giriş bilgisi olarak alınmıştır. Çıkış bilgisi olarak ısıl verim (η) kullanılmıştır. Toplam olarak 5 katmandan oluşan modelin girdi katmanı 5 girdi için 5 nöron, birinci gizli katman 6 nöron, ikinci gizli katman 6 nöron, üçüncü gizli katman için 1 nöron ve çıktı katmanı ise sadece tek bir nöron içermektedir. Oluşturulan YSA modelinin yapısı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. YSA model yapısı

Isıl verim değerlerinin yapay sinir ağı ile modellenmesinde MATLAB 2016a yazılımı kullanılmıştır. Bilgi kümesinde 190 adet giriş ve 38 adet çıkış bilgisi bulunmaktadır. Bu bilgilerden 160 tanesi eğitim işleminde kullanılmıştır. 68 tanesi ise test işleminde kullanılmıştır. Öğrenme algoritması olarak Feed Forward Back Propagation (ileri doğru beslemeli ve geriye yayılım) algoritması kullanılmıştır. Eğitim için Levenberg Marquardt algoritması kullanılmıştır.

YSA ile HIGK'nin modellenmesinden elde edilen sonucun doğruluk oranı, Root Mean Square Error (RMSE) ve Mean Square Error (MSE) kullanılarak belirlenmiştir.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (DATA_{exp,i} - DATA_{ANN,i})^2 \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^n (\eta_{ANN,i} - \eta_{exp,i})^2}{n}} \quad (5)$$

Sabit ve Hareketli kolektörlerin ısıl verimleri için oluşturulan YSA modelleri için hata oranları Tablo 1.'de gösterilmiştir.

Tablo 1. YSA yapısı hata oranları

Sabit kolektör ısıl verimi için YSA hata oranları	
Mean-Squared Error	0.595
Root mean-Square error	0.838
Hareketli kolektör ısıl verimi için YSA hata oranları	
Mean-Squared Error	0.452
Root mean-Square error	0.674

Isıl verim değerleri tahmini için kullanılan YSA modelinin parametreleri ve yapısı Tablo 2.'de gösterilmiştir.

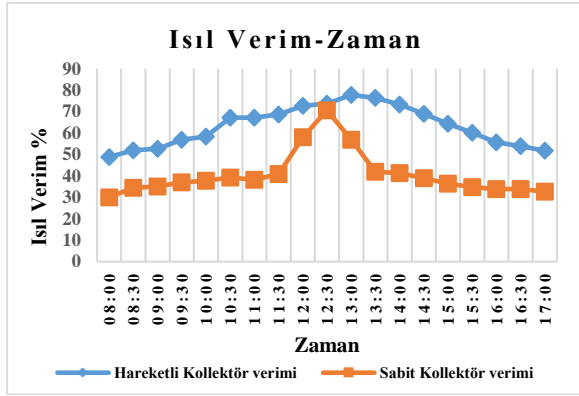
Tablo 2. YSA yapısı ve parametreleri

Katman Sayısı	3
Katmanlardaki Nöronlar	6-6-1
Ağırlık Değerleri	Random
Aktivasyon Fonksyonu	Logsig
Transfer Fonksyonu	Tangent
Öğrenme Fonksyonu	Sigmoid Transfer Feed-Forward Backpropagation

5. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, sabit HIGK ile hareketli HIGK'lerinin ısıl performansı deneysel olarak incelenerek ısıl verimi YSA ile tahmin edilmiştir.

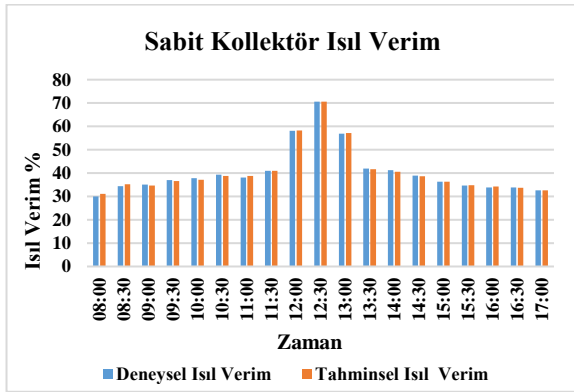
Hareketli ve sabit güneş kolektörlerinin ısıl verimleri Denklem 3'e göre hesaplanmış ve elde edilen değerler Şekil 4.'te gösterilmiştir.



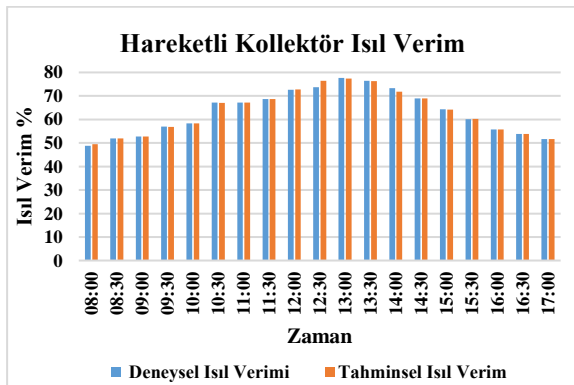
Şekil 4. Zamanla ısı verim değişimi

Hareketli kolektörün verimi ortalama % 63 civarındayken sabit kolektörün ortalama verimi %40 civarındadır. Saat 12:30 da alınan ölçümlere göre ısı verimleri neredeyse her iki kolektör için eşittir.

Şekil 5.'te ve Şekil 6.'da sırasıyla sabit HIGK'nin ve hareketli HIGK'nin deneysel ve tahminsel ısı verim değerleri verilmiştir.



Şekil 5. Sabit HIGK'nin ısı verim grafiği



Şekil 6. Hareketli HIGK'nin ısı verim grafiği

Hareketli ve sabit kolektörler için deneysel ve tahmin edilen ısı verim değerleri neredeyse birbirine çok yakındır.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada sabit ve hareketli HIGK'lerinin performansı deneysel olarak test edilmiştir. Deneylemlerden toplanan veriler ile kolektörlerin ısı verimi elde edilmiştir. Hareketli HIGK'nin ısı verimi sabit HIGK'ye göre yaklaşık 1.5 kat daha yüksek olduğu görülmüştür. PLC sistemi ile hareket özelliği kazandırılan HIGK'nin güneş takip özelliğinden dolayı ısı verimliliği daha fazla olduğu anlaşılmıştır.

Yapay Sinir Ağlarının tahmin yeteneğini geliştirmek için ağ eğitilmiştir. Oluşturulan YSA modeli ile tahmin edilen ısı verim ve gerçekte ölçülen ısı verim değerleri birbirine benzerlik göstermektedir. Hareketli ve sabit HIGK'lerinin ısı verimlerini YSA'nın %96 oranındaki doğru tahminlemesi ile başarılı bir modelleme olduğu sonucuna varılmıştır.

7. Teşekkür

Bu çalışma, 2017- M.F. 16.54 numaralı proje kapsamında Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

8. Kaynaklar

- Keçel S. (2007). Türkiye'nin değişik bölgelerinde evsel elektrik ihtiyacının güneş panelleri ile karşılanmasına yönelik model geliştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.*
- Altınbaş V., Akgül B.M., Abuşka M. (2015). Yutucu plaka üzerine konik yayların yerleştirildiği güneş enerjili hava kolektörünün ısı verim analizi ve yapay sinir ağları ile modellenmesi. *Termodinamik Sempozyumu*, **12**, 1807-1816
- Demirtaş, M. (2006). Bilgisayar kontrollü güneş takip sisteminin tasarımı ve uygulaması. *Politeknik Dergisi*, **9**, 247-253.
- İşcan, S., Özcan, Z. O., Gürleyen, Ş., Karayel, R. (2012). Güneş takip sistemi. *Proje Tabanlı Mekatronik Eğitim Çalıştayı, Çankırı-Ilgaz-Turkey.*
- Seme, S. and Štumberger, G. (2012). A novel prediction algorithm for solar angles using solar radiation and Differential Evolution for dual-axis

- sun tracking purposes. *Solar Energy*, **85**, 2757-2770.
- 6.** Kırbaş, İ., Aydoğan, B., Uyumaz, A. (2013). Hava ısıtmalı güneş kolektörlerinde güneş takip mekanizması kullanımı. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **4**, 74-84.
- 7.** Şevik S., Aktaş M., Özdemir B. (2014). Güneş destekli ısı pompalı bir kurutucuda mantarın kuruma davranışlarının yapay sinir ağı kullanılarak modellenmesi. *Journal Of Agricultural Sciences*, **20**, 187-202.
- 8.** Ertürk S., Ertürk K. (2006). Havuç kuruma kinetiğinin tahmininde regresyon analizi ve yapay sinir ağlarının kıyaslanması. *Türkiye*, **9**, 819-822.
- 9.** Özdemir, M. B., Aktaş, M., Şevik, S., & Khanlari, A. (2017). Modeling of a convective-infrared kiwifruit drying process. *International Journal of Hydrogen Energy*, **28**, 18005-18013.
- 10.** Teti, R., Jemielniak, K., O'Donnell, G., Dornfeld, D. (2010). Advanced monitoring of machining operations. *Cirp Annals-Manufacturing Technology*, **59**, 717-739.
- 11.** T. Findik, Ş. Taşdemir and I. Şahin. (2010). The use of artificial neural network for prediction of grain size of 17-4 pH stainless steel powders. *Sci. Research and Essays*, **5**, 11, 1274-1283.

Farklı Teknikler Kullanılarak Domatesin Kurutulması

Ecem ÖZEN, Filiz KAR*

Fırat üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Müh. Bölümü, Elazığ,
* fkar@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 01.06.2017; Kabul/Accepted: 16.10.2017)

Özet

Tarımsal ürünlerin güvenli olarak bozulmadan saklanabilmeleri için uygulanan yöntemlerden birisi olan kurutma ilk çağlardan beri yapılmaktadır. Kurutma işleminin amacı yaş ürünlerdeki serbest suyu uzaklaştırarak ürünlerde meydana gelebilecek biyokimyasal reaksiyonları ve mikroorganizmaların faaliyetlerini durdurmaktır. Bu araştırmada domatese üç farklı kurutma tekniği uygulanmıştır. Bu kurutma teknikleri; tepsili kurutucuda kurutma, infrared kurutucuda kurutma ve püskürtmeli kurutucuda kurutmadır. Deneysel sonuçlar kuruma hızının hem artan kuruma zamanıyla hem de örneklerin nem içeriklerinin düşmesiyle azaldığını göstermiştir. Kurutma işlemlerinde en iyi ince tabaka kurutma modelini seçmek için 5 matematiksel model deneysel verilere uygulanmıştır. Kurutma verilerine en iyi uyum sağlayan modelin Modifiye Page Eşitliği olduğu görülmüştür. Kurutulmuş ve taze domateslerin likopen, β -karoten ve askorbik asit değeri HPLC yöntemi ile belirlenmiştir. Domateslerin kurutulmadan önce askorbik asit değeri 493.49 mg/100 g kuru madde olarak bulunmuştur. 60 °C'de ve 1.5 m/s'lik hava hızında yapılan kurutma işleminde askorbik asit miktarında %58.71 oranında azalma meydana gelmiştir. Tepsili kurutucu kullanılarak yapılan deneylerde kurutma sıcaklığı arttıkça likopen ve β -Karoten kayıplarının arttığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Domates, *Lycopersitum esculentum*, kuru madde, likopen, β -Karoten, HPLC, İnce tabaka kuruma modelleri

Drying Tomatoes Using Different Techniques

Abstract

Drying, which is a practice used to keep agricultural products safely has been carried out since early ages. The purpose of drying process is getting rid of free water so that in biochemical reactions and microorganism activities can be stopped. In this study, three different drying techniques were applied to tomato. These methods are tray drying, Infrared drying and Spray drying. The experimental results indicated that drying rate decreases both increasing with drying time and decreasing moisture content. To select the best thin-layer drying models for the drying treatments, 5 mathematical models were fitted to the experimental data. The model that best fits the drying data has been found to be Modified Page Equation. Lycopene, β -carotene and ascorbic acid value of dried and fresh tomatoes were determined by HPLC method. Ascorbic acid content of fresh tomatoes was 493.49 mg/100 g dry matter. Drying at 60 °C and at an air velocity of 1.5 m/s decreased amount of ascorbic acid content of tomatoes by about 58.71. In experiments using a tray dryer, it was observed that lycopene and β -carotene losses increased as the drying temperature increased.

Keywords: Tomato, *Lycopersitum esculentum*, dry matter, lycopene, β -carotene, HPLC, Thin drying models

1.Giriş

Kurutma veya dehidrasyon gıda ürünlerinin korunmasında en etkili yöntemlerden biridir. Ürün çeşidine bağlı olarak kurutmadan sonraki nem içeriği yaş temele göre %10-15 arasında olmaktadır. Kurutmanın amacı yaş ürünlerdeki serbest suyu uzaklaştırmak olup, üründe meydana

gelen biyokimyasal reaksiyonları ve mikroorganizmaların gelişimini sınırlandırmaktır. Aynı zamanda gıda maddelerinin bozulmadan uzun süre dayanmalarını sağlar. Fakat kurutma, ürünün niteliğini olumsuz yönde etkileyebilir. Olmaması gereken belirli reaksiyonları hızlandırması, ürünün kalitesinde önemli açıdan

rol oynar. Sıcaklık, hava hızı, havanın bağıl nemi gibi kurutma şartları, kurutulmuş ürünün yoğunluk, gözeneklilik gibi yapısal özelliklerini, su tutma kapasitesi, rehidrasyon hızı gibi özelliklerini etkiler[1]. Ülkemizde kurutulmuş domates ihracatı 1990'ların başında başlamıştır. 2000'li yıllarda ise büyük talep görmüş, 2000 yılında 4275 tona ulaşmıştır. Kurutulmuş ürünlerin en popülerlerinden birisi ise domatestir. Kurutulmuş sebze ihtiyacının yaklaşık %68'ini oluşturduğu bilinmektedir. Türkiye 27 ülkeye kuru domates ihraç etmektedir.

Kurutulmuş sebzeler genel olarak güneşte kurutma yöntemiyle kurutulur. Fakat zamanla gelişen hayat şartları ve modern yaşama uyum sağlaması açısından modern kurutma yöntemleri büyük önem taşımaktadır. Kurutulmuş sebzeler genel olarak, hazır çorbalar soslar, hazır yemekler, bebek mamaları, çeşitli et, balık ve süt ürünleri gibi çok farklı ürünlerde kullanım alanı bulunmaktadır.

Gıdaların kurutulması ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar kurutma tekniklerinin araştırılması yanında kurutmanın besin değerleri üzerindeki etkileri hakkındadır[10-18].

Koç ve ark. (2004), meyve ve sebze kurutmak üzere geliştirilen güneş enerjili bir kurutucuyu test etmişlerdir[19].

Ayan (2010)'ın tarafından yapılan çalışmada güneşte ve hava ile güçlendirilmiş fırınlarda farklı sıcaklıklarda (40°C, 50°C, 60°C) yapay yolla kurutulan domateslerin özelliklerini incelemiştir. Fırında ve güneşte kurutma işlemi sonucunda domates örneklerindeki likopen içerikleri taze domates örneğine göre daha yüksek olduğu saptanmıştır[12].

Şahin (2010), dört farklı kurutma yönteminin uygulandığı domateslerde karşılaştırmalar yapmıştır. Bu kurutma yöntemleri; güneşte kurutma, sıcak havalı kabin tipi kurutucuda kurutma, vakumlu kurutma ve dondurarak kurutmadır. Kurutma uygulamaları, hem ön işlemsiz, hem de ön işlemlilerle gerçekleştirilmiştir. Dondurarak kurutma birçok kriter açısından en iyi sonuçları vermiştir. En yüksek askorbik asit, potasyum, likopen gibi besin değerleri bu yöntemle kurutulan domatesten saptanmıştır. Sıcak havalı kurutmada sürenin uzaması ve kurutma sıcaklıklarının yükselmesi likopen miktarlarında azalmalara neden olmuştur[21].

Kocacı ve ark. (2012) çalışmalarında domates dilimlerini kurutmada enerji etkinliğinin geliştirilmesi ve kaliteli kurutulmuş domates elde edilmesi için infrared kurutma tekniğinin kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Domates dilimlerinin kuruma süresi, özgül enerji tüketimi gibi işletme özellikleri, büzülme oranı, rehidrasyon oranı, renk özellikleri ve tekstür gibi fiziksel özellikler ve C-vitami ve likopen gibi kimyasal (besin) özellikleri incelenmiş ve bu özellikler üzerine kurutma değişkenlerinin etkileri araştırılmıştır[22].

Aktaş ve Kara (2013), Türkiye'de üretimi gün geçtikçe artan kivi'nin ekonomik ve kalite değerlerinin artırılması amacıyla, havalı güneş kolektörlü ve ısı pompalı bir kurutucu kullanımı olanakları üzerine bir çalışma yapmış ve sonuçları paylaşmışlardır[23].

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışmada, Türkiye'de üretimi yapılan kurutma ve salça yapımına uygun domates çeşitlerinden biri olan Rio Grande çeşidi domates (*Lycopersicon esculentum Mill. cv. Rio Grande*) materyal olarak seçilmiştir. Kurutma denemelerinde kullanılacak olan Rio Grande çeşidi domatesler ağustos ayının ortasından itibaren Elazığ ili Akmezra köyünde direkt üreticiden satın alınarak temin edilmiş ve kurutma denemelerinde kullanılmaya kadar polietilen ambalaj içerisinde buzdolabı koşullarında muhafaza edilmiştir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Kurutma deneyleri

Farklı kurutma cihazlarında domates kurutma işlemleri yapılmıştır. Tepsili kurutucuda domates kurutma işlemi dört farklı sıcaklıkta (30°C, 40°C, 50°C ve 60°C) ve 2 farklı hava hızında (1/5 m/s, 3 m/s) yapılmıştır. Böylece sıcaklığın yanı sıra hava hızının da kurutmaya etkisi incelenmiştir. Kurutma işlemi, domateslerde su oranı yaklaşık %10'a ulaşınca tamamlanmıştır. Gıdaların yapısı belirli bir sıcaklığın üzerine çıktığında bozulmaktadır. 60°C'nin üstüne çıktığında bozunmalar ve ciddi

besin değeri kayıpları meydana geldiğinden tercih edilmemektedir. Düşük sıcaklıklarda ve düşük hava hızlarında kurutma da ise süre uzayacağından bozunmalar oluşabilir. Ürün kalitesini koruyabilmesi için kurutma işlemi mümkün olduğunca hızlı gerçekleştirilmelidir. Tepsili kurutucularda hem sıcaklık hem de hava hızı ayarları yapılabildiğinden diğer yapay kurutma yöntemlerine göre daha çok tercih edilmektedir. Kurutma süresi her ne kadar sıcaklık ve hava hızıyla alakalı olsa da aynı zamanda kurutulacak gıdanın yüzey alanıyla da ilişkilidir. Mümkün olduğunda sıcak havaya temas eden yüzeyin artırılması gerekmektedir. Bu yüzden 1 cm kalınlığında dilimlenmiş domateslerin kurutma işlemi için uygun olacağı düşünülmektedir. Kızılötesi ısıtma 0,5-100 µm dalga boyunda uygulanan birçok gıda maddesinin ısıtılması, kurutulması ve yüzey pastörizasyonu amacıyla kullanılmaktadır. İnfrared kurutucu cihazında da 1 cm kalınlığında olan domates numunesi 2 farklı sıcaklıkta (105°C, 160°C) kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

Püskürtmeli kurutucuda ise kurutma işlemi diğer iki cihaza göre daha farklı gerçekleşmektedir. Püskürtmeli kurutmada kurutulacak ürün çok küçük damlacıklar halinde sıcak hava akımı içine gönderilerek, çözeltinin buharlaşması sağlanır. Bu tip bir kurutma cihazının en önemli birimi atomizerdir. Atomizer, kurutulacak olan sıvıyı, çeşitli faktörlere bağlı olarak 50-500 µm çapında küçük zerreciklere parçalayan cihazdır. Atomizerde ne kadar küçük damlacıklar elde edilirse, o kadar hızlı kurutma gerçekleşir. Kurutulacak olan çözelti, atomizerde zerreciklere ayrılarak sıcak gaz akımı içine püskürtülür. Madde kayıpları diğer yapay kurutuculara göre daha azdır. Diğer yapay kurutuculara göre süre ve maliyet daha avantajlı olmasına rağmen yüksek sıcaklıklarda çalışma zorunluluğu olduğundan ve gıdanın yapısını bozabileceğinden dolayı dezavantajlı olabilir. Püskürtmeli kurutucu da tek bir hava hızında ve 100 °C de kurutma işlemi yapılmıştır.

2.2.3 Kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi için yapılan hesaplamalar ve kuruma model eşitlikleri

Domates numunelerinin kabin tipi kurutucuda kurutulması sırasında, nem içeriği değeri aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$M_t = \frac{(m - KM)}{KM} \quad (2.1)$$

Kuruma hızı, nem içeriğine karşılık kuruma zamanı eğrilerinin türevlerinin alınması ile bulunur.

$$\text{Kuruma Hızı} = \frac{(M_{t+dt} - M_t)}{dt} \quad (\text{g su/g kuru madde. dak.}) \quad (2.2)$$

Nem oranı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$MR = \frac{(M_t - M_e)}{(M_o - M_e)} \quad (2.3)$$

Gıdaların sıcak hava ile kurutulması işleminde; M_e değeri M_t ve M_o ile kıyaslandığında çok küçüktür. Bu nedenle hesaplamalarda M_e değerinin sıfır alınabileceği belirtilmektedir [16]. MR değerleri hesaplanırken doğrudan M_t/M_o eşitliği kullanılmıştır.

Daha önce yapılan çalışmalarda kurutma proseslerini tasarlamak, büyük ölçekli kurutmanın sağlanması ve kurutmanın geliştirilmesinde kullanılabilecek eşitlikler mevcuttur. Bu eşitliklerden deneysel kurutma verilerinden yararlanarak kurutmayı en iyi temsil eden model belirlenebilmektedir [24-29]. Gıda kurutma proseslerinde en çok kullanılan 5 model regresyon katsayılarına bakılarak kıyaslanmış ve modellerdeki katsayılar doğrusal olmayan regresyon analizi yapılarak bulunmuştur.

2.2.4. Difüzyon katsayısının belirlenmesi

Gıdaların kurutulması sırasında gerçekleşen difüzyon karmaşık bir prosestir. Azalan hız periyodunda biyolojik ürünlerin kurutma parametreleri Fick'in difüzyon eşitliği kullanılarak tanımlanabilir [17,30]. Kurutmada önemli parametrelerden biri olan difüzyon katsayısı, domates için farklı hız ve sıcaklıklarda hesaplanmıştır. Difüzyon katsayısının sabit, ilk nem içeriğinin homojen olduğu dilim şeklinde kesilen domates için bu denklem Crank tarafından aşağıdaki gibi elde edilmiştir [31].

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} \frac{8}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (2.4)$$

Burada D_{eff} difüzyon katsayısı (m^2/s), L kurutulan ürünün yarı kalınlığı, t kurutma süresidir. Bu denklem uzun kuruma süreleri için serinin ilk terimi alınarak basitleştirilebilir [35].

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \frac{8}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{-\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right) \quad (2.5)$$

Denklem (2.5)'in regresyon analizi ile çözümü sonunda difüzyon katsayısı bulunabilir.

Difüzyon katsayısının değişimi Arrhenius tipi üssel bir fonksiyonla açıklanabilmektedir. Eşitlik (2.6) kullanılarak aktivasyon enerjileri hesaplanabilir. Bir prosesin aktivasyon enerjisinin yüksek olması, o prosesin sıcaklık değişimine daha duyarlı olduğunu göstermektedir [3].

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (2.6)$$

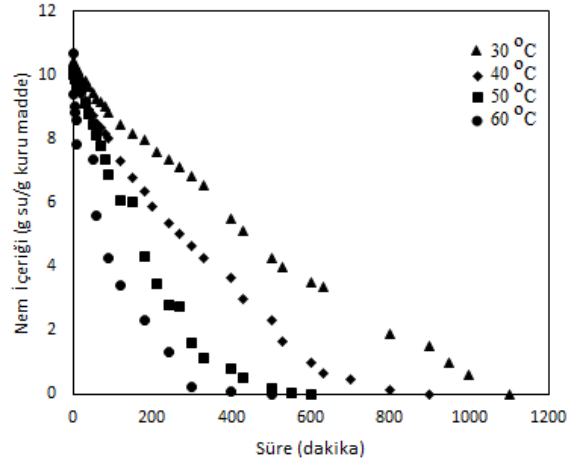
3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Kuru madde miktarı

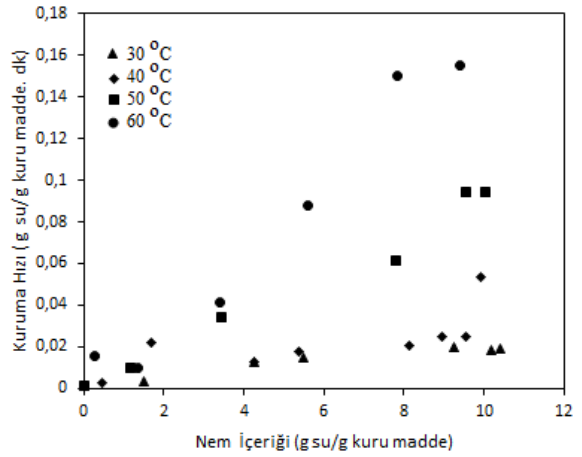
Kuru madde tayini TS 1129(ISO 1026/Ekim 1198)'e göre yapılmıştır. Buna göre; kuru madde miktarı 9.76 g/ 100 g domates olarak bulunmuştur.

3.2. Tepsili kurutucu kullanılarak yapılan kurutma deney sonuçları

Bu çalışmada kullanılan domates numunelerinin başlangıç ortalama nem içeriği $M_o = 10.50$ g su/g kuru madde olarak bulunmuştur. Farklı kurutma sıcaklığı (30, 40, 50 ve 60°C) ve hava hızlarında (1,5 ve 3 m/s) yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler yardımıyla nem içeriği ve kuruma hızları hesaplanarak grafiğe geçirilmiştir. Şekil 1'den de görüldüğü gibi kurutma sıcaklığının artması ile kuruma sürelerinde önemli ölçüde azalmalar saptanmıştır. 30°C sıcaklık derecesi için domates numunesinin nem içeriğinin 10.45'den 0,1 g su/ g kuru madde değerine düşmesi 1100 dakika sürerken, 60°C sıcaklık ortamında işlem 500 dakikada tamamlanmıştır. Aynı şekilde hava hızındaki artış da kuruma süresi üzerinde oldukça etkilidir. Aynı sıcaklık değerinde farklı hava hızlarında yapılan kurutma sonunda kurutma zamanının 1100 dakikadan 700 dakikaya düştüğü görülmüştür.

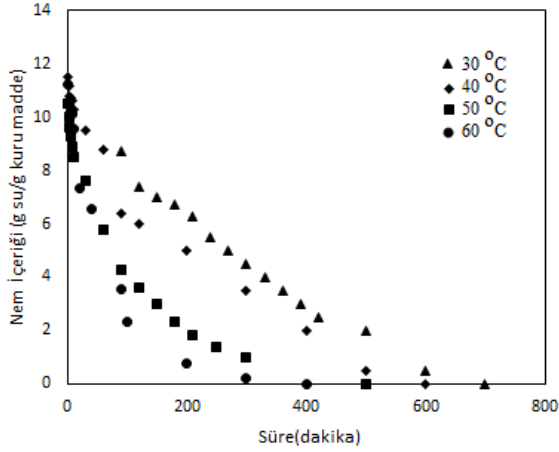


Şekil 1. Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunesine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Kurutma havası hızı: 1.5m/s)

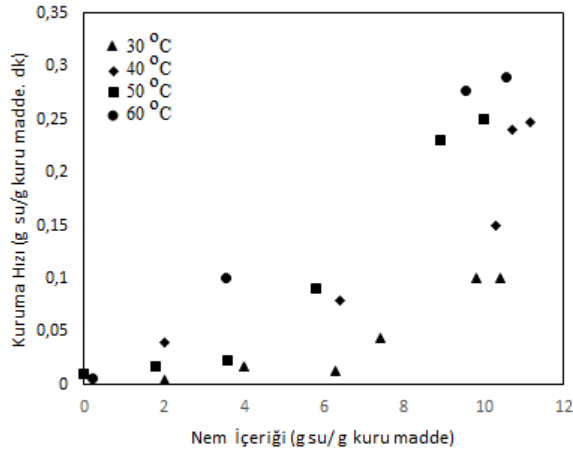


Şekil 2. Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunesine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi (Kurutma havası hızı: 1.5m/s)

Şekil 2 incelendiğinde, domates numunelerinin kurumasının sabit hızda kuruma periyodu ve azalan hızda kuruma periyodu olmak üzere 2 farklı kuruma periyodunu takip ettiği görülmüştür. Başlangıçta nem içeriği yüksek olduğundan kurutma sıcaklıklarına göre kuruma hızları birbirlerinden oldukça farklı çıkmıştır. Ancak nem içeriğinin azalmasına bağlı olarak kurutma hızları arasındaki farklar da azalmış ve düşük nem içeriği değerlerinde farklar sifıra yaklaşmıştır.



Şekil 3. Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunesine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Kurutma havası hızı: 3 m/s)



Şekil 4. Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunesine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi (Kurutma havası hızı: 3 m/s)

Gıda maddelerinde bulunan su içeriğinin fazla olduğu durumlarda kurutma işleminde suyun uzaklaştırılabilmesi oldukça kolaydır. Bu dönemde ortam sıcaklığının yüksek olması kuruma hızının da aynı oranda yüksek olmasına neden olurken, su içeriğinin azalması ile birlikte suyun gıda maddesinden uzaklaştırılması da zorlaşmakla birlikte tek başına ortam sıcaklığının yüksekliği, kuruma hızının artırılmasına ciddi bir katkı sağlamamaktadır. Su içeriğinin azaldığı kurumanın son evrelerinde, kurutma işleminde kullanılan havanın, sıcaklığın artırılması kadar bağıl neminin de düşürülmesi gerekmektedir.

Benzer sonuçlar 3 m/s hava hızında kurutulan domates örnekleri içinde bulunmuştur.

Meyve ve sebzelerde başlangıç nem değerlerinin yüksek olmasından dolayı kuruma sırasında sabit hızda kuruma periyodunun yer alması beklenmektedir. Fakat yapılan birçok araştırmada, meyve ve sebzelerin kurumasında yalnızca azalan hızda kuruma periyodunun varlığı saptanmıştır. Pabis (1999), bunun nedeninin, kuruma sırasında numunelerin büzülmesi nedeniyle kuruyan numunenin boyutlarının değişmesi sonucu numunenin kuruma yüzey alanının küçülmesine bağlı olarak, numuneden birim zamanda daha az nemin buharlaşması olduğunu ifade etmektedir[32].

3.3. Difüzyon katsayısının belirlenmesi

Difüzyon hızının belirlenmesi için Eşitlik 2.5'in çözümü yapılır. Tablo 1'de difüzyon katsayısının sıcaklık ve hava hızı ile değişimi verilmiştir. Tablo 1'den difüzyon katsayısının 3 m/s hava hızında yapılan deneylerde daha yüksek olduğu görülmektedir. Önceki çalışmalar incelendiğinde difüzyon katsayılarının 10^{-7} - 10^{-11} m²/s ve aktivasyon enerjisinin 10-80 kJ/mol aralığında değiştiği bildirilmiştir.

Tablo 1. Difüzyon katsayısının sıcaklık ve hava hızı ile değişimi

Hava Hızı	Sıcaklık (°C)	Difüzyon Katsayıları (m ² /s) x10 ¹⁰
1.5 m/s	30	3.798
	40	5.900
	50	9.198
	60	13.050
3 m/s	30	4.923
	40	6.498
	50	11.730
	60	17.620

Difüzyon katsayısının değişimi Arrhenius tipi üssel bir fonksiyonla açıklanabilmektedir. Eşitlik (2.6) kullanılarak aktivasyon enerjileri hesaplanabilir. Bir prosesin aktivasyon enerjisinin yüksek olması, o prosesin sıcaklık değişimine daha duyarlı olduğunu göstermektedir. $1/T$ ye karşı $\ln D_{eff}$ değerlerinin grafiğe geçirilmesi sonucu eğimden E_A hesaplanmıştır. Buna göre 1.5 m/s hava hızında yapılan kurutma işlemi için E_A değeri 34.81 kJ/mol, 3 m/s hava hızında yapılan

kurutma işlemi için E_A değerinin 36.93 kJ/mol olduğu bulunmuştur. Benzer çalışmalarda da aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Vega-Galvez ve arkadaşlarının (2012) yapmış oldukları bir çalışmada çilek için E_A değerinin 38.78 kJ/mol olduğu ifade edilmiştir[18].

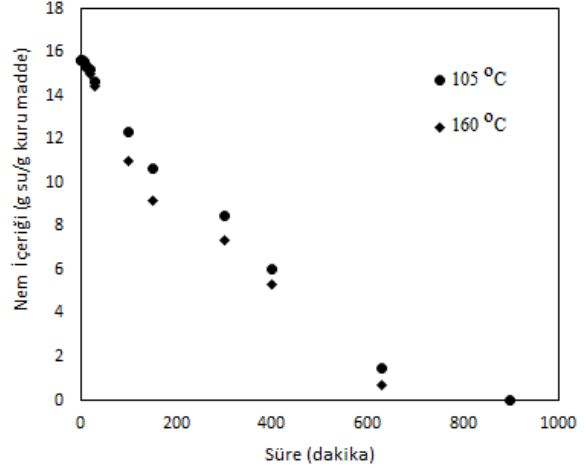
3.4. Kuruma kinetiğine ait model çalışmaları

Tepsili kurutucu da kurutulan domates numunelerinin üç farklı sıcaklıkta kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanıyla değişimini gösteren deneysel veriler beş ayrı kurutma modeli ile modellenmiştir. Tablo 2 incelendiğinde, R^2 değerlerine bakılarak 30-60 °C sıcaklıklarda ve 1.5 ve 3 m/s hava hızlarında Modifiye Page Eşitliğinin domatesin kuruma davranışını belirlemede oldukça iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Ayrıca bütün kuruma modellerinde önemli bir parametre olan kurutma sabitlerinin (k) hava hızı ve sıcaklıkla arttığı görülmüştür. Bu durum sıcaklığın artırılması ile kurumanın daha kısa sürede gerçekleştiğinin bir göstergesidir. Diğer yandan modifiye Page Eşitliğinin diğer parametresi olan n'in sıcaklıkla değişiminin düzenli olmadığı görülmektedir. Benzer sonuçlara literatürde farklı gıda ürünleri içinde rastlanmıştır[11,20,33,34]. Domates ile ilgili yapılan çalışmalarda Page Modelin en uygun model olduğunu rapor eden çalışmalar olduğu gibi [5,35]. Modifiye Page Eşitliğinin kurutmayı en iyi temsil eden eşitlik olduğunu ifade eden çalışmalarda vardır[1].

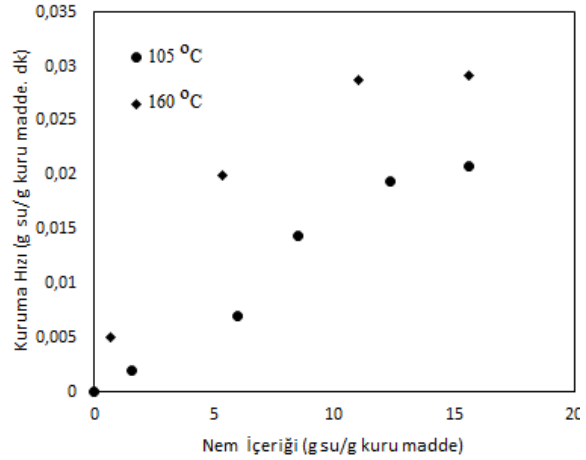
3.5. İnfrared kurutucu kullanılarak yapılan kurutma deney sonuçları

İnfrared kurutucu kullanılarak yapılan kurutma deneyi sonucu elde edilen veriler değerlendirilerek zamanla nem içeriğindeki değişim (Şekil 5) ve nem içeriği- kurutma hızı ilişkisi (Şekil 6) verilmiştir. İnfrared kurutucu kullanılarak yapılan kurutma deneyinde aynı kuru madde yüzdesine ulaşma süresinin tepsili kurutucuda düşük sıcaklıklarda yapılan

kurutmaya oranla daha kısa olduğu saptanmıştır. Bu sonucun kurutma sıcaklığındaki yükseklikten ve tek dilim ile çalışıldığından numune miktarının az olması sebebiyle bünyedeki nemin daha kolay uzaklaşmasından ileri geldiği düşünülmektedir



Şekil 5. İnfrared kurutucuda kurutulan domates numunesine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi



Şekil 6. İnfrared kurutucuda kurutulan domates numunesine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi

Tablo 2. Farklı sıcaklıkta kurutulan domatesin kuruma hızlarının belirlenmesinde kullanılan matematiksel modeller ve model parametreleri

Model İsmi	Deney Şartları	k	a	n	c	R ²
Lewis Model Eşitliği $M_R = \exp(-kt)$	30 °C ve 1.5 m/s	0.0021	-	-	-	0.9638
	30 °C ve 3.0 m/s	0.0032	-	-	-	0.9791
	40 °C ve 1.5 m/s	0.0032	-	-	-	0.9578
	40 °C ve 3.0 m/s	0.0052	-	-	-	0.9407
	50 °C ve 1.5 m/s	0.0056	-	-	-	0.9878
	50 °C ve 3.0 m/s	0.0079	-	-	-	0.9965
	60 °C ve 1.5 m/s	0.0078	-	-	-	0.9924
	60 °C ve 3.0 m/s	0.0128	-	-	-	0.8912
Page Model Eşitliği $M_R = \exp(-kt^n)$	30 °C ve 1.5 m/s	0.00016	-	1.300	-	0.9857
	30 °C ve 3.0 m/s	0.00029	-	1.300	-	0.9942
	40 °C ve 1.5 m/s	0.00007	-	1.500	-	0.9548
	40 °C ve 3.0 m/s	0.00021	-	1.380	-	0.9640
	50 °C ve 1.5 m/s	0.00015	-	1.500	-	0.9898
	50 °C ve 3.0 m/s	0.00022	-	1.500	-	0.9679
	60 °C ve 1.5 m/s	0.00059	-	1.370	-	0.9623
	60 °C ve 3.0 m/s	0.00011	-	1.800	-	0.9817
Modifiye Page Eşitliği $M_R = \exp(-(kt)^n)$	30 °C ve 1.5 m/s	0.22047	-	0.2813	-	0.9967
	30 °C ve 3.0 m/s	0.21134	-	0.3102	-	0.9949
	40 °C ve 1.5 m/s	0.23453	-	0.3003	-	0.9979
	40 °C ve 3.0 m/s	0.21895	-	0.3208	-	0.9604
	50 °C ve 1.5 m/s	0.23813	-	0.3340	-	0.9905
	50 °C ve 3.0 m/s	0.20303	-	0.3669	-	0.9742
	60 °C ve 1.5 m/s	0.23481	-	0.3613	-	0.9645
	60 °C ve 3.0 m/s	0.23214	-	0.4095	-	0.9545
Henderson ve Pabis Eşitliği $M_R = (a)\exp(-kt)$	30 °C ve 1.5 m/s	0.002	1.0611	-	-	0.9638
	30 °C ve 3.0 m/s	0.003	1.0180	-	-	0.9791
	40 °C ve 1.5 m/s	0.003	1.0799	-	-	0.9399
	40 °C ve 3.0 m/s	0.005	1.0033	-	-	0.9380
	50 °C ve 1.5 m/s	0.006	1.1216	-	-	0.9681
	50 °C ve 3.0 m/s	0.008	0.9090	-	-	0.9965
	60 °C ve 1.5 m/s	0.008	0.8659	-	-	0.9784
	60 °C ve 3.0 m/s	0.013	1.0209	-	-	0.8912
Logaritmik Eşitlik $M_R = (a)\exp(-kt)+c$	30 °C ve 1.5 m/s	0.0025	1.220	-	-0.0155	0.9325
	30 °C ve 3.0 m/s	0.0034	1.100	-	-0.0216	0.9562
	40 °C ve 1.5 m/s	0.0036	1.250	-	-0.0173	0.8952
	40 °C ve 3.0 m/s	0.0054	1.114	-	-0.0096	0.9654
	50 °C ve 1.5 m/s	0.0063	1.150	-	-0.0118	0.9516
	50 °C ve 3.0 m/s	0.0084	0.990	-	-0.0210	0.9755
	60 °C ve 1.5 m/s	0.0082	0.850	-	-0.0105	0.9642
	60 °C ve 3.0 m/s	0.0135	1.0702	-	-0.0178	0.9536

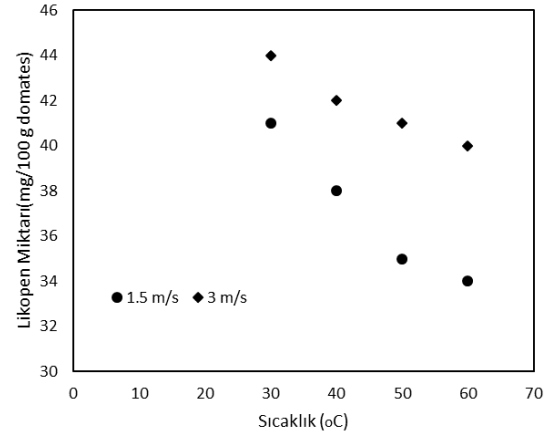
3.6. Püskürtmeli kurutucu kullanılarak yapılan kurutma deney sonuçları

Domates tozu üretiminde püskürtmeli kurutucunun kullanılabilirliğinin araştırıldığı deneyler tek bir sıcaklık ta gerçekleştirilmiştir. Domatesler blender ile ezildikten sonra süzölmüş ve süzöntü püskürtmeli kurutucuya beslenmiştir. Deneyler süresince toz toplama ünitesine yapışma ve hava hızının ayarlanmasındaki zorluklarla karşılaşmıştır. Elde edilen domates tozu gerekli analizlerin yapılması için uygun şartlarda saklanmıştır.

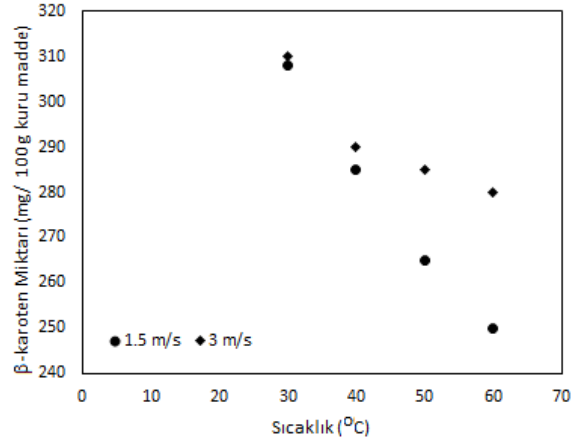
3.7. Likopen ve β -karoten miktarındaki değişimler

HPLC cihazı ile likopen tayini için gerekli olan likopen standart eğrisi oluşturulmuş ve bu eğri kullanılarak likopen içerikleri hesaplanmıştır. Deneylerde kullanılan domatesin likopen içeriği 45,25 mg/100 g domates olarak bulunmuştur. Meyve ve sebzelerdeki karotenoid bileşiklerin miktarı; çeşit, tür, olgunluk, yetiştirme koşulları gibi çeşitli faktörlere göre değişmektedir[36]. Bu çalışmada kullanılan domateslerin içerdiği likopen miktarının literatürde verilen değerlerle uyum içinde olduğu görölmektedir. Yapılan bir çalışmada, taze domatesteki likopen miktarı 913.86 mg/ 100 g kuru madde olarak verilmiştir[1], bir diğer çalışmada olgun, taze domateslerin yaş ağırlık üzerinden 53,821 mg/100g domates [5] düzeyinde likopen içerdiği bildirilmektedir. Kurutma işlemleri sonucu elde edilen domateslerin likopen içeriklerinin sıcaklıkla değişimleri Şekil 7’de verilmiştir.

β -karoten tayini yapılan domateslerde kuruma sıcaklığı arttıkça β -karoten kaybının daha fazla olduğu görölmüştür. Yapılan bir çalışmada [37] domatesler farklı sıcaklıklarda (40°C, 60°C ve 80°C) ön işlem uygulanarak ve uygulanmadan kurutulmuştur. İşlem sonunda 40°C’de ön işlem uygulanarak yapılan kurutma sonunda β -karoten kaybına rastlanmazken, ön işlem uygulanmadan yapılan kurutmada %24,73 oranında β -karoten kaybı belirlenmiştir. Bir diğer çalışmada [1] 60°C deki kurutma işleminde 305,24 mg /100 g kuru madde değerinden 58,02 mg /100 g kuru madde değerine düşmüştür.



Şekil 7. Sıcaklıkla likopen miktarındaki değişim (Tepsili Kurutucu)



Şekil 8. Sıcaklıkla β -karoten miktarındaki değişim (Tepsili Kurutucu).

Tepsili kurutucu kullanılarak yapılan deneylerde kurutma sıcaklığı arttıkça likopen kayıplarının arttığı gözlenmiştir. 1.5 m/s hava hızında ve 60°C sıcaklıkta likopen kaybının %24 olduğu bu oranın 3 m/s hava hızı için ise %11 olduğu bulunmuştur. Püskürtmeli kurutucu ile yapılan işlemler sonucu elde edilen domates tozunun likopen içeriği ise 30,21 mg/100 g domates olarak bulunmuştur. Aynı numunenin β -karoten içeriği ise 276,5 mg/100 g kuru madde dir. İnfrared kurutucu kullanılarak yapılan kurutma işlemi sonucu elde edilen kuru domatesin likopen ve β -karoten içeriği sırasıyla 105°C için 27,36 mg/100 g domates ve 220 mg/100 g kuru madde, 160°C için ise 22,82 mg/100 g domates ve 102,37 mg/100 g kuru madde olarak bulunmuştur. Özellikle püskürtmeli kurutucuda likopen ve β -karoten kaybının oldukça yüksek olduğu görölmektedir. Bunun sebebinin püskürtmeli kurutucudaki sıcaklığın yüksek olması sonucu

yapıda meydana gelen bozunmalardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum tepsili kurutucuda yüksek sıcaklıklarda yapılan deneyler sonucu elde edilen sonuçlardan da görülmektedir.

3.8. Askorbik asit miktarındaki değişimler

HPLC cihazı ile askorbik asit tayini için gerekli olan askorbik asit standart eğrisi likopen ve β -karoten analizlerinde olduğu gibi öncelikle belirlenmiş ve veriler bu eğriden yararlanılarak değerlendirilmiştir. Farklı kurutucular için bulunan askorbik asit miktarları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Farklı Kurutucular için Askorbik Asit Miktarları

Kurutucu Tipi		Sıcaklık (°C)	Askorbik Asit (mg/100 g kuru madde)
Tepsili Kurutucu	1.5 m/s hava hızı	30	438.27
		40	315.18
		50	256.89
		60	203.74
	3.0 m/s hava hızı	30	448.12
		40	440.14
		50	323.57
		60	285.16
Püskürtmeli Kurutucu		100	32.17
Infrared Kurutucu		105	-
		160	-

Kurutma işlemine başlamadan önce yapılan analizde domates için askorbik asit miktarı 493,49 mg/100 g kuru madde olarak bulunmuştur. Tablodan da görüleceği gibi askorbik asit miktarları sıcaklıktaki artışla birlikte azalmıştır. Bu da askorbik asidin yüksek sıcaklıklardan daha fazla etkilendiğinin ve önemli kayıpların meydana geldiğinin bir göstergesidir. İnfrared kurutucu ile yapılan kurutma işlemi sonunda elde edilen kuru domates ile yapılan deneylerde askorbik asit tespit edilememiştir. Bu durumun kurutma sıcaklığının yüksek olması ve kurutma odasında kalış süresinin uzun olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan araştırma sonucu ulaşılan sonuçlar;

1. Farklı kurutma sıcaklıklarında kurutulan domates numunelerinin kurutma sıcaklığı

arttıkça kuruma süreleri azalmıştır. Yapılan deneyler sonucu elde edilen kuruma süreleri literatürde verilen kuruma süreleri ile uyum içindedir. Ayrıca domates numunelerinin kurumasının sabit hızda kuruma periyodu ve azalan hızda kuruma periyodu olmak üzere 2 farklı kuruma periyodunu takip ettiği görülmüştür.

2. Tepsili kurutucu, İnfrared kurutucu ve püskürtmeli kurutucu kıyaslandığı zaman en hızlı kurumanın püskürtmeli kurutucu da gerçekleştiği gözlenmiştir.
3. Besin değerleri ve süre bakımından bir karşılaştırılma yapıldığında ise dezavantajlı sayılabilecek kurutucu ise infrared kurutucudur. İnfrared kurutucu da kurutulan domates numunelerinin kuruma süreleri uzadığından ve sıcaklığın yüksek olması nedeniyle esmerleşme reaksiyonuna maruz kalıp renkleri koyulaşmıştır. Ayrıca, görsellik tüketici açısından büyük öneme sahip ise de gıda kurutma işleminde besin kayıpları da aynı derecede önemlidir. İnfrared kurutucu cihazında kurutulan domates ürünlerinin askorbik asit değeri sıfır çıkmıştır.
4. Deneysel değerlere en iyi yaklaşımı veren teorik modeli tanımlamak için 5 farklı kurutma modeli, (Modifiye Page model, Page model, Henderson ve Pabis model, Lewis model ve Logaritmik model) kullanılmıştır. 30-60°C sıcaklıklarda ve 1.5 ve 3 m/s hava hızlarında Modifiye Page Eşitliğinin domatesin kuruma davranışını belirlemede oldukça iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Ayrıca bütün kuruma modellerinde önemli bir parametre olan kurutma sabitlerinin (k) hava hızı ve sıcaklıkla arttığı görülmüştür. Bu durum sıcaklığın artırılması ile kurumanın daha kısa sürede gerçekleştiğinin bir göstergesidir.
5. Kurutma işlemine başlamadan önce deneylerde kullanılan domatesin likopen içeriği 45,25 mg/100 g domates olarak bulunmuştur. Tepsili kurutucu kullanılarak yapılan deneylerde kurutma sıcaklığı arttıkça likopen kayıplarının arttığı gözlenmiştir. 1.5 m/s hava hızında ve 60°C sıcaklıkta likopen kaybının %24 olduğu bu oranın 3 m/s hava hızı için ise %11 olduğu bulunmuştur. Püskürtmeli kurutucu ile yapılan işlemler sonucu elde edilen domates tozunun likopen içeriği ise 30,21 mg/100 g domates olarak bulunmuştur.

Aynı numunenin β -karoten içeriği ise 276,5 mg/100 g kuru madde dir. İnfrared kurutucu kullanılarak yapılan kurutma işlemi sonucu elde edilen kuru domatesin likopen ve β -karoten içeriği sırasıyla 105 °C için 27,36 mg/100 g domates ve 220 mg/100 g kuru madde, 160 °C için ise 22,82 mg/100 g domates ve 102,37 mg/100 g kuru madde olarak bulunmuştur.

Semboller

D_{eff} : Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)
 D_0 : Sonsuz sıcaklıktaki difüzyon katsayısına eşdeğer sabit (m^2/s)
 E_A : Aktivasyon enerjisi (Kj/mol)
 R : Evrensel gaz sabiti (Kj/mol.K)
 T : Kurutma hava sıcaklığıdır (K)
 m : Numunenin ağırlığı (g)
 KM : Numunenin içerdiği kuru madde miktarı (g)
 M_t : t + dt anındaki nem içeriği (g su / g kuru madde)
 t : Kuruma zamanı (dakika)
 MR : Nem oranı (boyutsuz)
 M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su / g kuru madde)
 M_e : Denge anındaki nem içeriği (g su / g kuru madde)
 M_0 : Başlangıçtaki nem içeriği (g su / g kuru madde)
 L : kurutulan ürünün yarı kalınlığı

Teşekkür

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans Tezi olarak yapılan bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından (Proje No: MF-16.33) desteklenmiştir.

6. Kaynaklar

1. Demiray, E. (2009). Kurutma işleminde domatesin likopen, β -Karoten, askorbik asit ve renk değişim kinetiğinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
 2. Abushita, A.A., Daood, H.G. and Biacs, P.A. (2000). Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **4**, 2075-2081.
 3. Aghbashlo M, Kianmehr MH, Beygi SRH. (2010). Drying and Rehydration Characteristic of Sour Cherry (*Prunus Cerasus L.*). *J Food Process Preservation*, **34**: 351-365.

4. Anguelova, T. and Warthesen, J. (2000). Lycopene Stability in Tomato Powders. *Journal of Food Science*, **65**(1): 67-70.
 5. Chawla, C., Kaur, D., Oberoi D.P.S and Sogi, D.S. (2008). Drying Characteristics, Sorption Isotherms, and Lycopene Retention of Tomato Pulp. *Drying Technology*, **26**: 1257-1264.
 6. Hernandez, Y. Lobo, M.G. and Gonzalez, M. (2006). Determination of Vitamin C in Tropical Fruits: A Comparative Evaluation of Methods", *Food Chemistry*, **96**: 654- 664.
 7. İzgi C. (2012). Farklı Kurutma Metotlarının Domatesteki Likopen Miktarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
 8. Rao, A.V., Waseem Z. and Agarwal S. (1998). Lycopene content of tomatoes and tomato products and their contribution to dietary lycopene, *Food Research International*, **31**:737-741.
 9. Rao A. V, Agarwal S. (1999). Role of lycopene as antioxidant caretenoid in the prevention of chronic diseases: A review. *Nutrition Research*, **19**: 305-323.
 10. Abe, T. and Afzal, T. M. (1997). Thin-layer Infrared Radition Drying of Rough Rice, *Journal of Agricultural Engineering Research*, **67**: 289 – 297.
 11. Alibaş İ. (2012). Asma Yaprağının (*Vitis vinifera L.*) Mikrodalga Enerjisiyle Kurutulması ve Bazı Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi.
 12. Ayan, H. (2010). Güneşte ve yapay kurutucularda kurutulmuş domatesin (*Lycopersitcum esculentum*) üretimi ve proses sırasındaki değişimlerin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
 13. Baker, G.J.C. (1997). Industrial Drying of Foods, Chapman&Hall Publication, New York, 299.
 14. Chang, C.H., Lin, H.Y., Chang, C.Y. and Liu, Y.C. (2006). Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *Journal of Food Engineering*, **77**: 478- 485.
 15. Davoodi M.G, Vijayanand P, Kulkarni S.G, Ramana K.V.R. (2007). Effect of Different Pre-treatments and Dehydration Methods on Quality Characteristics and Storage Stability of Tomato Powder, *LWT*, **40**:1832-1840.
 16. Maskan, M. (2001). Drying, Shrinkage and Rehydration Characteristics of Kiwifruits During Hot Air and Microwave Drying. *Journal of Food Engineering*, **48**(2): 177-182.
 17. Sacilik K, Keskin R, Elicin A.K. (2006). Mathematical modeling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. *Journal Food Eng*, **73**: 231-238.
 18. Vega-Galvez A, Puente-Diaz L, Lemus- Mondaca R, Miranda M, Torres M.J. (2012). Mathematical Modelling of Thin-layer Drying Kinetics of Cape Gooseberry (*Physalis Peruviana L.*) *Journal Food Process Preservation*, **38**: 728-736.

19. Koç A., B., Toy M., Hayoğlu İ., Vardin H. (2004). "Kırmızı biber kurutmada kullanılan güneş enerjili bir kurutucu performansı", *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, **8(2)**: 57- 65.
20. Vega-Galvez A, Miranda M, Diaz LP, Lopez L, Rodriguez K, Di-Scala K. (2010). Effective moisture diffusivity determination and mathematical modelling of the drying curves of the olive- waste cake, *Bioresour Technol*, **101**:7265-7270.
21. Şahin F.H, (2010). Domates Kurutmada Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Tekirdağ.
22. Kocabıyık H, Sümer S.K., Tuncel N.B., Büyükcan B, Yılmaz N. (2012). İnfrared Kurutma Yönteminin Domates Kurutmada Kullanılması ve Kurutulmuş Domatesin Bazı Kalite Özellikleri ve Özgül Enerji Tüketimi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. Tübitak Projesi, No:109, 578.
23. Aktaş M., Kara, Ç. (2013). Güneş Enerjisi ve Isı Pompalı Kurutucuda Dilimlenmiş Kivi Kurutulması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, **28(4)**: 733-741
24. Doymaz, I., Pala, M. (2002). The effects of dipping pretreatments on air-drying rates of the seedless grapes, *Journal of Food Engineering*, **52**: 413-417.
25. Yaldiz, O., Ertekin, C., Uzun, H.I. (2001). Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes, *Energy*, **26**: 457-465.
26. Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z. (2002). A new model for single-layer drying, *Drying technology*, **20**: 1503-1513.
27. Yagcioglu, A., Degirmencioglu, A., Cagatay, F. (1999). Drying characteristic of laurel leaves under different conditions, in: Proceedings of the 7th international congress on agricultural mechanization and energy, Faculty of Agriculture, Cukurova University, Adana, Turkey, 565-569.
28. Kalender M. (2017). Makine Sıva Alçısının İnce Tabaka Infrared Kuruma Kinetiği, Karakteristiği ve Modellenmesi, *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **29(1)**: 285-291.
29. Yoğurtçu, H. (2016). Determination of Drying Kinetics of Tunceli Garlic with Microwave Drying Technique, *Tarım Bilimleri Dergisi*, **22**: 237-248.
30. Liu Q, Bakker-Arkema F W. (1997). Stochastic modelling of grain drying: Part 2. Model development, *Journal of Agricultural Engineering Research*, **66**: 275-280.
31. Crank J. (1975). The mathematics of diffusion. Oxford University Press, OX,UK
32. Pabis, S. (1999). The Initial Phase of Convection Drying of Vegetables and Mushrooms and the Effect of Shrinkage, *Journal of Agricultural Engineering Research*, **72**: 187-195.
33. Kamer M.S., Şahin H.E., Sönmez K., İmal M. (2016). Kabak ve Patlıcan Dilimlerinin Kuruma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
34. Toğrul, İ.T., Pehlivan, D. (2003). Modelling of drying kinetics of single apricot, *Journal of Food Engineering*, **58**: 23-32.
35. Doymaz İ. (2012). Evaluation of some thin- layer drying models of persimmon slices (*Diospyos kaki L.*) *Energy Conver Manag*, **56**: 199-205.
36. Shi, J. and Le Maguer, M. (2000). Lycopene in Tomatoes :Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **40 (1)**: 1-42.
37. Muratore G, Rizzo V, Licciardello F, Maccarone E. (2008). Partial dehydration of cherry tomato at different temperature, and nutritional quality of the products, *Food Chemistry*, **111**: 887-891.

İstanbul'daki Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinin Sera Gazı Emisyonunun Modelleme Metodu ile Tahmini

Hazal GÜLHAN*, Hale ÖZGÜN, M. Evren ERŞAHİN, R. Kaan DERELİ, İzzet ÖZTÜRK
İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul
*gulhan@itu.edu.tr

(Geliş/Received: 29.06.2017; Kabul/Accepted: 30.01.2018)

Özet

Atıksu arıtma tesislerinde oluşan sera gazı emisyonları son yıllarda küresel ölçekte önem kazanan bir konu haline gelmiştir. Özellikle nitröz oksit (N_2O), atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan en önemli sera gazlarından biridir. Sera gazı emisyonu miktarı, atıksu arıtma tesisinde uygulanan prosese ve işletme koşullarına bağlı olarak ihmal edilebilir seviyelerden önemli miktarlara kadar çıkabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, İstanbul'da bulunan dokuz adet biyolojik atıksu arıtma tesisinin incelenmesi suretiyle, bu tesislerde oluşan sera gazı miktarlarının tahmin edilmesi ve tesislerinin sera gazı emisyonu miktarları bakımından karşılaştırılmasıdır. Böylece, atıksu karakterizasyonu ve proses konfigürasyonu gibi faktörlerin sera gazı emisyonu üzerine etkisi araştırılmıştır. Atıksu arıtma tesislerinin sera gazı emisyonları model bazlı hesaplanmış olup, bu amaçla General Purpose Simulator (GPS-X) sürüm 6.5 simülasyon programı kullanılmıştır. İstanbul'da bulunan ve toplam eşdeğer nüfusu 6.395.341 kişi olan dokuz biyolojik atıksu arıtma tesisinin 2020 yılı için net metan gazı (CH_4) emisyonu 45.497 tCO₂eşd/yıl ve net N_2O gazı emisyonu 697.942 tCO₂eşd/yıl olarak tahmin edilmiştir. Proses konfigürasyonunun, arıtma prosesinin gelişmişlik düzeyinin, atıksu KOİ/TKN oranının ve azot giderim veriminin atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı oluşumunu etkilediği belirlenmiştir. Özellikle azot gideren proseslerin N_2O gazı emisyonu oluşumuna olan etkisi ve bu prosesleri etkileyen faktörler konusunda araştırma yapılması ihtiyacı mevcuttur. Gelecekte yapılacak bu araştırmalar ışığında N_2O gazı emisyonu oluşumunu azaltıcı tesis içi çözümlerin ve işletme stratejilerinin belirlenmesi mümkün olacaktır.

Anahtar kelimeler: Atıksu arıtma tesisi, biyolojik arıtma, nitröz oksit, sera gazı emisyonu

Estimation of Greenhouse Gas Emissions of Biological Wastewater Treatment Plants in Istanbul by Modelling

Abstract

Greenhouse gas emissions from wastewater treatment plants have become a globally important issue. Especially nitrous oxide (N_2O) is one of the most important greenhouse gases emitted from wastewater treatment plants. Depending on the process configuration and operating conditions, the greenhouse gas emissions can vary from negligible to considerable levels. The aim of this study is to estimate and comparatively evaluate the greenhouse gas emissions from nine full scale municipal wastewater treatment plants located in Istanbul. The effects of wastewater characterization and process configuration on the emissions were also studied. The emissions of the plants were calculated by mathematical modelling and General Purpose Simulator (GPS-X) version 6.5 was used for modelling purposes. Net methane (CH_4) and N_2O emissions of nine wastewater treatment plants with a total population equivalent of 6.395.341 were estimated as 45.497 tCO₂eqv/year and 697.942 tCO₂eqv/year in 2020, respectively. It was determined that treatment level, COD/TKN ratio and nitrogen removal efficiency have a significant effect on emissions of the investigated plants. Especially N_2O emissions from treatment plants for nitrogen removal should be investigated in more detail. Thus, efficient operation conditions and in-plant measures can be taken in order to reduce the N_2O emissions of these plants.

Keywords: Wastewater treatment plant, biological treatment, nitrous oxide, greenhouse gas emission

1. Giriş

Atıksuların arıtılması sırasında metan (CH_4), karbondioksit (CO_2) ve nitröz oksit (N_2O) gibi sera gazları oluşmaktadır. CH_4 genellikle

kanalizasyon hatlarında ve çamur arıtımı esnasında ortaya çıkmaktadır. CO_2 arıtma tesislerinde biyolojik faaliyetler sonucu oluşmakta, ayrıca CO_2 emisyonu tesisin enerji kullanımına bağlı olarak değişebilmektedir. N_2O

ise genellikle biyolojik azot giderimi sırasında ortaya çıkmaktadır [1]. N₂O en önemli sera gazlarında biri olup, küresel ısınma çerçevesinde CO₂'den 300 kat daha kuvvetli bir etkiye sahiptir [2]. Bu sebeple, düşük miktarda da olsa, herhangi bir kaynaktan meydana gelen N₂O emisyonunun etkileri önemli seviyede olabilmektedir [3]. Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan N₂O emisyonları ile ilgili ilk veriler Czepiel ve diğ. [4] tarafından yayınlanmıştır. Söz konusu çalışmayla birlikte atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları ile ilgili farkındalık oluşmuş ve bu konuya olan ilgi günümüze kadar artarak devam etmiştir. N₂O emisyonu oluşturan tüm insan kaynaklı faaliyetler dikkate alındığında, atıksu arıtma tesislerinin katkısı %3 civarındadır ve arıtma tesisleri N₂O emisyon oluşumuna en fazla katkı sağlayan altıncı sektör durumundadır. 2005 yılı baz alındığında, 2020 yılına kadar küresel ölçekte atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan N₂O emisyonunda %13'lük artış olması beklenmektedir [1]. Dolayısıyla, atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılması ve emisyon kontrolünü etkileyen faktörlerin belirlenmesi konusunda günümüzde önemli bir ihtiyaç bulunmaktadır [3].

Atıksuların arıtılması ve deşarjı sırasında oluşan sera gazı emisyonları birçok ülkede izlenmekte ve rapor edilmektedir. Avrupa Birliği ülkeleri içerisinde 2016 yılında atıksu arıtımı ve deşarjı kaynaklı kişi başı en yüksek sera gazı emisyonu 0,251 tCO₂eşd/kişi olup, bu değer Portekiz'de elde edilmiştir. Bu değer %90,4'ü CH₄ kaynaklı iken, %9,6'sı N₂O kaynaklıdır. Portekiz'i sırasıyla 0,139 tCO₂eşd/kişi, 0,128 tCO₂eşd/kişi ve 0,119 tCO₂eşd/kişi sera gazı emisyonu ile Bulgaristan, Letonya ve Yunanistan izlemektedir. Üç ülke için belirlenmiş olan sera gazı emisyonlarında CH₄'ün katkısı %74'ün üzerindedir. Kişi başı en düşük sera gazı emisyonu ise sırasıyla 0,014 tCO₂eşd/kişi, 0,016 tCO₂eşd/kişi ve 0,019 tCO₂eşd/kişi değeriyle Almanya, Hollanda ve Malta'ya aittir [5]. Almanya'da sera gazı emisyonunun %57,1'i CH₄ kaynaklı, %42,9'u ise N₂O kaynaklıdır. Hollanda sera gazı emisyonu oluşumunda N₂O'nun katkısı %25 iken, Malta'da %68,4'tür [5].

2016 yılı verilerine göre nüfusu 14.804.116 kişiye ulaşan İstanbul ülkemizin en kalabalık şehri olup, dünyada da önemli metropol

şehirlerden biridir [6]. Muhtelif kapasitelerde ve arıtma kademesinde toplam 80 adet atıksu arıtma tesisi bulunan İstanbul'da 2016 yılında 1,21 milyon m³ atıksu, arıtma işlemlerine tabi tutularak deşarj edilmiştir. Deşarj edilen suyun %64,4'ü ön arıtmaya (ızgara + kum tutucu + derin deniz deşarjı), %34,4'ü ileri biyolojik arıtmaya (karbon, azot ve fosfor giderimi) ve %1,2'si konvansiyonel biyolojik arıtmaya (kırsal yerleşimlerde sadece karbon giderimi yapılan atıksu arıtma tesisleri) tabi tutulmuştur [7].

Bu çalışmanın amacı; İstanbul'da eşdeğer nüfusu (EN) 100.000 ile 2.000.000 kişi arasında değişen dokuz adet biyolojik atıksu arıtma tesisinin sera gazı emisyon miktarını matematiksel modelleme ile hesaplamaktır. Bu kapsamda; beş farklı kategoriye ayrılan atıksu arıtma tesislerinin sera gazı emisyonları; konfigürasyon, tesis büyüklüğü ve atıksu karakterizasyonu açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Farklı atıksu arıtma tesislerinde oluşan sera gazı emisyon miktarlarının ve emisyonları etkileyen temel faktörlerin tahmin edilmesi, tesislerin mevcut durumlarının analiz edebilmelerine ve emisyon optimizasyonu sağlayarak iyileştirilmelerine imkan sağlayacaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. İncelenen tesislerin tanıtımı

Çalışma kapsamında beş kategoride dokuz farklı atıksu arıtma tesisi incelenmiştir. Her bir kategori ile ilgili genel bilgi Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Farklı kategoriler hakkında genel bilgi

Kategoriler	Arıtma Prosesi Tipi
A	Konvansiyonel arıtma (ön çökeltim ve anaerobik çamur çürütme mevcut)
B	A ² O (ön çökeltim yok, anaerobik çamur çürütme mevcut)
C	A ² O (ön çökeltim ve anaerobik çamur çürütme mevcut)
D	5 kademeli Bardenpho (ön çökeltim ve anaerobik çamur çürütme mevcut)
E	A ² O (ön çökeltim yok, çamur susuzlaştırma mevcut)

(A²O: Anaerobik-Anoksik-Oksik proses)

Çalışmada A, B, C ve D kategorilerinde birer arıtma tesisi yer almakta olup, bu tesisler sırasıyla

A, B, C ve D tesisi olarak adlandırılacaktır. E Kategorisi'nde yer alan beş tesis ise sırasıyla E1, E2, E3, E4 ve E5 olarak adlandırılacaktır. Tablo 2 ve Tablo 3'te incelenen 9 biyolojik atıksu arıtma

tesisinin atıksu karakterizasyonları ve işletme koşulları özetlenmekte olup, her bir kategoriye ait akım şemaları Şekil 1'de yer almaktadır

Tablo 2. İncelenen biyolojik atıksu arıtma tesislerinin atıksu karakterizasyonları

Parametre	Birim	A	B	C	D	E1	E2	E3	E4	E5
AKM	mg/L	610	350	610	320	261	351	315	293	351
KOİ	mg KOİ/L	840	600	840	600	600	600	600	600	600
BOİ ₅	mg O ₂ /L	380	266	376	309	283	309	324	252	309
TKN	mg N/L	65	54	65	60	60	60	70	50	60
NH ₄ -N	mg N/L	39	32	39	35	36	36	42	30	36
KOİ/TKN	-	12,9	11,1	12,9	10,0	10,0	10,0	8,6	12,0	10,0
TP	mg P/L	15	10	15	8	10	10	8	10	10
PO ₄ -P	mg P/L	10	8	10	6,8	8	8	6,8	8	8

Tablo 3. İncelenen biyolojik atıksu arıtma tesislerinin işletme koşulları

Parametre	Birim	A	B	C	D	E1	E2	E3	E4	E5
Sıcaklık	°C	15	15	15	15	15	15	15	15	15
pH	-	7	7	7	7	7	7	7	7	7
2020 EN	kişi	700.500	1.717.787	467.000	1.907.713	326.766	143.724	805.869	209.334	116.648
Debi	m ³ /gün	150.000	367.606	100.000	408.251	69.928	30.776	172.456	44.825	24.978
RC	-	-	4,10	4,50	4,29*	2,00**	4,80	4,80	4,50	4,50
R	-	-	0,75	1,00	0,83	0,75	0,75	0,80	0,75	0,75
V _D /V	-	-	0,4	0,4	0,4*	0,3**	0,3	0,3	0,4	0,4
Çamur yaşı	gün	8	9	8	10	20	10	8	11	20

*Aerobik-1 Anoksik-1 tankları için (Şekil 1), ** Aerobik-2 Anoksik-2 tankları için (Şekil 1)

RC: İçsel geri devir, R: Geri devir, V_D/V: Biyolojik havuzlarda anoksik hacmin toplam hacme oranı

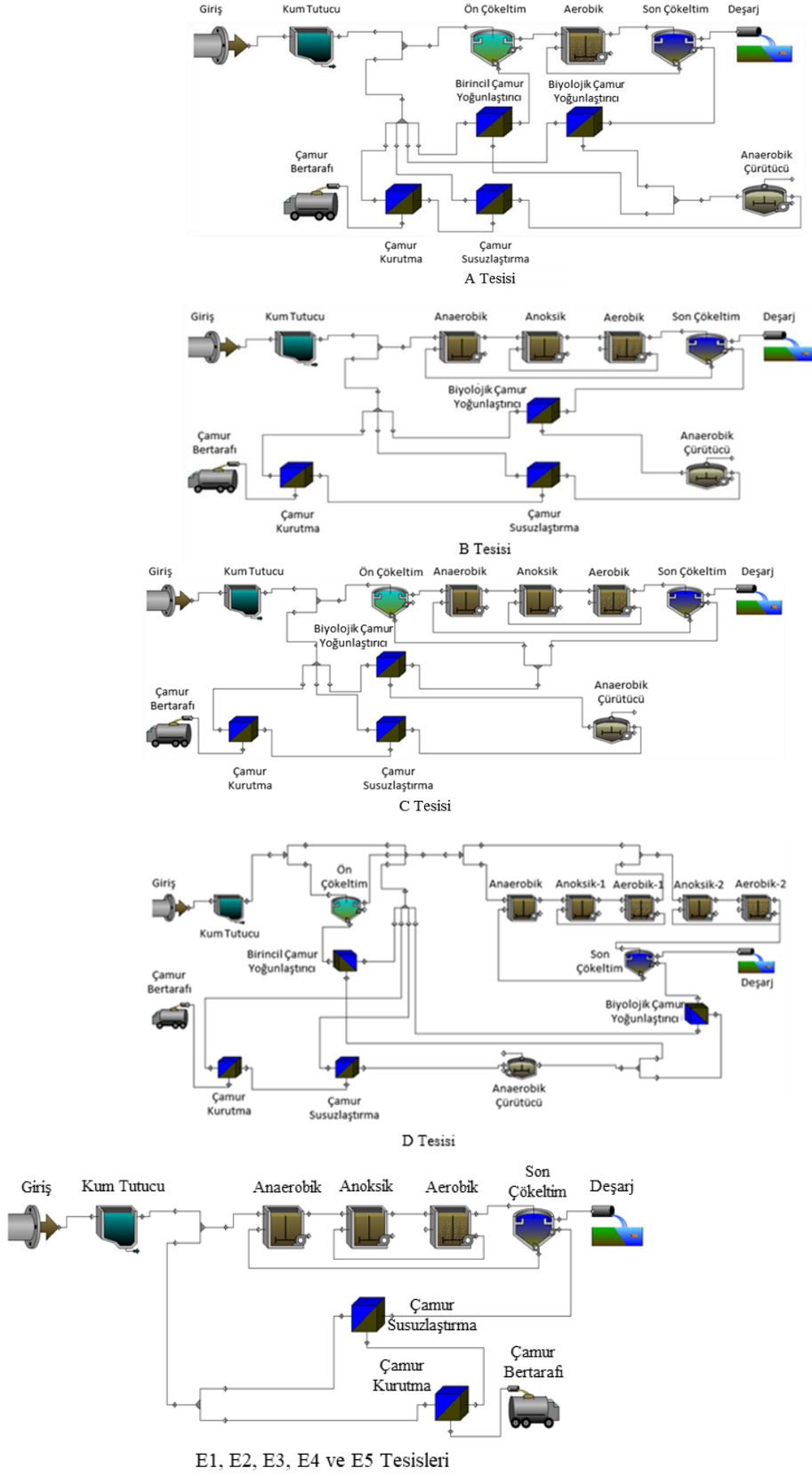
2.2. Simülasyon platformu ve matematiksel model

İncelenen atıksu arıtma tesislerinin matematiksel olarak modellenebilmesi için General Purpose Simulator (GPS-X) sürüm 6.5 kullanılmıştır [8]. Bu yazılım atıksu arıtma tesislerinde kullanılan temel fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesleri içeren görsel bir altyapı sunmakta olup, içerisinde bu proseslerin matematiksel olarak modellenebilmesine imkan veren model kütüphanelerini barındırmaktadır. Bu kütüphaneler arasında arıtma tesislerinin matematiksel modellenmesinde sıklıkla kullanılan standart aktif çamur modelleri (ASM1, ASM2d, ASM3) ve anaerobik çürütme modeli (ADM1) de bulunmaktadır [9, 10]. Bu çalışmada incelenen tesislerin proses akım şemaları, reaktör ve proses özellikleri (hacim, alan, debi, işletme parametreleri) yazılıma girildikten sonra, sera gazı emisyonlarının hesaplanabileceği bir matematiksel model olan Mantis3 modeli ile kararlı durum simülasyonları yapılmış ve emisyonlar hesaplanmıştır.

Mantis3 modeliyle, atıksu arıtma tesislerindeki biyolojik proseslerden salınan

doğrudan sera gazı emisyonları (CO₂, CH₄ ve N₂O) (Kapsam 1), tesislerde pompalama, havalandırma ve diğer amaçlar ile kullanılan elektrik enerjisi nedeniyle gerçekleşen emisyonlar (Kapsam 2) ve tesislerde kullanılan kimyasallar (polimer, kostik, koagülant vb.) ve materyaller (membranlar, yüzey artırıcı plastik malzemeler) kaynaklı emisyonlar (Kapsam 3) hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada, tesislerdeki biyolojik proses kaynaklı Kapsam 1 emisyonları 2020 yılı debi ve kirlilik yüklerine göre incelenmiş olup, tüm simülasyonlarda atıksu sıcaklığı 15°C ve aerobik reaktörlerde çözünmüş oksijen konsantrasyonu 2 mg/L alınmıştır. Tesislere ait 2020 yılı eşdeğer nüfus değerleri İSKİ'nin Arıtma Çamurları Yönetimi Master Planı'ndan alınmıştır ve tesislerin 2020 yılı debi ve kirlilik yükleri eşdeğer nüfusa göre hesaplanmıştır [11]. Anaerobik çürütücü bulunan atıksu arıtma tesislerinde, çürütücüde oluşan metan gazından enerji üretimi (elektrik ve ısı) sonucu geri kazanılan enerjinin karbon eşdeğeri toplam emisyonlardan düşülerek net emisyon hesaplanmıştır.

İstanbul'daki Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinin Sera Gazı Emisyonunun Modelleme Metodu ile Tahmini



Şekil 1. Beş farklı kategoriye ayrılan atıksu arıtma tesislerinin akım şemaları

3. Sonuçlar

3.1. Toplam ve birim sera gazı emisyonu

GPS-X yazılımı ile 2020 yılı için tahmin edilen atıksu arıtma tesislerine ait emisyon miktarları Tablo 4'te verilmektedir. Atıksuyun biyolojik arıtımından kaynaklı CO₂ emisyonu, Sera Gazı Protokolü'ne göre biyojenik nitelikli olduğundan, Kapsam 1 raporlarına dahil edilmemekte ve net emisyon miktarından düşülmektedir [12]. Yapılan matematiksel modelleme çalışmasına göre 2020 yılında incelenen 9 tesisin toplam net sera gazı emisyonu 697.182 tCO₂eşd/yıl olarak tahmin edilmiştir.

Yapılan çalışmada, atıksu kanalizasyon sisteminde oluşan ve tesise ulaşan CH₄ gazının, tesislerdeki havalandırılmalı kum tutucu ve ön çökeltim havuzlarından atmosfere salınımını

ihmal edilmiştir. Bu nedenle 2020 yılında çamurdan enerji elde edilmeyen E kategorisindeki tesislerde atıksu arıtımına bağlı CH₄ emisyonu sıfır olarak alınmış ve net emisyon miktarı atıksuyun biyolojik arıtımından kaynaklı N₂O emisyonuna eşit olmuştur. Çamurun anaerobik çürütülmesiyle enerji elde edilen A, B, C ve D tesislerinde anaerobik çürütme sonucu üretilen CH₄ gazı tesis içinde enerji üretiminde kullanıldığından, geri kazanılan CH₄ miktarı net emisyon miktarından düşülmekte (üretilen miktarın ~%90'ı), üretilen CH₄ miktarının ~%10'luk bir kısmı ise kaçak emisyonla eklenmektedir. Anaerobik çürütücüde, CH₄ ve CO₂ emisyonu kazanımı haricinde anaerobik ortamda N₂O'nun N₂'ye indirgenmesi ile bir miktar N₂O emisyonu azaltımı da sağlanmakta olup, bu değer Tablo 4'te N₂O Ofset satırında verilmiştir.

Tablo 4. İncelenen biyolojik atıksu arıtma tesislerinin 2020 yılı için tahmin edilen emisyon miktarları

Parametre	Birim	A	B	C	D	E1	E2	E3	E4	E5	Toplam
CO ₂ Emisyonu	tCO ₂ eşd/yıl	45.074	102.234	31.146	119.046	22.062	8.625	47.136	10.837	7.552	393.711
CH ₄ Emisyonu	tCO ₂ eşd/yıl	127.258	74.483	71.421	145.082	0	0	0	0	0	418.244
N ₂ O Emisyonu	tCO ₂ eşd/yıl	97.468	174.432	46.299	191.507	38.513	17.750	98.860	20.068	13.189	698.085
CO ₂ Ofset	tCO ₂ eşd/yıl	60.180	108.934	39.184	135.458	22.062	8.625	47.136	10.837	7.552	439.968
CH ₄ Ofset	tCO ₂ eşd/yıl	113.661	66.556	63.884	128.645	0	0	0	0	0	372.746
N ₂ O Ofset	tCO ₂ eşd/yıl	44	26	25	49	0	0	0	0	0	143
Net CO ₂ Emisyonu	tCO ₂ eşd/yıl	-15.106*	-6.700*	-8.038*	-16.413*	0	0	0	0	0	-46.257*
Net CH ₄ Emisyonu	tCO ₂ eşd/yıl	13.597	7.926	7.537	16.438	0	0	0	0	0	45.497
Net N ₂ O Emisyonu	tCO ₂ eşd/yıl	97.424	174.407	46.275	191.457	38.513	17.750	98.860	20.068	13.189	697.942
Net	tCO ₂ eşd/yıl	95.915	175.632	45.774	191.482	38.513	17.750	98.859	20.068	13.189	697.182

* Çamurdan enerji elde eden tesislerde, fosil yakıt kullanımı azaltımına bağlı CO₂ emisyonu tasarrufu negatif olarak gösterilmiştir.

Şekil 2'de GPS-X simülasyon sonuçlarının tesis bazında karşılaştırılması görselleştirilmiştir. Şekil 2'de verilen birim sera gazı emisyonları incelendiğinde, çamurdan enerji elde edilen A, B, C ve D tesislerindeki CO₂ birim emisyon değerinin 0'ın altında olduğu görülmektedir. Bunun nedeni söz konusu 4 tesiste, çamurdan enerji üretimiyle tasarruf edilen tesis içi fosil yakıt kullanımı miktarına bağlı CO₂ gazı emisyonunun net emisyon miktarından düşülmesidir. Çamurdan enerji elde edilen tesislerin (A, B, C ve D) 2020 yılı için toplam birim sera gazı emisyonları karşılaştırıldığında (Şekil 2), A tesisinin en fazla emisyonla (137 kgCO₂eşd/yıl/kişi), C'nin ise en düşük emisyonla (98 kgCO₂eşd/yıl/kişi) sahip

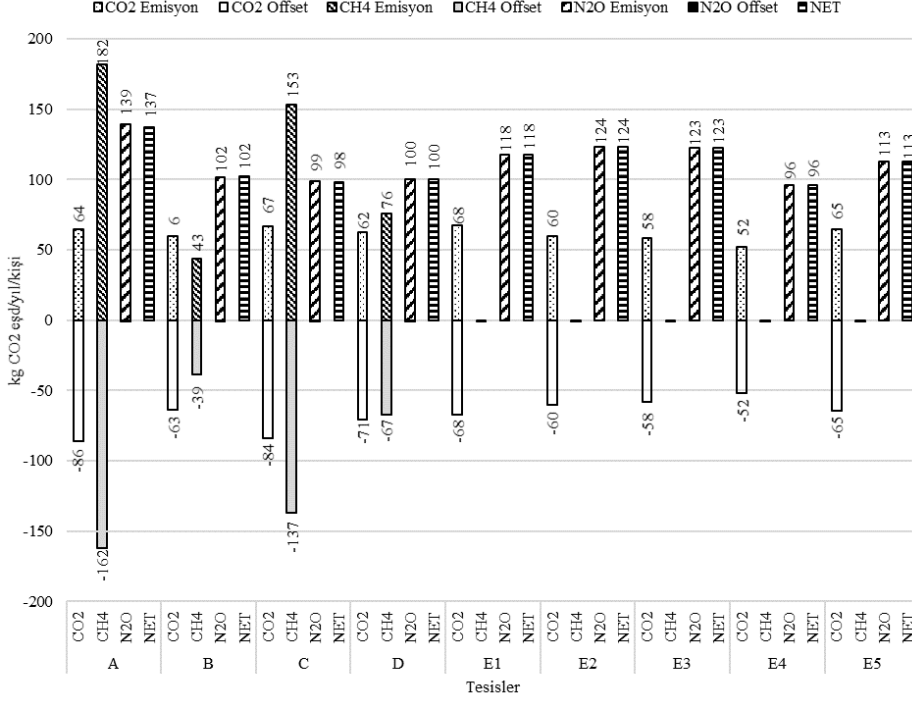
olduğu görülmektedir. B ve D tesislerinin toplam birim sera gazı emisyonları ise sırasıyla 102 ve 100 kgCO₂eşd/yıl/kişi'dir.

Çamurdan enerji elde edilmeyen E1, E2, E3, E4 ve E5 tesisleri sera gazı emisyonu yönünden karşılaştırıldığında, en düşük sera gazı emisyonunun E4 tesisine (96 kgCO₂eşd/yıl/kişi), en yüksek emisyonun ise E2 (124 kgCO₂eşd/yıl/kişi) tesisine ait olduğu görülmektedir.

Şekil 2'de kişi başı sera gazı emisyonları gazlara göre incelendiğinde, çamurdan enerji elde eden A, B, C ve D tesislerinde net CH₄ emisyonları sırasıyla 20, 4, 16 ve 9 kgCO₂eşd/yıl/kişi'dir. Biyolojik besi maddesi

giderimi yapılmayan A tesisinde N₂O birim emisyonu 139 kgCO₂eşd/yıl/kişi'dir. Biyolojik besi giderimi yapılan sekiz tesis arasından E4 ve

C tesisleri en düşük birim N₂O emisyonuna sahiptir (sırasıyla 96 ve 99 kgCO₂eşd/yıl/kişi).



Şekil 2. GPS-X simülasyon sonuçlarının tesis bazında karşılaştırılması

Tablo 5'te, tesislerin hesaplanan CH₄ gazı emisyon miktarının KOİ giriş yükü ve giderilen KOİ yüküne oranı ile N₂O gazı emisyon miktarının azot giriş yükü ve giderilen azot yüküne oranı verilmiştir. Bu yaklaşıma göre, çamurdan enerji elde edilen A, B, C ve D tesislerinde en fazla birim CH₄ emisyonu A tesisinde elde edilmiştir (10,6 g CH₄/kg KOİ_{giriş} ve 11,5 g CH₄/kg KOİ_{giderilen}). Bu tesisler arasında en düşük birim CH₄ emisyonu ise B tesisine aittir (3,5 g CH₄/kg KOİ_{giriş} ve 3,8 g CH₄/kg KOİ_{giderilen}).

Hollanda'da anaerobik çürütücü içeren evsel atıksu arıtma tesislerinin ortalama CH₄ emisyon faktörü olan 8,5 g CH₄/kg KOİ_{giriş} değeri [13], bu çalışmada hesaplanan CH₄ emisyon değerleri ile aynı mertebededir. İspanya'da anaerobik çürütücü içeren iki farklı atıksu arıtma tesisinde sahada yapılan CH₄ emisyon ölçümlerinde ise 10,5 ve 11,5 g CH₄/kg KOİ_{giriş} emisyon faktörleri elde edilmiştir [14]. Bu değerler de çalışmada elde edilen sonuçlar ile uyumludur.

Tablo 5. İncelenen biyolojik atıksu arıtma tesislerinin tahmin edilen birim emisyon miktarları

Parametre	Birim	A	B	C	D	E1	E2	E3	E4	E5
Giriş KOİ yükü başına CH ₄ emisyonu	g CH ₄ /kg KOİ _{giriş}	10,6	3,5	8,8	6,6	-	-	-	-	-
Giderilen KOİ başına CH ₄ emisyonu	g CH ₄ /kg KOİ _{giderilen}	11,5	3,8	9,4	7,1	-	-	-	-	-
Giriş N yükü başına N ₂ O emisyonu	N ₂ O/N _{giriş}	%9	%8	%7	%7	%8	%9	%8	%8	%8
Giderilen N başına N ₂ O emisyonu	N ₂ O/N _{giderilen}	%28	%10	%8	%8	%10	%10	%9	%10	%10

Tablo 5'te, incelenen biyolojik atıksu arıtma tesislerinde giriş azot yüküne göre en yüksek N₂O

emisyonu A tesisine (%9,2 N₂O/N_{giriş}), en düşük N₂O emisyonu ise C tesisine aittir (%6,5

N_2O/N_{giris}). Tesisler giderilen azot başına N_2O emisyonu oranı yönünden karşılaştırıldığında, atıksuyun konvansiyonel olarak arıtıldığı A tesisinde, azotun biyolojik olarak giderildiği diğer tesislere göre oldukça yüksek N_2O emisyonu tahmin edilmiştir (%27,8 $N_2O/N_{giderilen}$). Biyolojik azot giderimi yapılan diğer 8 tesiste ise en düşük birim N_2O emisyonunun C tesisinden kaynaklandığı görülmektedir (%7,9 $N_2O/N_{giderilen}$). Besi maddesi giderimi yapılan atıksu arıtma tesislerine ait N_2O emisyon faktörleri oldukça geniş bir aralığa sahip olabilmektedir. ABD’de besi maddesi giderimi yapan 12 farklı atıksu arıtma tesisinin sahada çevrimiçi ölçümle belirlenen doğrudan N_2O emisyonu %0,003-2,59 N_2O/N_{giris} aralığında değişirken, Avustralya’da besi maddesi giderimi yapan 7 adet atıksu arıtma tesisinin doğrudan emisyon faktörleri %0,6-25 N_2O/N_{giris} aralığındadır [1]. Bu çalışmada elde edilen N_2O emisyon faktörleri literatürde rapor edilen değerler ile benzer mertebededir.

3.2 Sera gazı emisyonunu etkileyen faktörler

Hesaplanan sera gazı emisyonu sonuçlarının değerlendirilmesinde, CH_4 ve N_2O emisyonları için farklı yaklaşımlar gerekmektedir. CH_4 gazı emisyonu miktarı çamur yönetimi (ön çökeltim yapılması, çamurun anaerobik şartlarda çürütülmesi veya çamurun yalnızca kurutulup bertaraf edilmesi) ile ilgiliyken, N_2O gazı emisyonu miktarı ise atıksu karakterizasyonu ve arıtma teknolojisine bağlı azot giderimi ile ilgilidir. İncelenen tesisler karşılaştırılırken, her bir tesise ait atıksu karakterizasyonu (Tablo 2), tesislerin işletme koşulları (Tablo 3) ve tesis performansını gösteren çıkış suyu karakterizasyonları (Tablo 6) göz önünde bulundurulmuştur.

Çamurdan enerji elde edilen A, B, C ve D tesislerinin birim CH_4 emisyonları incelendiğinde, eşdeğer nüfusu en yüksek olan B

ve D tesislerinin kişi başı birim emisyon miktarlarının en düşük olduğu görülmektedir (5 ve 9 $kgCO_2eşd/yıl/kişi$). Diğer taraftan tesislerde giderilen KOİ başına CH_4 emisyon miktarı incelendiğinde (Tablo 5), anaerobik çürütme verimi belirleyici faktör olmaktadır. Anaerobik çürütücü ile çamurdan enerji elde edilen tesislerde, ön çökeltim ile çöken birincil çamurun enerji içeriği, biyolojik çamurun enerji içeriğinden daha yüksek olduğundan, çürütücüde CH_4 üretimi görece daha fazladır [15]. Çamurun anaerobik çürütüldüğü A, B, C ve D tesislerinden yalnızca B tesisinde ön çökeltim bulunmamaktadır. Bu nedenle en düşük CH_4 gazı üretimi ve dolayısıyla emisyonu B tesisinden kaynaklanmaktadır. A, C ve D tesislerinin birim CH_4 emisyonundaki farklılıkların nedeni, tesislerin ön çökeltim ve anaerobik çürütücü verimlerinin birbirlerinden farklı olması ile açıklanabilmektedir. Ön çökeltim ile anaerobik çürütücü verimi yüksek olan tesislerde üretilen biyogaz ve dolayısıyla kaçak olarak salınan CH_4 gazı emisyonu miktarının daha fazla olması beklenir.

Tablo 6’da çalışma kapsamında incelenen tesislerin simülasyon sonuçlarına göre çıkış suyu karakterizasyonu ve giderim verimleri verilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen tesisler N_2O emisyonu yönünden karşılaştırıldığında, biyolojik besi maddesi gideriminin yapılmadığı A tesisinde (azot giderim verimi %33), giderilen azot başına en fazla birim N_2O gazı emisyonu oluşmaktadır (%28 $N_2O/N_{giderilen}$). KOİ/TKN oranları aynı (10), çamur yaşları aynı (10 gün) ve azot giderim verimleri aynı (%85) olan D ve E2 tesisleri karşılaştırıldığında, 5-Kademeli Bardenpho ile işletilen D tesisinin, A^2O ile işletilen E2 tesisinden daha az birim N_2O gazı emisyonuna sebep olması (sırasıyla %8,5 ve %10,4 $N_2O/N_{giderilen}$), tesis konfigürasyonunun sera gazı emisyonu için önemini ve arıtma teknolojisi geliştirildiğinde sera gazı emisyonunun da azaldığını göstermektedir.

Tablo 6. İncelenen biyolojik atıksu arıtma tesislerinin simülasyon sonuçlarına göre çıkış suyu karakterizasyonu ve giderim verimleri

Parametre	Birim	A	B	C	D	E1	E2	E3	E4	E5
AKM	mg/L	19	7	15	11	3	4	8	5	5
KOİ	mg/L	65	41	57	46	36	37	41	33	37
KOİ giderim verimi	%	%92	%93	%93	%92	%94	%94	%93	%94	%94
TN	mgN/L	44	10	11	9	9	9	12	8	9
Azot giderim verimi	%	%33	%82	%83	%85	%84	%85	%83	%83	%85
TP	mgP/L	11	2	3	2	1	1	1	1	1
Fosfor giderim verimi	%	%28	%79	%77	%80	%93	%91	%92	%92	%92

Biyolojik besi maddesi gideriminin yapıldığı tesislerde, nitrifikasyon ve denitrifikasyonu etkileyen faktörler N₂O gazı emisyonunda da etkili olmakta, nitrifikasyon ve denitrifikasyon veriminin azalması ile N₂O emisyonu artmaktadır. Azalan KOİ/TKN oranı ile N₂O emisyonunun artması bu duruma örnektir. Atıksuda organik karbon kısıtlayıcı faktör olduğunda, nitrifikasyon ve denitrifikasyon enzimleri arasındaki rekabete bağlı olarak N₂O emisyonu artmaktadır [1, 16]. Aynı konfigürasyon (A²O), aynı çamur yaşı (8 gün) ve aynı azot giderim verimine (%83) sahip C ve E3 tesisleri karşılaştırıldığında, KOİ/TKN oranı 12,9 olan C tesisinin, KOİ/TKN oranı 8,6 olan E3 tesisinden daha az birim N₂O emisyonuna (sırasıyla %7,9 N₂O/N_{giderilen} ve %9,1 N₂O/N_{giderilen}) sahip olduğu görülmektedir.

3.3 Genel değerlendirme

Yapılan çalışmada, İstanbul'da yer alan ve toplam eşdeğer nüfusu 6.395.341 olan dokuz adet biyolojik atıksu arıtma tesisinin 2020 yılı için net CH₄ gazı emisyonu 45.497 tCO₂eşd/yıl ve net N₂O gazı emisyonu 697.942 tCO₂eşd/yıl olarak tahmin edilmiştir. Çamurdan enerji elde edilen dört tesiste fosil yakıt tasarrufu ile kazanılan CO₂ emisyonu miktarı 46.257 tCO₂/yıl'dır. Dokuz tesisin toplam sera gazı emisyonu ise 697.182 tCO₂eşd/yıl'dır.

İstanbul'daki dokuz biyolojik atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan birim sera gazı emisyonları, 2020 yılı baz alınarak, CH₄ ve N₂O gazları için sırasıyla 49 ve 1.013 kgCO₂eşd/yıl/kişi olarak belirlenmiştir. Fosil yakıt tasarrufu ile kazanılan birim CO₂ emisyon miktarı 51 kgCO₂/yıl/kişi ve net sera gazı emisyonu ise 1.011 kgCO₂eşd/yıl/kişi olarak hesaplanmıştır.

Tesis konfigürasyonunun CH₄ gazı emisyon miktarına etkisi incelendiğinde, ön çökeltim ile birincil çamurun biyolojik çamurdan ayrılmasının biyogaz üretimini arttırdığı ve bu bakımdan net emisyonu azalttığı ancak aynı zamanda kaçak olarak salınan CH₄ emisyonunu arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Tesislerin N₂O emisyonları incelendiğinde, gelişen arıtma teknolojisi ile emisyon miktarının azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca nitrifikasyon ve denitrifikasyon verimini etkileyen KOİ/TKN

oranının ve azot giderim veriminin artması ile N₂O emisyonunun azalacağı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının, proses konfigürasyonuna, arıtma prosesinin gelişmişlik düzeyine, atıksu KOİ/TKN oranına ve azot giderim verimine bağlı olduğu belirlenmiştir. Tesis optimizasyonları ile deşarj karakterizasyonunun ve tesislerden enerji eldesi veriminin iyileştirilmesiyle, atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonunun azaltılabileceği sonucuna varılmıştır. Bu sayede tesislerin küresel ısınmaya katkıları azaltılabilecektir.

4. Kaynaklar

- 1.Law, Y., Ye, L., Pan, Y. and Yuan, Z. (2012). Nitrous oxide emissions from wastewater treatment processes. *Philosophical Transactions of The Royal Society*, **367** (1593), 1265-1277.
- 2.IPCC. (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, 94s.
- 3.Kampschreur, M.J., Temmink, H., Kleerebezem, R., Jetten, M.S.M. and van Loosdrecht, M.C.M. (2009). Nitrous oxide emission during wastewater treatment. *Water Research*, **43**(17), 4093-4103.
- 4.Czepiel, P., Crill, P. and Harriss, R. (1995). Nitrous oxide emissions from municipal wastewater treatment. *Environ. Sci. Technol.* **29**, 2352-2356.
- 5.EEA. (2015). European Environment Agency, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>
- 6.Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2016). Yıllara göre il nüfusları, www.tuik.gov.tr
- 7.İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ). (2016). 2016 Yılı Faaliyet Raporu, İstanbul, 306s.
- 8.Hydromantis. (2016). GPS-X Technical Reference - V.6.5. Hydromantis Environmental Software Solutions, Inc., Canada.
- 9.Henze, M., Gujer, W., Mino, T. and Loosdrecht, M. (2000). *Activated Sludge Models ASM1, ASM2 and ASM3*. IWA Publishing, London.
- 10.Batstone, D.J., Keller, J., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, S.V., Pavlostathis, S.G., Rozzi, A., Sanders, W.T.M., Siegrist, H., Vavilin, V.A. (2002). The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1). *Water Science and Technology* **45** (10) 65-73.
- 11.İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ). (2016). Arıtma Çamuru Yönetimi Master Planı, İstanbul, 134s.
- 12.WRI & WBCSD. (2005). *The GHG Protocol for Project Accounting*. Washington: World Resources Institute (WRI) and World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).

13.Daelman, M., van Voorthuizen, E., van Dongen, U., Volcke, E. and van Loosdrecht, M. (2012). Methane emission during municipal wastewater treatment. *Water Research*, **46**, 3657-3670.

14.Lorenzo-Toja, Y., Alfonsin, C., Amores, M.J., Aldea, X., Marin, D., Moreire, M.T. and Feijo G. (2016). Beyond the conventional life cycle inventory in Wastewater treatment Plants. *Science of the Total Environment*, **553** (2016) 71–82.

15.Öztürk, İ. (2015). Atıksu Arıtma Çamurlarının İşlenmesi ve Bertarafı (El Kitabı). Türkiye Belediyeler Birliği, 2015, Ankara, 218s.

16.Gülhan, H. (2017). Eysel Atıksu Arıtma Tesislerinden Kaynaklanan Sera Gazı Salımının Tahmini. Yüksel Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 183s.

Elazığ İlinde Doğal Gaz Tüketiminin Tahmini

Bilal Aydın¹, Ayşe Biçer^{2*}

¹AKSA Elazığ Doğal Gaz Dağıtım AŞ, Elazığ

²Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Elazığ

*abicer@firat.edu.tr

(Geliş/Received:07.04.2017 ;Kabul/Accepted:29.11.2017)

Özet

Bu çalışma, Elazığ şehir merkezi için mevcut doğal gaz talebi ile nüfus ve konut sayısı artışına bağlı olarak 2040 yılına kadar olan doğal gaz tüketim tahminini araştırılması amacıyla yapılmıştır. Her iki yöntemle yapılan tahminler sonucu konut ve konut benzeri tüketiciler için yapılan toplam tahmin değerleri, nüfus artış hızına göre yapılan toplam tahminlere göre saatlik tüketimde % 24.54 ve senelik tüketimde % 22.56 daha küçük çıkmıştır. Çalışmanın benzer diğer iller içinde yapılarak, ilerideki yıllar için Türkiye'nin doğal gaz tüketim tahminleri belirlenebilir. Bu yeni perspektif doğrultusunda, Türkiye'nin yapmış olduğu doğalgaz temin antlaşmaları güncellenip veya yenilerinin yapılması sağlanabilir.

Anahtar Kelimeler: Doğal gaz, doğal gaz tüketim tahmini, nüfus artış hızı, konut artış hızı

Estimation of Natural Gas Consumption in Elazig

Abstract

This study has been prepared for examining the natural gas consumption estimation of Elazig city centre until the year 2040 depending on the present demand for natural gas and increase in population and number of houses. As a result of the estimations made based on both methods, total estimation figures for household and household-like consumers were found out with total estimations made depending on the rate of population increase as 24.54% for hourly consumption and 22.56%, which is lower, for yearly consumption. The study can be repeated for other similar provinces and natural gas consumption estimations of Turkey can be determined for the future years. In line with this new perspective, the natural gas supply agreements concluded by Turkey can be updated or new agreements can be concluded.

Keywords: Natural gas, natural gas consumption estimation, rate of population increase, rate of housing increase

1. Giriş

Doğal gazın varlığı çok eskiden beri bilinmektedir. Son yüzyılda gelişmiş ülkelerde kullanımı oldukça artan doğal gazı, Türkiye 1988 yılında kullanmaya başlamıştır [1]. Bugün dünyadaki doğal gaz rezervlerinin 100 trilyon metreküp olduğu tahmin edilmektedir. Bu miktarın ülkelere göre dağılımı Rusya ve Türk devletleri %43, İran %13, ABD %5.6, Katar %4.2, Cezayir %2, Hollanda ve Norveç %1 dir. Türkiye'de şimdiye kadar büyük doğal gaz rezervlerine rastlanmamıştır. 14 milyar metreküp olduğu tahmin edilen Trakya'daki rezervlerden yılda 400-500 milyon metreküp üretim gerçekleştirilerek Hamitabat Doğal Gazlı Elektrik Üretim Santrali'nde kullanılmaktadır. Ayrıca

Mardin civarında 1 milyar metreküp doğal gaz rezervi mevcuttur [2].

Türkiye'de doğal gaz dış alımı ilk yıllarda Rusya ve Cezayir'den temin edilmiştir. Bu nedenle arz emniyeti tam sağlanmamıştır. Bugün Türkiye, Rusya, İran, Azerbaycan, Cezayir, Nijerya, Katar ve Türkmenistan'dan gaz almaktadır. Ülke içinde doğal gazın ağırlıklı kullanımı elektrik santrallerindedir (%50-52) [3]. Gerek ulusal ve gerekse uluslararası yapılan çalışmalarda, konu ile ilgili olarak yeterli kaynak bulunamamıştır. Bulunanlar arasında Aras H ve Aras N, çalışmalarında ısıtma tesisatının çalışıp çalışmadığı dönemlere göre yılı ikiye ayırıp tahminler yapmışlardır [4]. Bozidar ise ankete dayalı gaz tüketim tahmini yapmıştır [5]. Bulunan çalışmalar daha ziyade binalarda doğalgazın kullanımı ve tesisatları ile ilgilidir. BOTAŞ, illerin doğalgaz talebi ile ilgili geçmişte çalışmalar yapmış olup bunların tahmin süreçleri güncelliğini kaybetmiştir [6]. BOTAŞ, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) [7], Devlet İstatistik

Enstitüsü (DİE) [8], İmar ve İskan Bakanlığı, Planlama ve İmar Müdürlüğü yayınları [9], Elazığ Belediyesi Adrese Dayalı Kayıt Sistemleri (ADNKS) [10] ve Aksa Doğal Gaz Dağıtım A.Ş.[11] faydalanarak çalışma yapılmıştır.

Bu çalışma, Elazığ şehir merkezi için nüfus artışı ve konut sayısı artışına bağlı olarak 2040 yılına kadar olan doğal gaz ihtiyacının tahmini yapılması amacıyla yapılmıştır. Bu çalışmanın benzeri diğer iller içinde yapılarak ilerideki yıllar için Türkiye'nin doğal gaz tüketim ve temin politikaları güncellenebilir.

2. Elazığ İlinin Doğal Gaz İhtiyacının Belirlenmesi

Elazığ doğal gaz talebinin belirlenmesi için il 4 tüketim bölge alanına ayrılmıştır.

2.1. Elazığ doğal gaz tüketim bölgeleri

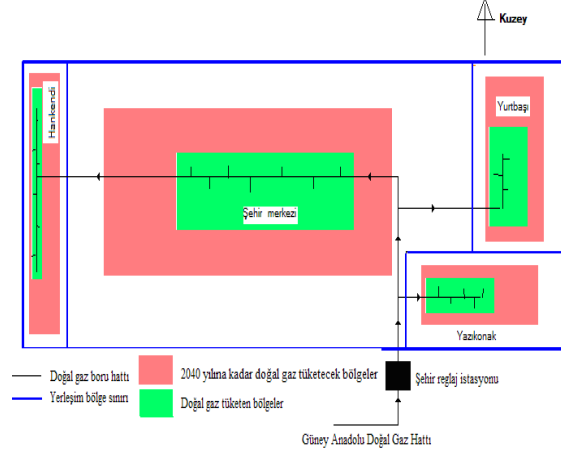
Elazığ Doğal Gaz Dağıtım Lisansı ihalesi, EPDK tarafından 21 Temmuz 2006 tarihinde yapılmış ve Anadolu Doğal Gaz Dağıtım A.Ş. 30 yıl süresince işletme lisansı almaya hak kazanmıştır [11]. İşin kapsamı, doğal gazın BOTAS iletim hatlarından alınarak Elazığ şehir merkezi (Bölge I), Yazıkonak (Bölge II), Yurtbaşı (Bölge III) ve Hankendi (Bölge IV), Belediyeleri sınırları içerisindeki imarlı alanların bütününe doğal gazın ulaştırılması ve satışının yapılmasıdır. Bölge kapsamında gerçekleştirilen ayrıntılı güzergâh değerlendirmeleri sonunda, Elazığ-Yazıkonak-Yurtbaşı-Hankendi sisteminin beslenmesi için en uygun çözümler belirlenmiş ve doğal gaz dağıtımı Şekil 1 de görüldüğü gibi gerçekleşmiştir.

2.2. Konut, işyeri, büyük tüketici ve sanayi kuruluşu sayıları

Şehir genelinin doğal gaz talebinin belirlenebilmesi için, şehrin konut ve işyeri sayıları belirlenmelidir. Bu için 2000 yılı verilerine göre mahalle bazında konut ve işyeri sayıları Tablo 1'de verilmiştir.

Elazığ ilinin doğal gaz talebinin belirlenmesinde, büyük tüketici sayıları önemlidir. Büyük tüketici olarak belirlenen birimlerin sayıları (Resmi Kurumlar, Eğitim-Öğretim Kurumları, Hastaneler ve Sağlık

Ocakları, Askeri Birlik ve Tesisler, Resmi Daireler, Özel Hastaneler, Otel/Konukevi, Fırınlara, Lokantalar, Pastaneler) toplam sayısı 549 olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Elazığ ili 2040 yılı için doğal gaz tüketim bölgeleri tahmini şeması

Tablo 1. Konut ve İşyeri Sayıları [11, 12]

Çalışma bölgesi	Mahalle sayısı	Toplam konut sayısı	Toplam işyeri sayısı
Elazığ Merkez	38	79.264	16.091
Yazıkonak Bel.	6	1.586	286
Yurtbaşı Bel.	6	1.596	276
Hankendi Bel.	3	457	83
GENEL TOPLAM		82.903	16.736

Elazığ Organize Sanayi, Hayvan-Besi Organize Sanayi, Doğu Döküm Fabrikası, Kayra Şarap Fabrikası ve Altınova çimento Fabrikası Bölgeleri dâhil olmak üzere çalışmaya dâhil edilen sanayi kuruluşu sayısı toplam 5 dir.

2.3. Konutlar için yıllık doğal gaz tüketim miktarları

Elazığ şehir yıllık konut ısıtmasında kullanılacak doğal gaz tüketim tahmininin yapılabilmesi için, aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

Her bir konutun alanı ortalama 100 m², konut veya daire için ortalama ısı ihtiyacı 7.500 kcal/h, doğal gazın alt ısı değeri: 8.250 kcal/m³, doğal gaz tüketen cihazların yakıt yakma verimi ortalama %85, ve Elazığ için kış şartları dış sıcaklık -12 °C, tesisatın günde 10 saat ve yılda 150 gün çalıştığı kabul edilmiştir.

Elazığ'ın yıllık doğal gaz tüketim miktarlarının hesabı için "TS 2164. Kalorifer

Tesisatı Projelendirme Kurallarına göre (1) numaralı eşitlik kullanılmıştır [13, 14].

$$Q_{Dg} = (Q_h \cdot z \cdot Z) / (H_{DG} \times \eta) \quad (1)$$

Bu eşitlik kullanılarak sayısal işlem yapılırsa, senelik yakıt miktarı;

$$Q_{Dg} = (7500 \cdot 10 \cdot 150) / (8.250 \times (8.250 \times 0.85)) = 1.604 \text{ m}^3 \text{ bulunur.}$$

Türkiye’de konutların pişirme ve sıcak su için ayda 2 adet 12 kg’lık LPG tüp tüketildiği kabul edilmiştir. Bu 2 tüpün kalori olarak değerine karşılık gelen doğal gaz tüketimi hesaplanıp, konutlar için pişirme ve sıcak su amaçlı yıllık ortalama doğal gaz tüketim değerleri belirlenebilir.

LPG’nin kalori olarak değeri 11.000 kcal/kg olarak kabul edilmiştir. Buna göre 12 kg’lık bir tüp 132.000 kcal ’ye karşılık gelmektedir. Bu değer doğal gazın alt ısıl değeri olan 8.250 kcal/m³ bölünürse, bir tüpe karşılık gelen doğal gaz miktarı hesaplanır. Yani 12 kg’lık LPG tüpü = 16 m³ doğal gaz karşılık gelir. Yılda 24 tüp kullanılması halinde konut başına pişirme ve sıcak su amaçlı yıllık ortalama doğal gaz tüketimi 384 m³ olarak hesaplanır. Buna göre, Elazığ ili için yapılan hesaplamalar sonucu konutlarda yıllık ve saatlik ortalama doğal gaz tüketim değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2 Elazığ-Yazıkonak-Yurtbaşı-Hankendi yerleşim yerlerinde konut başına düşen ortalama doğal gaz tüketim değeri

Tüketim şekli	Yıllık tüketim (m ³)	Saatlik tüketim (m ³)
Isınma ihtiyacı	1.604	1604/150.10:1.0
Pişirme+sıcak su	384	384/365.10:0.1
TOPLAM	1.988	1.1

2.4. İşyerleri, büyük tüketiciler ve sanayi kuruluşları için yıllık gaz tüketimi

Elazığ Şehir Doğal Gaz Dağıtım ile ilgili olarak işyerleri ve büyük tüketici sayıları konut doğal gaz tüketimine eşit olacağı kabul edilmiştir. İlde sanayi kuruluşlarının gerek ısınma ve gerekse üretim amacı ile ilgili doğal gaz ihtiyaçları için beş sanayi kuruluşundan alınan bilgiler Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. İlin sanayi kuruluşları yakıt tüketim miktarları

Sanayi Kuruluşları	Doğal Gaz Eşdeğeri Tüketim (m ³ /h)	Doğal Gaz Eşdeğeri Tüketim(m ³ /yıl)
Altınova Çim.Fb.	TOPLAM 2012 yılı: 6.943 2014 yılı: 7.248	TOPLAM 31.594.160 32.974.479
Kayra Şarap Fb.		
Organize San. B.		
Doğu Döküm Fb.		
Hayvan Besi		

3. Doğal Gaz Tüketim Tahmini İçin Kullanılan Yöntemler

Elazığ şehrinin 2040 yılı için doğal gaz tüketim potansiyelinin belirlenebilmesi amacıyla, aşağıdaki iki yöntem ile çalışmalar yapılmıştır.

- Nüfus artış hızına göre hesaplamalar yapılarak şehrin saatte ve yılda doğal gaz tüketim miktarı,

- İmar planları üzerinde çalışma yapılarak konut artış hızına göre şehrin saatte ve yılda doğal gaz tüketim miktarı tahmini yapılmıştır.

Nüfus tahmini için kullanılan yöntemleri üç grupta toplamak mümkündür [15,16,17, 18].

1. Matematik yöntemler yardımıyla yapılan nüfus tahminleri,

2. Demografik unsurlara göre nüfus nüfus tahminleri,

3. Ekonomik yöntemler yardımıyla yapılan nüfus tahminleri.

Bu çalışmada, Plan Nüfus Tahmini için en çok kullanılan matematik yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemle, iki sayım arasındaki yıllık nüfus artış hızı ve sayım arasındaki yılların nüfusları tahmin edilebilir. Matematiksel yöntemler içinde daha çok üstel fonksiyon yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır [15, 19].

3.1. Üstel fonksiyon yöntemi

İl nüfus tahminleri, şehirleşme hızı ve daha birçok nüfus tahmin çalışmaları, üstel fonksiyon yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemle göre, nüfus artış hızı (p) Denklem 1 veya 2 ile hesaplanabilir [15, 20].

$$\frac{St + n}{St} = e^{pn} \quad (2)$$

Her iki tarafın e tabanına göre logaritması alınarak Denklem 3 elde edilir.

$$\log_e \frac{St+n}{St} = pn \cdot \log_e e \quad (3)$$

Burada $\log_e e = 1$ olduğundan, Denklem 4 bulunur.

$$p = \frac{\log_e \frac{St+n}{St}}{n} \quad (4)$$

3.2. İki nüfus sayımı arasındaki yıllık nüfus artış hızının belirlenmesi

İki nüfus sayımı sonuçları kullanılarak nüfus artış hızı (p) üstel fonksiyon yöntemi ile aşağıda şekilde hesaplanabilir.

$$2014 \text{ yılı nüfusu } S_{t+n} = P_{2014} = 412.220$$

$$2000 \text{ yılı nüfusu } S_t = P_{2000} = 264.524. \quad [15, 20, 21].$$

Denklem 2 kullanılarak,

$$e^{p14} = (412.220)/264.524 = 1.5583463$$

bulunur.

Burada p yalnız bırakılırsa,

$$p = \frac{\log_e 1.5583463}{14} = \frac{0.4436251949}{14} = 0.0316875$$

p % 3.16 bulunur. Yani 2000 - 2014 döneminde toplam nüfus yılda ortalama % 3.16 artmış demektir.

2000 ve 2014 toplam nüfusları kullanılarak 2001 ile 2014 arası yılların toplam nüfusları aşağıdaki şekilde tahmini yapılabilir. Önce yıllık nüfus artış hızının (e) tabanına göre anti logaritması alınır. Bu değer her bir yıl için baz alınarak ara yıl nüfusları tahmin edilir. 0.0316875 in anti logaritması alınır, yıllık nüfus artış hızı **1.032195** olarak bulunur.

İlk yıl için 2000-2001 yılı nüfus artış hızı $[(273.040-264.524)/264.524]/100=32.19$ bulunduktan sonra, 2000-2014 yılları arası nüfus ve nüfus artış hızları hesaplanarak Tablo 4 hazırlanmıştır.

Tablo 4. 2000-2014 yılları arası nüfus ve nüfus artış hızı

Yıl	Nüfus	Nüfus artış hızı (kişi artış sayısı/yıl*1000)	
2000	264.524		sayım
2001	$1.032195 * 264.524 = 273.040$	32.19	
2002	$1.032195 * 273.040 = 281.829$	$1.032195 * 32.19 = 31.15$	tahmin
2003	$1.032195 * 281.829 = 290.902$	$1.032195 * 31.15 = 30.15$	tahmin
2004	$1.032195 * 290.902 = 300.268$	$1.032195 * 30.15 = 29.18$	tahmin
2005	$1.032195 * 300.268 = 309.935$	$1.032195 * 29.18 = 28.24$	tahmin

2006	$1.032195 * 309.935 = 319.913$	$1.032195 * 28.24 = 27.33$	tahmin
2007	$1.032195 * 319.913 = 330.215$	$1.032195 * 27.33 = 26.45$	tahmin
2008	$1.032195 * 330.215 = 340.846$	$1.032195 * 26.45 = 25.60$	tahmin
2009	$1.032195 * 340.846 = 351.820$	$1.032195 * 25.60 = 24.78$	tahmin
2010	$1.032195 * 351.820 = 363.147$	$1.032195 * 24.78 = 23.98$	tahmin
2011	$1.032195 * 363.147 = 374.839$	$1.032195 * 23.98 = 23.21$	tahmin
2012	$1.032195 * 374.839 = 386.907$	$1.032195 * 23.21 = 22.46$	tahmin
2013	$1.032195 * 386.907 = 399.363$	$1.032195 * 22.46 = 21.74$	tahmin
2014	$1.032195 * 399.363 = 412.220$	$1.032195 * 21.74 = 21.04$	sayım

2000-2014 nüfus artış hızının (yüzde 3.16) gelecek yıllar içinde sabit kalacağı kabul edilmiştir.

Tablo 2 de hesaplanmış konut başına doğal gaz tüketim miktarı olan saatte 1.1 m³/h ve yılda 1.988 m³/yıl alınarak, 2015-2040 dönemine ait ara yılların nüfus artış hızları ile doğal gaz tahminleri hesaplanıp Tablo 5 gösterilmiştir.

3.3. İlin konut artış hızı ve yıllara göre konut tahminleri

İl nüfus artışı ve nüfus artış hızı için kullanılan yöntem konut artışı ve konut artış hızı için de kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Gerek işyeri sayısı ve gerekse resmi kurumlar ve diğer büyük tüketiciler (müdürlükler, okullar, lojmanları, askeri tesisler, devlet hastaneleri) konut sayısı gibi kabul edilmiştir.

Elazığ ilinin 2000 ve 2014 yıllarına göre şehir merkez konut sayısı aşağıdaki gibidir.

2000 yılı; 82.903 adet (toplam konut sayısı), 16.736 adet (ticari mekan) ve 549 (büyük tüketici sayısı) olmak üzere toplam 100.188 adet,

2014 yılı; 131.755 adet (toplam konut sayısı) ve 12.431 adet (ticari mekan) olmak üzere toplam 144.186 adet [10, 21].

İki konut sayımı arasındaki yıllık konut artış hızının tespiti:

$$2014 \text{ yılı konut sayısı } S_{t+n} = S_{2014} = 144.186$$

$$2000 \text{ yılı konut sayısı } S_t = S_{2000} = 100.188$$

İki sayım arası yıl sayısı n = 14

$$e^{p14} = (144.186/100.188) = 1.4391543$$

$$p = (\log_e 1.4391543 / 14)$$

$$p = (0.3640556 / 14) = 0.0260$$

$$p = \% 2.60$$

bu sayının anti logaritması **1.0263409** bulunur.

$$2000 \text{ konut sayısı} = 100.188 \text{ (Sayım sonucu)}$$

$$2001 \text{ konut sayısı} = 1.0263409 * 100.188 = 102.827 \text{ (Tahmin)}$$

$$2002 \text{ konut sayısı} = 1.0263409 * 102.827 = 105.536 \text{ (Tahmin)}$$

şeklinde hesaplanarak Tablo 6 hazırlanmıştır.

3.4. İlin sanayi kuruluşları için doğal gaz tüketim tahminleri

İlin nüfus artışı ve nüfus artış hızı için kullanılan yöntem, sanayi kuruluşları artışı ve artış hızı için de kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Elazığ ilinin 2012 ve 2014 yıllarına göre sanayi kuruluşları doğal gaz saatlik ve yıllık tüketim miktarları Tablo 3 den alınarak.

2012 yılı; saatlik tüketim = 6.944 m³/h ve yıllık tüketim = 31.594.161 m³/yıl

2014 yılı; saatlik tüketim = 7.407 m³/h ve yıllık tüketim = 32.974.478 m³/yıl

Doğal gaz tüketim artış hızının tespiti; yukarıdaki gibi benzer işlemler yapılırsa,

$p = 0.02138079$ ve anti logaritması **1.021611** bulunur.

Buna göre, doğal gaz tüketim hızı, saatlik ve yıllık tüketim miktarları tahmini hesaplanarak Tablo 7 hazırlanmıştır.

3.5. Toplam doğal gaz tüketim tahminleri

Elazığ şehir doğal gaz tüketim tahminleri nüfus artış hızına göre ve konut artış hızına göre de ayrı ayrı saatlik için Tablo 8 ve yıllık için Tablo 9 da topluca verilmiştir. Bu tablolardan 2040 yılı için Elazığ ilinin doğal gaz tüketimi nüfus artış hızına göre 764.948.972 m³/yıl, konut artış hızına göre 620.991.926 m³/yıl olarak tahmin edilmiştir.

4. Doğal Gaz Tüketim Tahminlerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, bahsi geçen belediyelere ait imar planları dâhilindeki alanların 2040 yılına kadar dolacağı kabul edilerek, 2040 yılı için toplam doğal gaz tüketim tahmini yapılmıştır. Bu

tahmini tüketim değerleri iki farklı yöntemle, hesaplanmıştır. Nüfus artış hızı ile tahmin edilerek belirlenen tüketim değerleri ile konut sayısı artış hızı ile hesaplanan doğal gaz tüketim tahminleri Tablo 8 ve Tablo 9 da topluca verilmiştir. Bu tabloların incelenmesi halinde, nüfus artış hızına göre yapılan saatlik ve senelik doğal gaz tüketim tahmin değerleri, konut artış hızına göre yapılan tahmini sonuçlarından büyük çıkmıştır. Bunun nedeni, son yıllarda gerek civar illerden (Bingöl, Tunceli) ve gerekse ilin kazalarından Elazığ'a olan göç söylenebilir. Ancak, şehirde son yıllarda hem TOKİ tarafından yapılan konutlar hem de yeni imar planlarındaki yerleşim yerlerinin açılması şehirde konut ihtiyacını giderecek ve konut artış hızının, nüfus artış hızına yaklaşabilecektir. Fakat yine de 2040 yılındaki doğal gaz tüketim tahmininin nüfus artış hızına göre yapılması daha gerçekçi olacaktır. Ayrıca, mevcut imar bilgilerinin gelecek yıllar içerisinde Belediye tarafından güncelleştirme olasılığı bulunmaktadır.

Nüfus artış hızına göre yapılan hesaplar sonucu ilin 2040 yılı için konut ve benzeri iş yerlerinde saatlik doğal gaz tüketimi 391.450 m³/h ve sanayi için 12.762 m³/h olmak üzere toplam 404.212 m³/h gaz ihtiyacı tahmin edilmiştir. Bunun senelik olarak miktarı ise 707.457.634(konutlarda)+57.491.338(sanayide)= 764.948.972 m³/yıl olarak tahmin edilmiştir.

Konut artış hızına göre yapılan hesaplar sonucu, 2040 yılı saatlik doğal gaz tüketim tahmini; konut ve benzeri iş yerlerinde 311.796 m³/h, sanayi için 12.762 m³/h, toplam olarak 324.558 m³/h tahmin edilmiştir. Bu tahmin yıllık olarak ise konutlar için 563.500.588 m³/yıl ve sanayi için 57.491.338 m³/yıl olmak üzere toplam 620.991.926 m³/yıl olarak tahmin edilmiştir.

Tablo 5. Elazığ ilinin nüfus artış hızı ve konut sayıları ile doğalgaz tüketim tahmini

Yıllar	Nüfus artış hızı (%)	Konut sayısı	Saatlik doğalgaz tüketimi (m ³ /h)	Yıllık doğalgaz tüketimi (m ³ /yıl)
2000		100.188	100.188*1.1: 110.207	100.188*1988: 199.173.744
2001	32.19	103.413	103.413*1.1: 113.755	103.413*1988: 205.587.032
2002	31.15	106.742	106.742*1.1: 117.417	106.742*1988: 212.205.084
2003	30.15	110.179	110.180*1.1: 121.198	110.180*1988: 219.037.840
2004	29.18	113.726	113.726*1.1: 125.100	113.726*1988: 226.089.276
2005	28.24	117.387	117.387*1.1: 129.127	117.387*1988: 233.367.344
2006	27.33	121.166	121.166*1.1: 133.284	121.166*1988: 240.879.996
2007	26.45	125.068	125.068*1.1: 137.576	125.068*1988: 248.637.172
2008	25.60	129.094	129.094*1.1: 142.005	129.094*1988: 256.640.860
2009	24.78	133.250	133.250*1.1: 146.576	133.250*1988: 264.902.988

Tablo 5. Elazığ ilinin nüfus artış hızı ve konut sayıları ile doğalgaz tüketim tahmini (devam)

2010	23.98	137.540	137.540*1.1: 151.295	137.540*1988: 273.431.508
2011	23.21	141.968	141.968*1.1: 156.166	141.968*1988: 282.234.372
2012	22.46	146.540	146.540*1.1: 161.194	146.540*1988: 291.321.520
2013	21.74	151.257	151.257*1.1: 166.384	151.257*1988: 300.700.904
2014	21.04	156.126	156.126*1.1: 171.740	156.126*1988: 310.380.476
2015	20.36	161.153	161.153*1.1: 177.269	161.153*1988: 320.374.152
2016	19.70	166.341	166.341*1.1: 182.976	166.341*1988: 330.687.896
2017	18.07	171.697	171.697*1.1: 188.868	171.697*1988: 341.335.624
2018	18.46	177.225	177.225*1.1: 194.948	177.225*1988: 352.625.300
2019	17.86	182.930	182.930*1.1: 201.224	182.930*1988: 363.666.828
2020	17.28	188.820	188.820*1.1: 207.703	188.820*1988: 375.376.148
2021	16.72	194.899	194.899*1.1: 214.390	194.899*1988: 387.461.200
2022	16.18	201.174	201.174*1.1: 221.293	201.174*1988: 399.935.900
2023	15.66	207.651	207.651*1.1: 228.417	207.651*1988: 412.812.176
2024	15.15	214.336	214.336*1.1: 235.771	214.336*1988: 426.101.956
2025	14.66	221.237	221.237*1.1: 243.362	221.237*1988: 439.821.144
2026	14.19	228.359	228.359*1.1: 251.196	228.359*1988: 453.979.680
2027	13.73	235.711	235.711*1.1: 259.283	235.711*1988: 468.595.456
2028	13.28	243.300	243.300*1.1: 267.631	243.300*1988: 483.682.388
2029	12.85	251.133	251.133*1.1: 276.247	251.133*1988: 499.254.392
2030	12.43	259.218	259.218*1.1: 285.141	259.218*1988: 515.327.370
2031	12.03	267.564	267.564*1.1: 294.322	267.564*1988: 531.919.220
2032	11.64	276.178	276.178*1.1: 303.797	276.178*1988: 549.043.852
2033	11.26	285.070	285.070*1.1: 313.578	285.070*1988: 566.721.148
2034	10.90	294.247	294.247*1.1: 323.673	294.247*1988: 584.965.024
2035	10.55	303.721	303.721*1.1: 334.094	303.721*1988: 603.799.336
2036	10.21	313.549	313.549*1.1: 344.850	313.549*1988: 623.238.000
2037	9.88	323.592	323.592*1.1: 355.952	323.592*1988: 643.302.884
2038	9.56	334.010	334.010*1.1: 367.412	334.010*1988: 664.013.868
2039	9.25	344.763	344.763*1.1: 379.240	344.763*1988: 685.390.832
2040	8.95	355.863	355.863*1.1: 391.450	355.863*1988: 707.457.634

Tablo 6. Elazığ ilinin konut artış hızı ve konut sayıları ile doğalgaz tüketim tahmini

Yıllar	Konut artış hızı (%)	Konut sayısı	Saatlik doğalgaz tüketimi (m ³ /h)	Yıllık doğalgaz tüketimi (m ³ /yıl)
2000		100.188	100.188*1.1: 110.207	100.188*1988: 199.173.744
2001	26.34	102.827	102.827*1.1: 113.110	102.827*1988: 204.420.076
2002	25.65	105.536	105.536*1.1: 116.090	105.536*1988: 209.805.568
2003	23.95	108.316	108.316*1.1: 119.148	108.316*1988: 215.332.208
2004	23.32	111.169	111.169*1.1: 122.286	111.169*1988: 221.003.972
2005	22.71	114.097	114.097*1.1: 125.507	114.097*1988: 226.824.836
2006	22.11	117.102	117.102*1.1: 128.812	117.102*1988: 232.798.776
2007	21.53	120.186	120.186*1.1: 132.205	120.186*1988: 238.929.768
2008	20.96	123.352	123.352*1.1: 135.688	123.352*1988: 245.223.776
2009	20.41	126.601	126.601*1.1: 139.261	126.601*1988: 251.682.758
2010	19.87	129.936	129.936*1.1: 142.930	129.936*1988: 258.312.768
2011	19.35	133.359	133.329*1.1: 146.662	133.359*1988: 265.117.692
2012	18.84	136.872	136.872*1.1: 150.559	136.872*1988: 272.101.536
2013	18.34	140.477	140.477*1.1: 154.525	140.477*1988: 279.268.276
2014	17.86	144.177	144.177*1.1: 158.995	144.177*1988: 286.623.876
2015	17.39	147.975	147.975*1.1: 162.773	147.975*1988: 294.174.300
2016	16.93	151.873	151.873*1.1: 167.060	151.873*1988: 301.923.524
2017	16.48	155.873	155.873*1.1: 171.460	155.873*1988: 309.875.524
2018	16.05	159.979	159.979*1.1: 175.977	159.979*1988: 318.038.252
2019	15.63	164.193	164.193*1.1: 180.612	164.193*1988: 326.415.684
2020	15.22	168.518	168.518*1.1: 185.370	168.518*1988: 335.013.784
2021	14.82	172.957	172.957*1.1: 190.253	172.957*1988: 343.838.516
2022	14.43	177.513	177.513*1.1: 195.264	177.513*1988: 352.895.844

Tablo 6. Elazığ ilinin konut artış hızı ve konut sayıları ile doğalgaz tüketim tahmini (devam)

2023	14.05	182.189	182.189*1.1: 200.408	182.189*1988: 362.191.732
2024	13.68	186.988	186.988*1.1: 205.687	186.988*1988: 371.732.144
2025	13.32	191.913	191.913*1.1: 211.104	191.913*1988: 381.523.044
2026	12.97	196.968	196.968*1.1: 216.665	196.968*1988: 391.572.384
2028	12.30	207.481	207.481*1.1: 228.229	207.481*1988: 412.472.228
2029	11.98	212.946	212.946*1.1: 234.241	212.946*1988: 423.336.648
2030	11.66	218.555	218.555*1.1: 240.411	218.555*1988: 434.487.340
2032	11.05	230.221	230.221*1.1: 253.243	230.221*1988: 457.679.348
2033	10.76	236.285	236.285*1.1: 259.914	236.285*1988: 469.734.580
2034	10.48	242.509	242.509*1.1: 266.760	242.509*1988: 482.107.892
2035	10.20	248.897	248.897*1.1: 273.787	248.897*1988: 494.807.236
2036	9.93	255.453	255.453*1.1: 280.998	255.453*1988: 507.840.564
2037	9.67	262.182	262.182*1.1: 288.400	262.182*1988: 521.217.816
2038	9.42	269.088	269.088*1.1: 295.997	269.088*1988: 534.946.944
2039	9.17	276.176	276.176*1.1: 303.794	276.176*1988: 549.037.888
2040	8.93	283.451	283.451*1.1: 311.796	283.451*1988: 563.500.588

Tablo 7. Elazığ ili Sanayi Kuruluşları doğal gaz tüketim tahmini

Yıllar	Tüketim artış hızı (%)	Saatlik tüketim (m ³ /h)	Yıllık Tüketim (m ³ /yıl)
2012		6.944	31.594.161
2013	33.41	7.094	32.276.942
2014	32.69	7.247	32.974.478
2015	31.98	7.404	33.687.089
2016	31.29	7.565	34.415.100
2017	30.61	7.728	35.158.844
2018	29.95	7.895	35.918.661
2019	29.30	8.145	36.694.899
2020	28.66	8.321	37.487.912
2021	28.04	8.501	38.298.063
2022	27.43	8.685	39.125.722
2023	26.84	8.873	39.971.267
2024	26.26	9.065	40.835.086
2025	25.69	9.261	41.717.573
2026	25.13	9.461	42.619.135
2028	24.05	9.874	44.481.123
2030	23.00	10.305	46.424.459
2031	22.50	10.528	47.427.737
2032	22.01	10.755	48.452.697
2033	21.53	10.988	49.499.808
2034	21.06	11.225	50.569.548
2035	20.60	11.470	51.662.406
2036	20.15	11.715	52.778.882
2037	19.71	11.969	53.919.486
2038	19.28	12.227	55.084.740
2039	18.86	12.492	56.275.176
2040	18.45	12.762	57.491.338

Tablo 8. Elazığ ili saatlik toplam doğal gaz tüketim tahmini

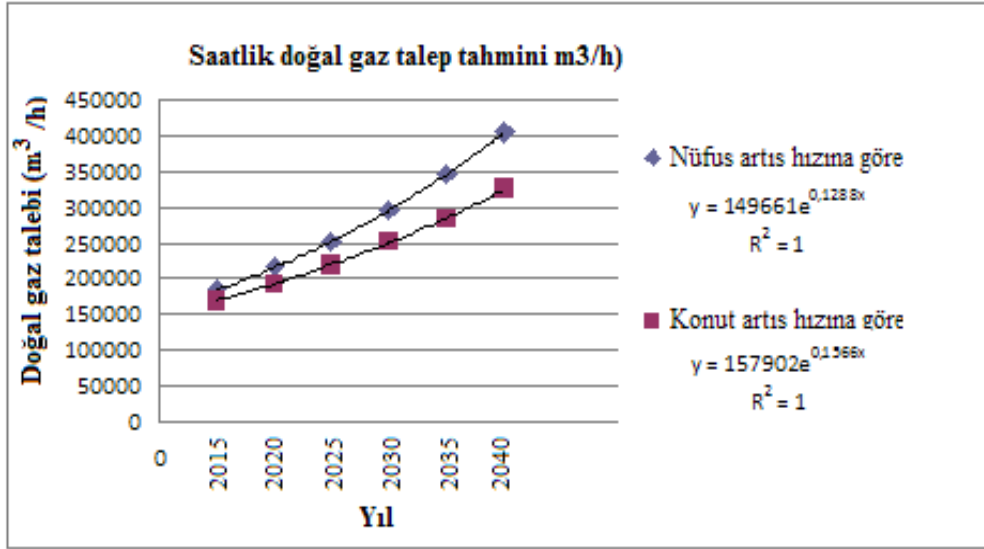
Yıllar	Nüfus artış hızına göre			Konut artış hızına göre		
	Konut- benzeri Binalar (m ³ /h)	Sanayi (m ³ /h)	Toplam Tüketim (m ³ /h)	Konut- benzeri binalar (m ³ /h)	Sanayi (m ³ /h)	Toplam Tüketim (m ³ /h)
2015	177.269	7.404	184.673	162.773	7.404	170.177
2016	182.976	7.565	190.541	167.060	7.565	174.625
2017	188.868	7.728	196.596	171.460	7.728	179.188
2018	194.948	7.895	202.843	175.977	7.895	183.872
2019	201.224	8.145	209.369	180.612	8.145	188.757
2020	207.703	8.321	216.024	185.370	8.321	193.691
2021	214.390	8.501	222.891	190.253	8.501	198.754
2022	221.293	8.685	229.978	195.264	8.685	203.949

Tablo 8. Elazığ ili saatlik toplam doğal gaz tüketim tahmini (devam)

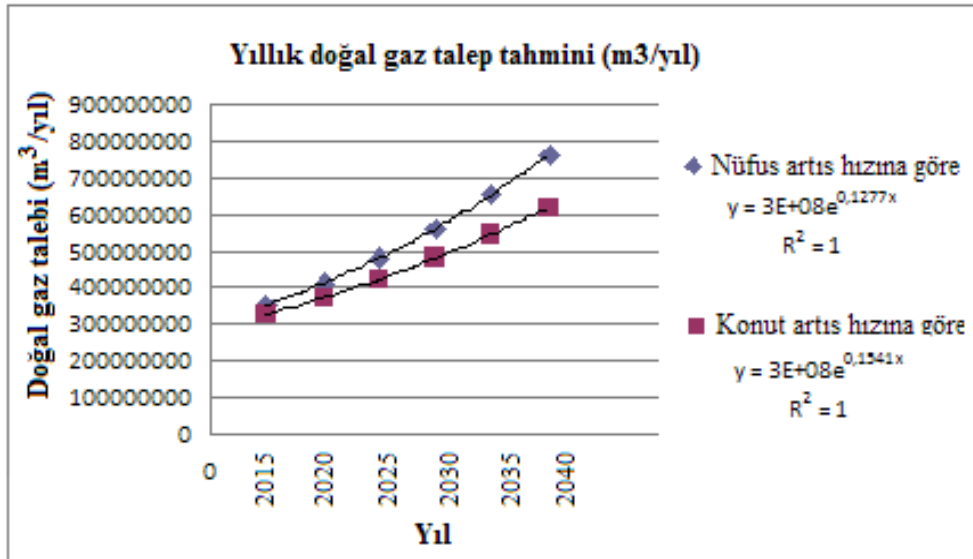
2023	228.417	8.873	237.290	200.408	8.873	209.281
2024	235.771	9.065	244.736	205.687	9.065	214.752
2025	243.362	9.261	252.623	211.104	9.261	220.365
2026	251.196	9.461	260.657	216.665	9.461	226.126
2028	267.631	9.874	277.505	228.229	9.874	238.103
2029	276.247	10.087	286.334	234.241	10.087	244.328
2030	285.141	10.305	295.446	240.411	10.305	250.716
2031	294.322	10.528	304.850	246.743	10.528	257.271
2032	303.797	10.755	314.552	253.243	10.755	263.998
2033	313.578	10.988	324.566	259.914	10.988	270.902
2034	323.673	11.225	334.498	266.760	11.225	277.985
2035	334.094	11.470	345.564	273.787	11.470	284.257
2036	344.850	11.715	356.565	280.998	11.715	292.713
2037	355.952	11.969	367.921	288.400	11.969	300.369
2038	367.412	12.227	379.639	295.997	12.227	308.224
2039	379.240	12.492	391.732	303.794	12.492	316.286
2040	391.450	12.762	404.212	311.796	12.762	324.558

Tablo 9. Elazığ ili yıllık toplam doğal gaz tüketim tahmini

Yıllar	Nüfus artış hızına göre			Konut artış hızına göre		
	Konut- benzeri binalar(m ³ /yıl)	Sanayi (m ³ /yıl)	Toplam tüketim(m ³ /yıl)	Konut- benzeri binalar (m ³ /yıl)	Sanayi (m ³ /yıl)	Toplam tüketim(m ³ /yıl)
2015	320.374.152	33.687.089	354.061.241	294.174.300	33.687.089	327.861.389
2016	330.687.896	34.415.100	365.102.996	301.923.524	34.415.100	336.338.624
2017	341.335.624	35.158.844	376.494.469	309.875.524	35.158.844	345.034.368
2018	352.323.300	35.918.661	388.241.961	318.038.252	35.918.661	353.956.913
2019	363.666.828	36.694.899	400.361.727	326.415.684	36.694.899	363.110.583
2020	375.376.148	37.487.912	412.864.060	335.013.784	37.487.912	372.501.696
2021	387.461.200	38.298.063	425.759.263	343.838.516	38.298.063	382.136.579
2022	399.935.900	39.125.722	439.061.622	352.895.844	39.125.722	392.021.566
2023	412.812.176	39.971.267	452.763.443	362.191.732	39.971.267	402.162.999
2024	426.101.956	40.835.086	466.937.042	371.732.144	40.835.086	412.567.230
2025	439.821.144	41.717.573	481.538.717	381.523.044	41.717.573	423.240.617
2026	453.979.680	42.619.135	496.598.815	391.572.384	42.619.135	434.419.519
2028	483.682.388	44.481.123	528.163.511	412.472.228	44.481.123	456.953.351
2030	515.327.370	46.424.459	561.751.829	434.487.340	46.424.459	480.911.799
2031	531.919.220	47.427.737	579.346.957	445.932.256	47.427.737	493.339.933
2032	549.043.852	48.452.697	597.496.549	457.679.348	48.452.697	506.132.045
2033	566.721.148	49.499.808	616.220.956	469.734.580	49.499.808	519.237.308
2034	584.965.024	50.569.548	635.534.572	482.107.892	50.569.548	532.677.440
2035	603.799.336	51.662.406	655.461.742	494.807.236	51.662.406	546.469.642
2036	623.238.000	52.778.882	676.016.882	507.840.564	52.778.882	560.619.446
2037	643.302.884	53.919.486	697.222.370	521.217.816	53.919.486	575.137.302
2038	664.013.868	55.084.740	719.098.608	534.946.944	55.084.740	590.031.684
2039	685.390.832	56.275.176	741.666.008	549.037.888	56.275.176	605.313.064
2040	707.457.634	57.491.338	764.948.972	563.500.588	57.491.338	620.991.926



Şekil 2. Elazığ ilinin saatlik toplam doğal gaz talep tahmini



Şekil 3. Elazığ ilinin yıllara göre toplam doğal gaz talep tahmini

4. Sonuç ve Öneri

Elazığ ili için yapılan bu çalışma ile gerek konut ve benzeri iş yerlerinde, gerekse sanayi kesiminde tüketilen doğal gazın 2040 yılına kadar olan ihtiyacı tahmin edilmeye çalışılmıştır. İlin nüfus artış hızı ve konut artış hızı kriter olarak alınmış ve hesaplar buna göre yapılmıştır. 1988 yılından beri Türkiye’de tüketilmekte olan doğal gazın tüketim politikası önemlidir. Bu nedenle gelecek için yerleşim yerlerinin nüfus ve konut artış hızlarına göre doğal gaz tüketim tahminleri

yapılmalı veya yenilenmelidir. Bu yeni tahminlere göre Türkiye doğal gaz temin politikası belirlenip buna göre doğal gaz temin anlaşmaları gözden geçirmeli veya yenileri eklenmelidir.

Semboller Listesi

Q_{Dg} : Isınma ihtiyacı için gerekli yıllık doğal gaz tüketim miktarı, (m³)
 Q_h : Bir daire veya konutun saatlik ısı kaybı, (kcal/h)

z : Dairenin gün içerisinde doğal gaz tüketim süresi, (saat/gün).
Z : Isıtma sisteminin yıllık çalışma gün sayısı, (gün/sene).
Hu : Doğal gazın alt ısıl değeri, (kcal/m³)
η : Doğal gaz yakan cihazın yakıt yakma verimi, (%)
St+n : Son sayım nüfusu
St : Bir önceki sayım nüfusu
p : Nüfus artış hızı
EPDK : Enerji Piyasası Denetleme Kurulu

Kaynaklar

1. Gündoğmuş, H. (1993). Doğalgaz Tekniği, *Kültür Bakanlığı Yayınları*, No: 276, Ankara.
2. Akçay, İ.H. (2001). Çevre ve Cep Dostu Doğalgaz, *Doğalgaz & Enerji Yönetimi Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Gaziantep Şubesi, Sayfa 21-27, Gaziantep, 2001.
3. TMMOB Makine Mühendisleri Odası Doğal Gaz Komisyonu (2001). Türkiye'nin Doğal gaz Temin ve Tüketim Politikaları. *Doğal Gaz & Enerji Yönetimi Kongre ve sergisi, Bildiriler Kitabı*, (28-29.Ekim 2001), Gaziantep.
4. Aras H. and Aras N. (2010). Forecasting Residential Natural Gas Demand, *Energy Sources*, 463-472.
5. Bozidar S., (2012), Forecasting natural gas consumption, *Applied Energy* 92: 26–37
6. BOTAŞ, <http://www.botas.gov.tr>
7. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), www.tuik.gov.tr.
8. Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE) (2000). Elazığ Bina ve İşyeri 2000 Sayımı Sonuçları.
9. Jurkat, E. H. (1965). Türkiye'de Kentsel Gelişmeyi Etkileyen Faktörler ve Beklenen Gelişme,

İmar ve İskân Bakanlığı, Planlama ve İmar Müdürlüğü, Bölge Planlama Dairesi.

10. Elazığ Belediyesi Adrese Dayalı Kayıt Sistemi (ADNKS) Veri Tabanı (2014), Elazığ Merkez Mahalle Nüfusları.
11. Aksa Doğal Gaz Dağıtım A.Ş. kaynakları, 2014
12. www.elazig.gov.tr
13. Biçer. Y. (2000), Isıtma Havalandırma Ders Notları, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları* No:84.
14. TS 2164. Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları
15. Kocaman, T. (1980). Yirminci Yüzyıl Sonuna Kadar Kent Nüfus Tahminleri, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), Yayın No: DPT:1714-SPD:321.
16. Kocaman, T. (1989). Altıncı Beş Yıllık Plan Nüfus Tahminleri, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), Sosyal planlama Başkanlığı (SPD).
17. Kocaman, T. (2002). Plan Nüfus Projeksiyon Yöntemleri, Sosyal Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü.
18. Shorter, F. C. and Macura, M. (1983). Trends in Fertility in Turkey 1935-1975, Committee on Population and Demography of The national Research Center, Report No: 8, Washington D.C: National Academy Press Türkçe baskısı: (Türkiye'de Nüfus Artışı 1935-1975, Yurt Yayınları Ankara 1983).
19. Hacettepe Üniversitesi Nüfus Etütleri Enstitüsü (HÜNEE), (1999). 1998 Nüfus ve Sağlık Araştırması, Hacettepe Üniversitesi Nüfus Etütleri Enstitüsü (HÜNEE).
20. United Nations (UN), (1983). Indirect Techniques for Demographic Estimation, Manual X, United Nations (UN), Population Studies, No:81, ST/ESA/SER.A/81.
21. Yener, S. ve Kocaman, T., (1979). IV. Beş Yıllık Plan Nüfus Tahminleri, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), Sosyal Planlama Dairesi (SPD), Araştırma Şubesi, Yayın No: DPT:1669-SPD:311

İndirgen Şartlarda Sıfır Değerlikli Demir ile Metronidazol ve Nitrat Giderimi

Özge HANAY*, Cemile SERTDEMİR, Burçin YILDIZ

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ

*e-mail: ohanay@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 10.07.2017; Kabul/Accepted: 30.01.2017)

Özet

Bu çalışmada, su kaynaklarında kirliliğe neden olabilen nitrat ve metronidazolun (MNZ) sıfır değerlikli nano demir (nZVI) ile birlikte giderimi indirgen şartlar altında araştırılmıştır. Optimum giderim verimini sağlayan pH, nZVI dozajı, sıcaklık, başlangıç nitrat ve MNZ konsantrasyonu gibi parametreler belirlenmiştir. nZVI: 1 g/L, pH:7, T:30 °C ve 20 mg/L nitrat ve 60 mg/L MNZ başlangıç konsantrasyon değerlerinde her iki kirletici için en yüksek giderim verimleri elde edilmiştir. Deney serilerinin sonunda gerçekleştirilen desorpsiyon ve ara ürün belirleme çalışmalarında nZVI ile MNZ ve nitratın giderim mekanizmasının adsorpsiyondan ziyade parçalanma olduğu ve oluşan ara ürünlerinde nZVI yüzeyine adsorplanma eğiliminde olduğu düşünülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Nitrat, Metronidazol, Su Kirliliği, Sıfır Değerlikli Demir

The Removal of Metronidazole and Nitrate by Zero-Valent Iron in The Reducing Conditions

Abstract

In this study, using nano scale zero valent iron for the removal of nitrate and metronidazole (MNZ) that can result in pollution water resource was evaluated in reduction condition. The parameters such as pH, nZVI dosage, temperature, initial nitrate and MNZ concentration that provide optimum removal were determined. For both pollutants the highest removal rates were provided at pH:7, nZVI: 1 g/L, T: 30 °C and 20 mg/L initial nitrate and MNZ concentrations. After the desorption study and analysing by-products of MNZ, the removal mechanism for MNZ and nitrate could be thought that transformation was dominant rather than adsorption when considering adsorbed the by-products on nZVI surface.

Keywords: Nitrate, Metronidazole, Water Pollution, Zero Valent Iron

1. Giriş

Sınırlı olan su kaynaklarının bir kısmı endüstrileşme ve hızlı şehirleşme sonucu hızla ve bilinçsiz bir şekilde tüketilirken bir kısmı da kirlenilerek kullanılamaz ve çevreye zarar verir hale gelmiştir. Su kirleticileri arasında yer alan nitrat; daha çok zirai uygulamalarda, toprağın iyileştirilmesi amacıyla kullanılan hayvansal atıklar, gübreler ile kentsel atıksularda yüksek miktarda bulunduğu için özellikle yeraltı sularında yüksek konsantrasyon değerlerine ulaşabilmektedir [1]. İlk olarak 1958 yılında Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından yayınlanan İçme Suları İçin Uluslararası Standartlarına göre 50-100 mg/L nitratın, bir yaştan altındaki bebeklerde mavi bebek hastalığına (methaemoglobinemia) neden olduğuna dikkat çekilmiştir. Daha sonraları giderek artan

sınırlamalarla ülkemizde geçerli olan içme suyu standartlarına göre (TS 266), nitrat için müsaade edilen maksimum değer 10 mg/L NO₃-N olarak belirlenmiştir. Nitrat, yüksek kimyasal stabiliteye sahiptir ve toksik olmamasına rağmen nitrite indirgenmesiyle insanlarda akciğer hasarı ve kanser gibi çeşitli rahatsızlıklara neden olmaktadır. Aynı zamanda nitrit aminlerle reaksiyona girip kanserojen olan nitrozaminleri oluşturarak insan sağlığını tehdit etmektedir [2].

Bir diğer su kirletici grubunda yer alan antibiyotikler; enfeksiyonları önlemek ve tedavi etmek amacıyla tıpta ve veteriner hekimliğinde kullanılmalarıyla birlikte balık çiftliklerinde ve hayvancılıkta büyüme faktörü olarak yaygın bir şekilde kullanılan önemli farmasötik bileşiklerden biridir [3]. Antibiyotikler / antibakteriyel ilaçlar, ağrı kesiciler ve ateş düşürücü ilaçlar, antiemipileptik ilaçlar, sitostatik

ilaçlar, beta- blokörler, kandaki yağ düzenleyici ilaçlar ve sentetik steroidler çeşitli araştırmacılar tarafından sulara bulunan ilaç etken maddelerdir. Antibiyotiklerin çevreye ulaşmalarındaki en önemli kaynaklardan biri metabolize edilemeyen antibiyotiklerin önemli konsantrasyonlarının mevcut olduğu hayvan gübresi ve insan atıklarıdır [4]. Bir diğer yönden antibiyotiklerin çevredeki davranışları fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlıdır. Antibiyotikler, özellikle toprağa sorpsiyona, biyoparçalanmaya ve fiksasyon ile fotodegradasyona karşı dirençli olabilir ve böylelikle antibiyotik kalıntıları su kaynaklarına ulaşabilir. Bunun bir sonucu olarak, antibiyotikler yüzey suyu, yeraltısu ve atıksu arıtma tesisi çıkış sularında $\mu\text{g/L}$ konsantrasyon değerlerinde tespit edilebilirler [5]. Antibiyotiklerin çevre üzerindeki olası etkileri, sucul türler ve toprak bakterileri gibi farklı organizmalar üzerine hem akut hem de kronik etkiler meydana getirmesi ve bitkiler tarafından alım ile besin zincirine bu maddelerin transferidir [6].

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda sulu ortamlardan nitrat gideriminde; iyon değişimi, ters osmoz, biyolojik denitrifikasyon ve kimyasal indirgeme gibi farklı biyolojik ve fizikokimyasal proseslerin uygunluğu araştırılmıştır. Ters osmoz ve iyon değişiminin, bazı işletimsel problemlere ve yüksek maliyete sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra biyolojik denitrifikasyonun özellikle hetetrofik nitrifikasyon ile gerçekleştiği zaman aşırı biyokütle neden olduğu ve kimyasal indirgenme proseslerine göre daha sıkı çevresel şartların gerekli olduğu belirtilmiştir [2]. Antibiyotikler, klasik biyolojik atıksu arıtma prosesleri ile etkili olarak giderilememekte ve olumsuz etkiler yaratacak konsantrasyonlarda sucul ortamlara deşarj edilmektedir. Bu nedenle antibiyotik giderimi ile ilgili çalışmaların çoğu ileri oksidasyon prosesleri ile gerçekleştirilmiştir [7-11].

Nano boyutlu sıfır değerlikli demirin (nZVI) çevresel uygulamalardaki kullanımı giderek artan bir ilgiye neden olmuştur. Dolgu yataklı arıtma proseslerinde ve yeraltına kurulan reaktif permeabil bariyerlerde malzeme olarak kullanılmaktadır. nZVI, klorlu organik bileşikler, ağır metal iyonları (Cr^{+6} , Hg^{+2} , Cd^{+2}) ve oksianyonlar (NO_3^-) gibi çeşitli indirgenebilen kirleticiler için etkili bir indirgeyici ve

katalizördür [12]. nZVI geniş yüzey alanı ve bu yüzey alanların yüksek reaktivitesinden dolayı klasik sistemlerle giderilemeyen bileşiklerin gideriminde yüksek performanslar sağlamıştır. Son yıllarda yapılan farklı çalışmalarda ise farmasötik bileşiklerden amoksisilin, tetrasiklin, oksitetrasiklin, ampisilin, metronidazol ve diklofenak gibi farklı antibiyotik bileşiklerin gideriminde etkin olduğu tespit edilmiştir [13-16]. Bu çalışmada, nZVI ile giderimi hedeflenen metronidazol (MNZ); antibakteriyel ve antienflamatuar özelliklere sahip olup, klinik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan ve *Ciardia lamblia* ile *Trichomonas vaginalis* gibi anaerobik bakteri ve protozoanın neden olduğu bulaşıcı hastalıkların tedavisi için yaygın olarak kullanılan bir tür nitroimidazol antibiyotik türüdür. İnsanlar için genellikle antibiyotik olarak kullanılmasının yanında, parazitlere karşı tavuk ve balık yemi olarak da yanlış bir şekilde kullanılmaktadır [17].

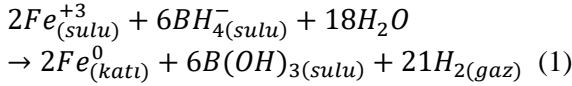
Literatürde nZVI ile nitrat giderim çalışmaları hem abiyotik hem de biyotik olarak mevcuttur [18-21]. Fakat nZVI ile nitrat ile birlikte farklı bir kirleticinin olduğu sulu ortamlarda giderim durumları ortaya konmamıştır. Bugüne kadar nZVI kullanılarak MNZ giderimi ile ilgili yapılan çalışmalar az olmakla birlikte Fang ve diğ. [23], bu konu üzerine yaptıkları çalışmada, nZVI ile MNZ'nin çok iyi bir şekilde giderilebildiğini ve bu işlemin iki temel proses olan parçalanma ve adsorpsiyon ile gerçekleştiğini görmüşler ve dolayısıyla su arıtımı için kullanılabilir bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır. Bu çalışmada amaç; indirgen şartlar altında nZVI ile düşük biyoparçalanabilirliğe sahip bir antibiyotik grubundan olan metronidazolün tek başına ve nitrat ile birlikte giderimini araştırmaktır. Bu amaçla her iki kirleticinin de birlikte bulunduğu sulu ortamda nZVI ile giderim şartları optimize edilerek giderim mekanizması tartışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

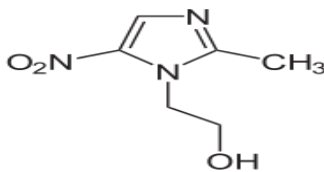
2.1. Nano ölçekli sıfır değerlikli demirin hazırlanması

Çözeltilerin hazırlanmasında kullanılan distile su öncelikle yaklaşık 20 dakika süreyle azot gazından geçirilmiş ve bu gaza doyurulmuştur. Hwang ve diğ. [19], nano boyutlu

ZVI için indirgen maddenin konsantrasyonunun ve bunu reaksiyon ortamına verme hızının (bu işlemde NaBH_4) ve öncül madde konsantrasyonunun (FeCl_3) elde edilecek nZVI'nın yüzey reaktivitesini, yüzey alanını ve de partikül boyut büyüklüğünü oldukça etkilediğini belirlemişlerdir. Farklı reaktivite, demir hidroksitlerin daha az çökmesiyle veya demirin daha az yüzey aşınmasıyla alakalıdır. Literatürdeki bu bilgilere dayanarak, öncül madde olarak 500 mL'lik 71.7 mM Fe^{+3} , FeCl_3 kimyasalından (Merck) hazırlanmıştır. İndirgen madde olarak 500 mL'lik 358,5 mM BH_4^- ise NaBH_4 'den (Merck) hazırlanmıştır. Reaksiyon ise dört boyunlu altı düz tabanlı cam kapta gerçekleştirilmiştir. Dört boyunlu cam kabın bir boynundan manyetik karıştırıcının pervanesi geçirilmiş, diğerinden NaBH_4 çözeltisi verilmiş, kalan ikisinden de azot gazının giriş ve çıkışı sağlanmıştır. Eşit hacimdeki (500 mL) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ çözeltisine 250 rpm'de çalıştırılan manyetik karıştırıcı altında eşit hacimdeki NaBH_4 çözeltisi verilmiştir. Fe^{+3} iyonları aşağıda verilen reaksiyona (1) göre elementel demire indirgenecektir.



Reaksiyon sonucunda siyah bir çökelek elde edilmiş ve bu durum sıfır değerlikli demirin oluştuğunu göstermiştir [1]. Daha sonra nZVI vakum filtrasyonu ile 30 dakika süre sonunda çözeltiden ayrılmış ve toplanan nZVI üç kez etanol ile yıkanarak, anaerobik poşet içerisinde sürekli azot gazı altında kurutmaya tabi tutulmuştur. Hazırlanan nano boyutlu sıfır değerlikli demir partiküllerinin yüzey morfolojilerinin belirlenmesi Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Elektron Mikroskobu (FÜEM) Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Metronidazol ($\text{C}_6\text{H}_9\text{N}_3\text{O}_3$) ticari olarak elde edilmiştir. Moleküler ağırlığı 171.2 g/mol olup pKa değeri 2,55'dir. Bileşiğin kimyasal yapısı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Metronidazolün kimyasal yapısı

2.2. Kesikli deney serileri

Metronidazol ve nitrat indirgenmesi çalışmaları; sentetik olarak hazırlanmış çözeltilerde gerçekleştirilmiştir. Çözeltiler hazırlanırken azot gazından geçirilmiş distile su kullanılmıştır. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan çözeltilere nZVI eklenmesiyle deney serileri başlatılmıştır. nZVI, sahip olduğu manyetik özelliklerinden dolayı aglomerasyon meydana getireceği için hazırlanmış olan metronidazol ve nitrat çözeltilerine ilave edildikten sonra ultrasonik banyoda bir dakika bekletilmiş ve nZVI partiküllerinin homojen bir şekilde dağılması sağlandıktan sonra reaksiyonlar başlatılmıştır. Her bir deney serisinde tek nitrat, tek metronidazol ve hem nitrat hem de metronidazol çözeltisi bulunan nZVI içeren çözeltiler hazırlanmış böylelikle tekli ve ikili kirlenici içeren sistemlerde nZVI'nin giderim performansı ve mekanizması araştırılmıştır. Çalışmadaki deney serilerinde izlenen aşamalar şu şekildedir;

- Farklı başlangıç pH değerleri: sabit nZVI, nitrat ve metronidazol konsantrasyonlarında farklı pH şartlarında (3,5,7,9) nitrat ve metronidazol giderimleri incelenmiştir.
- Farklı miktarlardaki nZVI: (0,1-1 g/L) aralığında değişen farklı miktarlardaki sıfır değerlikli nZVI, çözeltilere ilave edilerek optimum pH değerinde reaksiyonlar gerçekleştirilmiştir.
- Farklı MNZ başlangıç konsantrasyonları; 50-100 mg/L arasında değişen farklı başlangıç konsantrasyonlarında çalışmalar yürütülmüştür.

2.3. Metronidazol, nitrat, nitrit ve amonyum analizi

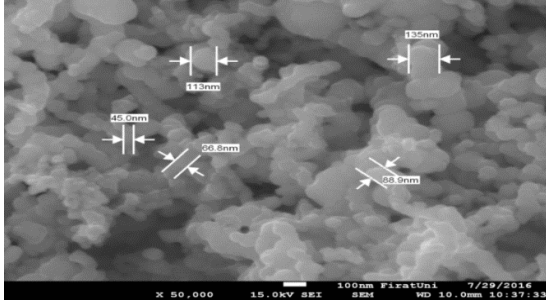
MNZ analizi için farklı reaksiyon süreleri sonunda alınan örnekler 0,22 μm membran filtrelerden geçirilerek bekletilmeden HPLC'de analiz edilmiştir. Metronidazol analizi, kolonun tipi AllureBiPh 5 μm , 150x4.6 mm olan Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC) (Shimadzu) ile gerçekleştirilmiştir. Mobil faz olarak amonyum dihidrojen fosfat/ asetonitril (80/20, v/v) karışımı kullanılmış ve mobil fazın pH değeri 2,45-2,55 aralığında tutulmuştur. Akış

hızı 1,2 mL/dk, dedektör dalga boyu: 315 nm ve örnekleme hacmi ise 100 µL olarak ayarlanmıştır. Bu metoda göre alıkonma süreleri, metronidazol için 3,4 dk olarak belirlenmiştir. Deney serileri sonunda, MNZ bileşiği ve olası ara ürünlerinin sorplanma durumlarını belirlemek amacıyla alınan 1 mL sıvı örneğe 10 µL konsantre HCl ilave edilerek 3 dk çalkalanmış ve daha sonrasında 20 dk santrifüjlenerek elde edilen supernatant HPLC'de analizlenmiştir.

Nitrat, nitrit ve amonyum analizleri için alınan numuneler ise 0,45 µm membran filtrelerden geçirilerek spektroquant cihazında analiz edilmiştir. Nitrat azotu (NO₃-N), nitrit azotu (NO₂-N) ve amonyum azotu (NH₄-N) analizleri ölçüm aralığı 2-150 mg/l NH₄-N olan, 0,002-1 mg/l NO₂-N olan ve 0,1-25 mg/l NO₃-N olan Merck test kitleri kullanılarak Merck Spectroquant Nova 60 cihazı ile belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Sentezlenen nZVI partikülleri üniform bir yapıda ve bağlı bir zincir görünümüne sahip olup partikül boyutu 45-135 nm aralığındadır (Şekil 2).



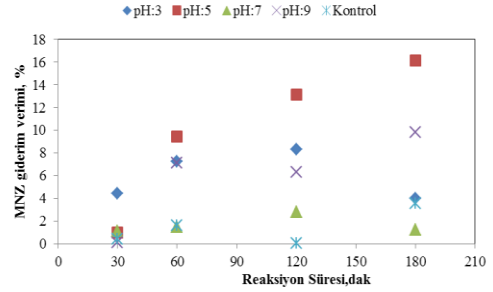
Şekil 2. Nano boyutlu sıfır değerlikli demirin SEM görüntüsü

3.2. MNZ Giderim Çalışmaları

3.2.1. pH'ın etkisi

Sucul ortamlarda sıfır değerlikli demirin kirlenici giderimini etkileyen en önemli unsurlardan bir tanesi ortamın pH değeridir. Çözelti pH'sı adsorbent yüzey yükünü, adsorptif molekülün iyonlaşma derecesini ve adsorbent aktif bölgelerindeki fonksiyonel grupların ayrışma boyutunu değiştirmektedir [22]. Bu nedenle deney serilerine başlangıç metronidazol konsantrasyonu 60 mg/L, sıcaklık: 30 °C ve nZVI dozajı: 0,2 g/L ve pH: 3-9

aralığında olacak şekilde başlanılmıştır. Tablo 1'de reaksiyon sonundaki son pH değerleri verilmiştir. Demirin oksijensiz ortamda suyla reaksiyonu sonucu açığa çıkan hidroksil iyonları ortamın pH değerinde değişime neden olmaktadır. Şekil 3 farklı pH değerlerinde MNZ giderim verimlerini göstermektedir. Metronidazolün pH: 3-9 aralığında giderim verimliliğine bakıldığında pH: 5 ve pH: 9'da reaksiyon süresi arttıkça giderim verimliliğinin de arttığı görülmektedir. pH:9'da 180 dak sonundaki giderim verimi % 9,80 iken pH:5'te giderim verimi % 16,13 olarak belirlenmiştir. Optimum pH, en iyi giderimin gerçekleştiği pH: 5 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Farklı pH değerlerinde MNZ giderim verimi (MNZ:60 mg/L, T:30 °C, nZVI:0,2 g/L)

Tablo 1'de gösterildiği gibi başlangıç pH değeri 3 ve 5 olan şartlarda son pH değerleri yaklaşık bir birim artarak daha yüksek son pH değerleri gözlenmiştir. Bu durum düşük pH değerlerinde demir korozyonunun daha hızlı gerçekleşmesiyle açığa çıkan OH⁻ iyonlarından kaynaklanmaktadır. Düşük pH, korozyon olayını hızlandırır ve yüksek pH değerleri ise demir yüzeyinin pasivasyonunu artırır [22]. Her ne kadar materyal metalik olarak belirtile de doğal şartlarda metal yüzeyinde oksitten oluşan ince bir kapsül tabakası yer almaktadır. Bu ince oksit tabakası aynı zamanda metalin elektron transferine müsaade eder. Korozyon ürünlerinin miktarı materyal porozitesini artırır ve bu durum Fe⁰ ile kirlenici reaksiyonlarını sınırlandırarak kirlenici giderim performansını değiştirmektedir.

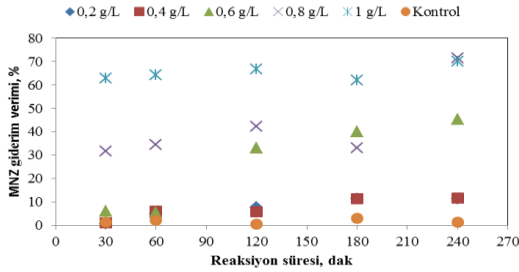
Tablo 1. Başlangıç pH değerine karşılık son pH değerleri

Başlangıç pH	3	5	7	9
Son pH	5,73	5,68	5,97	6,49

3.2.2. nZVI dozajının etkisi

Metronidazolün maksimum gideriminin sağlandığı uygun pH belirlendikten sonra 0,2-1 g/L aralığındaki nZVI dozajlarında 4 saat süre ile çalışmalar yürütülmüştür. pH: 5'de, 60 mg/L başlangıç konsantrasyonunda ve 30 °C sıcaklıkta yürütülen reaksiyon süresince metronidazol konsantrasyonu izlenmiştir.

Şekil 4'te görüldüğü gibi yüksek giderim verimleri nZVI dozajlarının artırılmasıyla gözlenmiştir. Örneğin 0,4 g/L gibi düşük bir dozajda 4 s sonunda giderim verimi % 11,52 iken bu değer 0,8 g/L için % 71,31 olarak belirlenmiştir. 1 g/L nZVI dozajı için 4 saatlik reaksiyon süresi sonucundaki giderim veriminin, 0,8 g/L'dekine çok yakın olduğu görülmüştür. Fakat iki tekrarlı olarak yapılan analizlerde giderim veriminin bu şekilde kaldığı ve değişmediği tespit edilmiştir. Daha yüksek konsantrasyonlarda nZVI, daha fazla yüzey alanına sahiptir ve bu durum metronidazolün etkileşime girebileceği daha fazla reaktif alan anlamına gelir. Fang ve diğ. [23] yaptıkları çalışmada benzer durumu gözlemiş ve nZVI dozajının artmasıyla birlikte MNZ giderim veriminin de arttığını belirlemişlerdir.



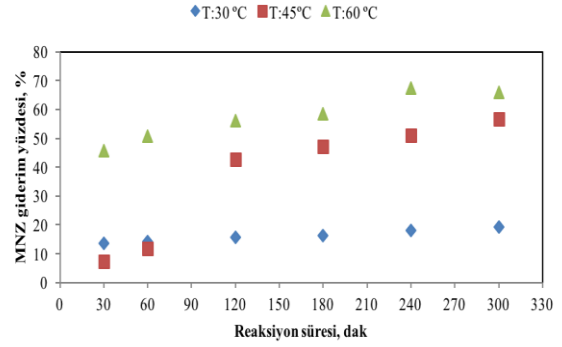
Şekil 4. Farklı nZVI dozajlarında MNZ giderim verimi (pH:5, T:30°C, MNZ: 60 mg/L)

3.2.3. Sıcaklığın etkisi

Başlangıç metronidazol konsantrasyonu 60 mg/L, pH: 5, nZVI konsantrasyonu 0,8 g/L olan sabit koşullar altında sıcaklığın metronidazolün giderim verimine olan etkisini araştırmak amacıyla 30, 45 ve 60 °C'de reaksiyonlar ayrı ayrı yürütülmüştür.

Şekil 5'de reaksiyon sıcaklığının 30 °C'den 60 °C'ye çıkartılması metronidazolün giderim verimini arttırmıştır. 60°C de giderim verimi en yüksek % 67,61 olarak tespit edilmiştir. Bu durum

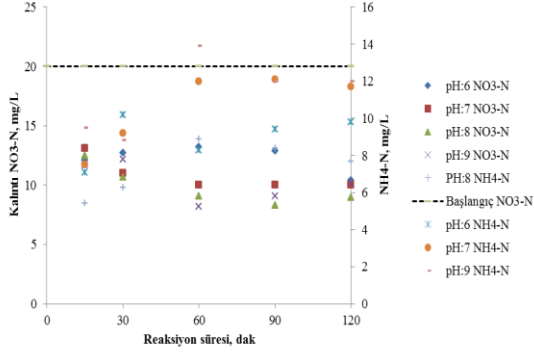
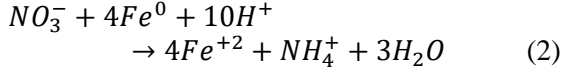
sıcaklık artışıyla metronidazol partiküllerinin nZVI'ya doğru hareketliliğinin artmasıyla açıklanabilir. Bu aşamada giderim sıcaklık artışının, elektrostatik etkileşimi, ZVI parçacıklarını ve MNZ partiküllerini doğrudan etkilediği için giderim veriminin artmış olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 5. Farklı sıcaklıklarda MNZ giderim verimi (MNZ: 60 mg/L, pH:5, nZVI:0,8 g/L)

3.3. Nitrat giderim çalışması

Nitrat giderim çalışması MNZ giderim çalışmalarından ayrı yürütülmüştür. Burada elde edilen optimum şartlar dikkate alınarak MNZ ile birlikte giderim çalışmalarında dikkate alınacak deneysel parametreler optimize edilmiştir. Şekil 6'da farklı pH değerlerine karşılık başlangıç nitrat konsantrasyonu ve amonyum konsantrasyonu gösterilmiştir. Tüm pH değerleri için başlangıç nitrat konsantrasyonu 20 mg/L olarak seçilmiştir. Aynı zamanda nitrat konsantrasyonu azalırken nitratın dönüşüm ürünleri olan amonyum ve nitrit konsantrasyonunun arttığı görülmektedir. En uygun pH değeri başlangıç nitrat konsantrasyonu dikkate alındığında 6 olarak tespit edilmiştir. nZVI ile nitrat giderim mekanizması önceki çalışmalarda araştırılmış ve giderim mekanizması ortaya konulmuştur. Xu ve diğ. [24], nitrat gideriminin sulu ortamın pH değerine oldukça bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Sulu ortamda nitratın % 95'i kuvvetli asidik şartlarda (pH < 2-3) nZVI ile hızlı bir şekilde giderilirken, pH >5 olduğu durumlarda giderimin % 50'den küçük olduğu görülmüştür. Zhang ve diğ. [1], nitrat denitrifikasyonu çalışmalarında nitrat indirgenme hızının artan pH değeriyle hızlı bir şekilde azalırken, nano ölçekli sıfır değerlikli demirin artan dozajıyla büyük ölçüde arttığı sonucuna varmışlardır.



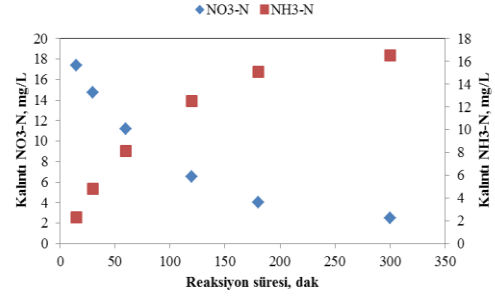
Şekil 6. Farklı pH değerlerinde kalıntı NO₃-N ve NH₄-N konsantrasyon değerleri (nZVI: 1 g/L, T: 30 °C NO₃-N:20 mg/L)

3.4. MNZ ve nitratın nZVI ile eşzamanlı giderim çalışmaları

Tek başına MNZ ve nitratın nZVI ile giderim çalışmalarının yapıldığı deney serileri tamamlandıktan sonra her iki kirleticinin de bulunduğu sulu ortamda giderim performansları araştırılmıştır. Deney serileri pH: 5 ve 7'de ve nZVI dozajı 0,8 ve 1 g/L olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Şekil 7, reaksiyon süresine karşılık kalıntı nitrat ve amonyum konsantrasyon değerlerini göstermektedir. pH:5 ve nZVI dozajının 1 g/L ve başlangıç nitrat ve metronidazol konsantrasyonunun 50 mg/L olduğu durumlarda kalıntı MNZ ve kalıntı nitrat konsantrasyonu azalırken kalıntı NH₃-N konsantrasyonu artmıştır. pH:7 ve nZVI:1 g/L'de kalıntı nitrat konsantrasyonu 43,1 mg/L iken kalıntı MNZ konsantrasyonu ise 7,51 mg/L olarak ölçülmüştür. Başlangıç deney serilerinde 50 mg/L nitrat konsantrasyonu seçilmiş fakat nitrat gideriminin istenilen düzeyde gerçekleşmemesinden dolayı başlangıç nitrat konsantrasyonu düşürülerek giderim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Böylelikle başlangıç nitrat konsantrasyonu 20 mg/L olarak alınmıştır ayrıca pH:7 ve pH:5'deki sonuçlar arasında yaklaşık olarak 1 mg/L'lik fark olduğu için çözelti pH'sı 5'e ayarlanarak çalışmaya devam edilmiştir. Şekil 7'de 5 saatin sonunda kalıntı nitrat azotu konsantrasyonunun 2,5 mg/L'ye düştüğü ve kalıntı amonyak azotunu konsantrasyonunun ise 16,5 mg/L'ye çıktığı görülmektedir. Metronidazolun ve nitritin son

konsantrasyon değerleri 0,01 mg/L'nin altında tespit edildiğinden grafikte yer verilmemiştir.

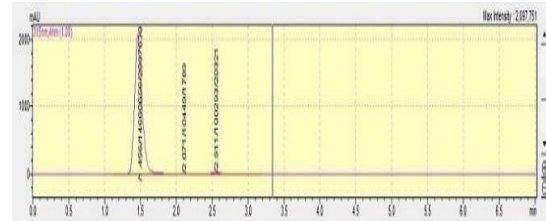


Şekil 7. MNZ ve nitratın eş zamanlı giderimi (pH:5, nZVI: 1 g/L, başlangıç MNZ ve nitrat konsantrasyonu: 20 mg/L)

3.5. Giderim mekanizmasının belirlenmesi çalışmaları

Yapılan desorpsiyon çalışmalarında nZVI yüzeyine adsorblanan miktarların reaksiyon süresince 0,1 mg/L'nin altında olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle özellikle MNZ giderim mekanizmasının adsorpsiyondan ziyade transformasyona bağlı olduğu düşünülmüştür.

Desorpsiyon çalışması sonunda alınan numunelerin HPLC'de analiz edilmesi neticesinde elde edilen kromatogram görüntülerinden biri Şekil 8'deki gibidir. Buna göre metronidazol gideriminde ana molekülde parçalanmanın gerçekleştiği ama bu parçalanmış bileşik veya bileşiklerin kısa sürede adsorplandığı belirlenmiştir. Ana bileşik için belirlenen alıkonma süresi olan 3,4 dk'dan farklı zamanlarda pikler gözlenmiştir ve böylelikle metronidazol ana molekülündense parçalanma ürünlerinin nZVI'ye adsorplandığı düşünülmektedir.



Şekil 8. Desorpsiyon sonucu elde edilen kromatogram (Nitrat ve MNZ konsantrasyonu: 20 mg/L, pH:5, nZVI: 1 g/L)

4. Sonuçlar

Bu çalışma, sulu ortamlardaki nitrat ve metronidazolün giderilmesinde nZVI'nin düşük

maliyetli bir madde olarak kullanılabilme potansiyelini göstermiştir. nZVI dozajının ve sıcaklığın artmasıyla giderilen nitrat ve MNZ konsantrasyonu artmıştır. Nitrat ve metronidazolün birlikte bulunduğu ortamlarda ise pH:5 ve 1 g/L nZVI dozajında her iki kirletici için optimum giderim verimleri elde edilmiştir. Çalışma sonunda gerçekleştirilen desorpsiyon ve ara ürün belirleme çalışmalarında nZVI ile MNZ ve nitratın giderim mekanizmasının adsorpsiyondan ziyade parçalanma olduğu ve oluşan ara ürünlerin de nZVI yüzeyine adsorplanma eğiliminde olduğu sonucuna varılmıştır.

5. Teşekkür

Bu çalışma FÜBAP MF 1530 no.lu Yüksek Lisans Tez Projesi desteğiyle gerçekleştirilmiştir.

6. Kaynaklar

1. Zhang, J., Hao, Z., Zhang, Z., Yang, Y., Xu, X. (2010). Kinetics of nitrate reductive denitrification by nanoscale zero-valent iron. *Process Safety and Environ. Protect*, **88**: 439-445.
2. Shin, K-H., Cha, D.K. (2008). Microbial reduction of nitrate in the presence of nanoscale zero-valent iron. *Chemosphere*, **72**: 257-262.
3. Karaalp, D. (2010). İleri oksidasyon prosesleri ile bazı farmasötiklerin parçalanmasının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 129s.
4. Halling-Sorensen, B., Nielsen, S., Lanzky, PF., Ingerslev, F., Lützhøft, HC., Jørgensen, SE. (1998). Occurrence, Fate and Effects of Pharmaceutical Substances in the Environment a Review. *Chemosphere*, **36**: 357-93.
5. Kümmerer, K., Al-Ahmad, A., Mersch-Sundermann, V. (2000). Biodegradability of some antibiotics, elimination of the genotoxicity and affection of wastewater bacteria in a simple test, *Chemosphere*, **40**: 701-710.
6. Blackwell, P.A., Lützhøft, H-C.H., Ma, H-P., Halling-Sørensen, B., Boxall, A.B.A. and Kay, P. (2004). Fast and robust simultaneous determination of three veterinary antibiotics in groundwater and surface water using a tandem solid-phase extraction with high-performance liquid chromatography-UV detection. *Journal of Chromatography A*, **1045**: 111-117.
7. Elmolla, E.S., Chaudhuri, M. (2010). Comparison of different advanced oxidation processes for treatment of antibiotic aqueous solution. *Desalination*, **256**: 43-47.
8. Garcia-Galan, M.J., Anfruns, A., Gonzalez-Olmos, R., Rodriguez-Mozaz, S. and Comas J. (2016). Advanced oxidation of the antibiotic sulfapyridine by UV/H₂O₂: Characterization of its transformation products and ecotoxicological implications. *Chemosphere*, **147**: 451-459.
9. Wan, Z., Hu, J., Wang, J. (2016). Removal of sulfamethazine antibiotics using Ce-Fe-graphene nanocomposite as catalyst by Fenton-like process. *Journal of Environmental Management*, **182**: 284-291.
10. Liu, P., Zhang, H., Feng, Y., Yang, F. and Zhang, J. (2014). Removal of trace antibiotics from wastewater: A systematic study of nanofiltration combined with ozone-based advanced oxidation processes. *Chemical Engineering Journal*, **240**: 211-220.
11. Mohammed, S., Fasnabi, P.A. (2016). Removal of dicofol from waste-water using advanced oxidation process. *Procedia Technology*, **24**: 645-653.
12. Zhang, H., Jin, Z-h., Han, L., Qin, C-h. (2006). Synthesis of nanoscale zero-valent iron supported on exfoliated graphite for removal of nitrate. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, **16**: 345-349.
13. Ghauch, A., Tuqan, A., Abou Assi, H. (2009). Antibiotic removal from water: Elimination of amoxicillin and ampicillin by microscale and nanoscale iron particles. *Environmental Pollution*, **157**: 1626-2635.
14. Hanay, Ö., Türk, H. (2013). Comprehensive evaluation of adsorption and degradation of tetracycline and oxytetracycline by nanoscale zero-valent iron. *Desalination and Water Treatment*, **53**: 1986-1994.
15. Chen, J., Qiu, X., Fang, Z., Yang, M., Pookeung, T., Gu, F., Cheng, W. and Lan, B. (2012). Removal mechanism of antibiotic metronidazole from aquatic solutions by using nanoscale zero-valent iron particles. *Chemical Engineering Journal*, **181-182**: 113-119.
16. Ghauch, A., Abou Assi, H., Bdeir, S. (2010). Aqueous removal of diclofenac by plated elemental iron: bimetallic systems. *Journal of Hazardous Materials*, **182**: 64-74.
17. Kummerer, K. (2001). Drugs in the environment: emission of drugs, diagnostic aids and disinfectants into wastewater by hospitals in relation to other sources-A review. *Chemosphere*, **48**: 957-969.
18. Fu, F., Dionysiou, D.D., Liu, H. (2014). The use of zero-valent iron for groundwater remediation and wastewater treatment: A review. *Journal of Hazardous Materials*, **267**: 194-205.
19. Hwang, Y-H., Kim, D-G., Shin, H-S. (2011). Mechanism study of nitrate reduction by nano zero valent iron. *Journal of Hazardous Materials*, **185**: 1513-1521.
20. Siciliano, A. (2015). Use of nanoscale zero-valent iron (nZVI) particles for chemical denitrification under different operating conditions. *Metals*, **5**: 1507-1519.

- 21.** Peng, L., Liu, Y., Gao, S-H., Chen, X., Xin, P., Dai, X. and Ni, B-J. (2015). Evaluation on the nanoscale zero valent iron based microbial denitrification for nitrate removal from groundwater. *Scientific Reports*, **5**: 12331.
- 22.** O'Carroll, D., Sleep, B., Krol, M., Boparai, H., Kocur, C. (2013). Nanoscale zero valent iron and bimetallic particles for contaminated site remediation, *Advances in Water Resources*, **51**: 104-122.
- 23.** Fang, Z., Chen, J., Qiu, X., Qiu, X., Cheng, W. and Zhu, L. (2011). Effective removal of antibiotic metronidazole from water by nanoscale zero-valent iron particles. *Desalination*, **268**: 60-67.
- 24.** Xu, J., Hao, Z., Xie, C., Lv, X., Yang, Y. and Xu, X. (2012). Promotion effect of Fe²⁺ and Fe₃O₄ on nitrate reduction using zero-valent iron, *Desalination*, **284**: 9-13.

Gerı Kazanılan Asfalt Kaplamaların Sıcak Asfalt Karışımlarda Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Şeref ORUÇ¹, Bahadır YILMAZ^{2*}, Mehmet Salih MAZLUM³

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon

²Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bayburt

³İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yol Bakım ve Onarım Müdürlüğü, İstanbul

*byilmaz@bayburt.edu.tr

(Geliş/Received: 12.07.2017; Kabul/Accepted: 04.10.2017)

Özet

Dünyanın birçok yerinde atık kanun ve yönetmeliklerinin devreye girmesiyle birlikte, atık yönetimi kanuni bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu amaçla asfaltın yeniden kullanımından kaynaklanabilecek ekonomik avantajlar, mevcut agrega kaynaklarının gün geçtikçe tükenmesi ve yeni agrega kaynak arayışları, artan üretim maliyetleriyle birlikte atık asfalt malzemelerin asfalt kaplamalarda yeniden kullanılabilmesinin düşünülmesi, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de geri kazanım uygulamalarının geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Bu kapsamda, ekonomik değeri yüksek olan ömrünü tamamlamış asfalt kaplamaların yollardan kazınarak, bitümlü sıcak karışımlarda yeniden kullanılabilirliğini araştırmak üzere bu çalışmaya girilmiştir. Çalışmada öncelikle Dünyada ve Türkiye’de uygulanan asfalt geri dönüşüm yöntemleri incelenmiş ve geri dönüşümün avantajları değerlendirilmiştir. Çalışma alanı olarak İstanbul bölgesinde bulunan ve ekonomik ömrünü tamamlamış asfalt kaplamalar kazınmak suretiyle çalışmaya esas malzeme elde edilmiştir. Bu malzemelerden değişik oranlarda (%10, %25 ve %40) hazırlanan kaplama karışım numuneleri üretilmiştir. Bu karışım numunelerine Marshall deneyleri uygulanmış, yoğunluk ve boşluk analizleri yapılmış, elde edilen bulgular geri dönüşüm içermeyen numunelerle ve sahadan alınan karot numunelerle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geri Dönüşüm, Geri Kazanılmış Asfalt (RAP), Bitümlü Sıcak Karışım, Marshall Yöntemi

Investigation of Reuse by Recycling Asphalt Pavements in Hot Mix Asphalt

Abstract

In many countries of the world, waste management becomes compulsive with activation of laws and agreements about waste control. By this purpose, it becomes necessary and imperative to use waste asphalt materials as raw material for the new asphalt pavement due to economic advantages of using old materials, decreasing of the raw material’s potential, and problems of researching new asphalt raw mines and increasing of the asphalt pavement cost. Within this scope, this work has started to a research of re-used old materials which are completed their economic life on the road in the hot bituminous mixes. In this work, recycling methods that are used in World and Turkey are analyzed at the beginning and the advantages of recycling are utilized. İstanbul region is chosen as the working area and materials are gained by the roads that completed their economic life in İstanbul. By these materials, new coverable mix materials had produced in different ratios such as 10%, 25% and 40%. Marshall Experiment had used to these mixtures, intensity and void analyses are made and the results that obtained from experiments are compared with the pure materials and the core samplers.

Keywords: Hot bituminous mixture, Marshall Test, Recycle Asphalt Pavement (RAP), Recycling

1.Giriş

Bozulmuş veya ömrünü tamamlamış asfalt kaplamaların yol yüzeyinden kazınarak yeni yapılacak sıcak asfalt karışımlarda yeniden kullanılmasına geri dönüşüm (recycling) adı verilmektedir. Kazınarak geri kazanılan

malzemenin yeni yapılacak kaplama tabakalarında kullanılması, kaynaklarımızın hem teknik hem de ekonomik anlamda daha verimli kullanılması açısından son derece önemlidir. Her geçen gün daha da genişleyen ülkemiz karayolu ağı, gelecek dönemlerde üstyapı iyileştirme faaliyetlerinin yoğun bir şekilde gündeme

geleceğine işaret etmektedir. Kazınmış eski asfalt kaplama tabakalarının içerisinde bulunan ekonomik değeri yüksek bitüm ve agreganın yeniden yol yapımında kullanılması maliyetleri oldukça azaltacağı gibi çevrenin korunmasına da büyük oranda katkı sağlayacaktır [1, 2].

Dünyada her yıl yaklaşık 1.5 milyar ton asfalt karışım üretimi için 1.425 milyar ton agrega ve 75 milyon ton bitüm tüketilmektedir. Diğer taraftan asfalt kaplama yolların yenilenmesi sırasında sökülen asfalt yığınları da doğaya terk edilmektedir. Sökülmüş asfalt kaplamaların geri kazanılarak ekonomik değere dönüştürülmesi mümkündür [3].

Gelişmiş ülkelerde hem ekonomik hem de çevresel nedenlerden yeni üretilen asfalt karışıma katılan kazınmış asfalt kaplamalar, ülkemizde ya atılmakta ya da ekonomik değerinin çok altında değerlendirilerek asfalt kaplamaya dönüştürülmeden köy yollarında stabilize malzemesi olarak kullanılmaktadır [4].

Modernleşmeyle birlikte ortaya çıkan fazla miktardaki atıkların çoğu biyoçözünür olmadığından çevre kirliliğine ve atık krizine neden olmaktadır. Endüstriyel gelişmeye paralel olarak artan üretim ve bunun sonucu ortaya çıkan çok farklı endüstriyel katı atıkların denetlenmesi, yönetimi ve bunlardan ekonomik değeri olan ürünlerin üretilmesi, tüm dünyada üzerinde önemle durulan ve yoğun çalışılan alanlardan birisidir [5, 6].

Bu çalışmada, ekonomik değeri çok yüksek olan ve kazınarak tekrar geri kazanılan asfalt kaplamaların (RAP) yeni asfalt karışımlarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yollardan kazınan eski asfalt kaplamalar (eski bitüm ve eski agrega) %10, %25 ve %40 oranlarında binder tabakası olarak tasarlanan karışıma katılmak suretiyle üç farklı RAP içeriğinde karışım numuneleri üretilmiştir. Elde edilen karışım numunelerine Marshall deneyleri uygulanmış ve numunelerin yoğunluk-boşluk analizleri yapılarak elde edilen sonuçların şartname aralıklarında olup olmadıkları kontrol edilmiştir. Sonrasında, normal ve bahsi geçen RAP içeriklerinde asfalt plentinde üretilen karışımlar, uygulama sahasına binder tabakası olarak serilmiştir. Serilen tabakalardan karot örnekleri alınarak Marshall stabilite deneyi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar RAP içermeyen karışımlar ile karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Geri kazanılan asfalt kaplama (RAP)

Çalışmada B 50/70 penetrasyon dereceli bitüm kullanılmıştır. Kullanılan bitüm ve geri dönüşümden elde edilen asfaltın elementer analizleri Tablo1'de verilmiştir. Kullanılan bitüm ile RAP içerisindeki bitümün kimyasal kompozisyonlarının birbirine benzer olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Bitüm numunelerinin kimyasal kompozisyonu

Element	Kütle Yoğunluk (%)	
	B 50/70 Bitüm Numunesi	RAP İçerisindeki Bitüm Numunesi
Karbon	84.71	81.27
Hidrojen	9.663	9.417
Sülfür	3.390	3.497
Oksijen	-	-
Nitrojen	0.54	0.54

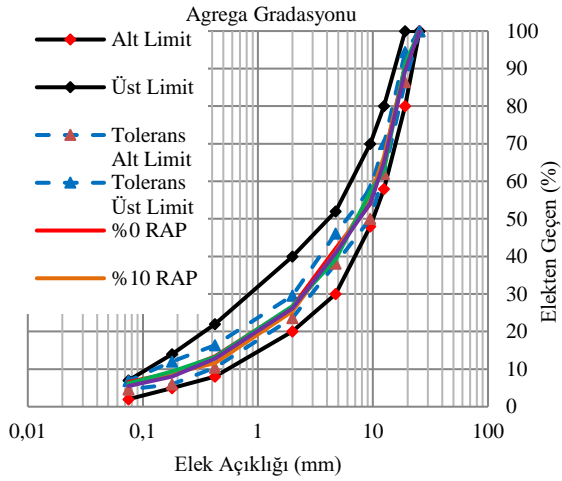
Ekonomik ömrünü tamamlamış asfalt kaplamalar kazınarak, Karayolları Teknik Şartnamesi (KTS) binder tabakasına [7] göre dizayn edilen sıcak asfalt karışımına %10, %25, %40 oranlarında ayrı ayrı katılmıştır. Bu işlem öncesinde, kazınmış olan geri dönüşüm asfalt kaplamasının bitüm oranı ve gradasyonu belirlenmiştir. Kazınan asfalt kaplamaların içerdiği asfalt miktarının belirlenmesi amacıyla yüksek sıcaklık fırını kullanılmış ve karışım 530°C sıcaklıkta yakılarak agregadan ayrıştırılmıştır. Sonrasında elde edilen agreganın gradasyonu ve asfalt içeriği belirlenmiş olup Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kazınmış asfalt kaplamasının elek analizi ve asfalt içeriği miktarı

Elek	Boyutu mm	No:							
		3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	80	200
Geçen	%	100	90.0	84.2	64.4	40.2	18.3	12.4	9.0
Asfalt İçeriği									
(%)= ((Son Tartım-İlk Tartım) /İlk Tartım)*100=%3.85									

2.2. Marshall Tasarımı

Geri kazanılmış asfalt ile geri dönüştürülmüş asfalt karışım üretilirken karışım dizaynlarında agrega ve bağlayıcı yüzdesi önemli kriterlerdendir. Tablo 2’de verilen kazanılmış asfalt kaplama içindeki agrega ve bitüm oranları dikkate alınarak yeni karışıma ilave edilen agrega ve bitüm miktarları belirlenmiştir. Normal ve RAP kullanılarak üretilen binder tabakalarının agrega gradasyon eğrileri Şekil 1’de verilmiştir. Belirlenen agrega gradasyon eğrisine göre Marshall tasarımı yapılmıştır. Her bir karışım için üçer briket olmak üzere toplam on iki adet numune üretilmiştir.



Şekil 1. Katkısız ve RAP kullanılarak üretilen binder tabakalarının agrega gradasyon eğrileri

3. Bulgular

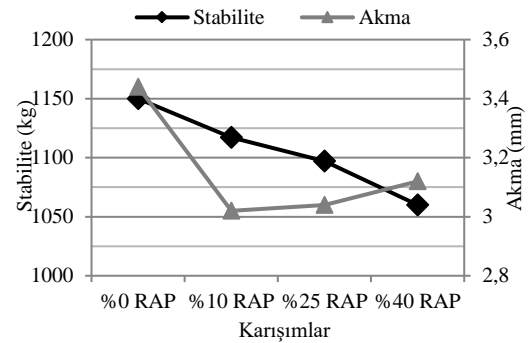
3.1. Marshall deney sonuçları

Hazırlanan karışımlara ait Marshall stabilite deney sonuçları [8] Tablo 3 ve Şekil 2-8’de verilmiştir.

Tablo 3. Karışımlara ait Marshall stabilite deney sonuçları

Özellikler	Binder Tabakası				Şartname Değerleri
	Deney Sonuçları				
	%0 RAP	%10 RAP	%25 RAP	%40 RAP	
Bitüm %'si	4.27	4.10	4.49	4.34	3.5 – 6.5
Birim Ağırlık (gr/cm ³)	2.421	2.418	2.415	2.404	-

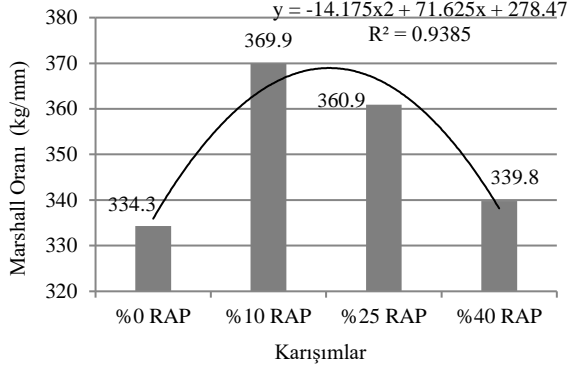
Boşluk %'si	4.28	4.71	4.28	4.94	4 – 6
Bitümle Dolu Boşluk %'si	67.18	63.9	68.38	63.92	60 – 75
Stabilite (kg)	1150	1117	1097	1060	Min. 750
Akma (mm)	3.44	3.02	3.04	3.12	2 – 4
Agregalar Arası Boşluk %'si (VMA)	13.35	13.03	13.5	13.69	Min. 13
Kaba Agreganın Özgül Ağ. (gr/cm ³)	2.684	2.684	2.684	2.684	-
İnce Agreganın Özgül Ağ. (gr/cm ³)	2.629	2.629	2.629	2.629	-
Fillerin Özgül Ağ. (gr/cm ³)	2.776	2.776	2.776	2.776	-
Agrega Efektif Özgül Ağ. (gr/cm ³)	2.699	2.699	2.699	2.699	-
Bitümün Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	1.023	1.023	1.023	1.023	-
Maksimum Teorik Özgül Ağırlık	2.529	2.537	2.523	2.528	-
Tokmak Sayısı	75	75	75	75	75
Sıkıştırma Sıcaklığı (°C)	135	135	135	135	-



Şekil 2. Marshall stabilite-akma grafiği

Stabilite değerlerinin KTŞ'ye göre binder tabakası için minimum 750 kg olması gerekmektedir. Şekil 2’de görüleceği üzere tüm numuneler için stabilite kriteri sağlanmakla beraber katkı miktarının artmasıyla stabilite değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Katkısız karışıma göre %10, %25 ve %40 RAP içerikli

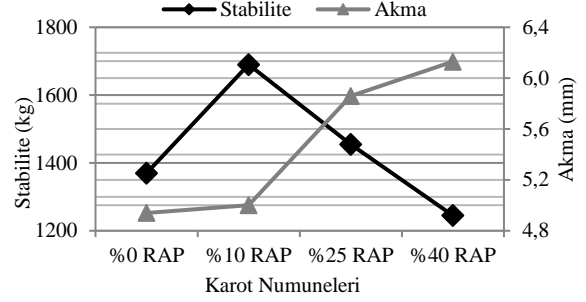
karışımlarda stabilite değerlerinde sırasıyla %2.86, %4.61 ve %7.83 oranlarında azalma olmuştur. Bu azalma yaşlanmış bitüm oranının artmasından ileri gelmektedir.



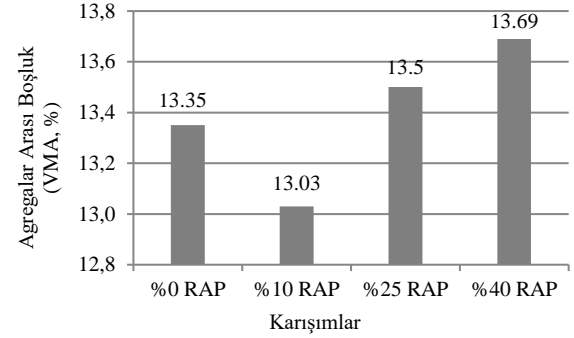
Şekil 3. Marshall oranı değerleri

Marshall oranı (Marshall Stabilite/Akma, kg/mm) malzemenin servis süresi boyunca kalıcı deformasyonlara karşı direncini gösteren bir parametredir. Karışımlardaki RAP içeriğinin artmasıyla, Marshall oranı değerleri artmış ve Şekil 3’de grafik olarak gösterilmiştir. En yüksek Marshall oranı değerine %10 RAP içeriğiyle modifiye edilen karışımda ulaşılmış ve bu karışım için tekerlek izi direnci, normal karışıma oranla %10.65 oranında artış göstermiştir. Bu durum stabilitedeki azalmaya rağmen akma değerlerinin normal karışıma göre daha düşük olmasından kaynaklanmıştır.

Şekil 4’te uygulama sahasından alınan karot numunelerinin stabilite ve akma değerleri verilmiştir. Karot numunelerinin stabilite değerleri, laboratuvar ortamında üretilen briket numunelerine göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, tekrarlı yükler altında kaplamanın ilave bir sıkışmaya maruz kaldığını göstermektedir. Akma değerlerinde oluşan artış ise aynı şekilde tekrarlı yüklerden dolayı kaplama yüzeyinde tekerlek izi oluşma ihtimalinin RAP içeriği artışına bağlı olarak artabileceğini göstermektedir.

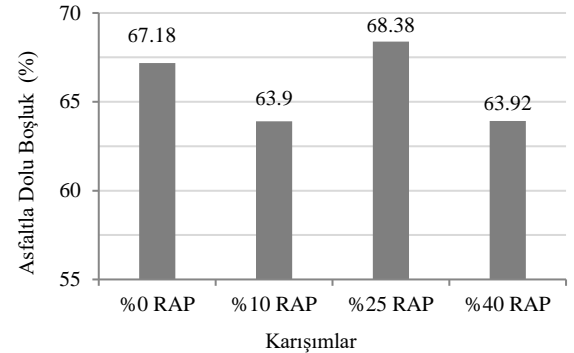


Şekil 4. Karot numunelerinin Marshall stabilite-akma grafiği



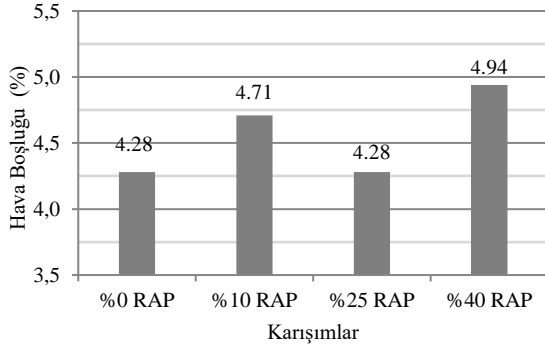
Şekil 5. Karışımların agregalar arası boşluk değerleri

Agregalar arası boşluk yüzdesinin KTŞ’ye göre binder tabakası için minimum %13 olması gerekmektedir. Sadece %10 geri dönüşümlü karışım için bu değer sınır değere yakın çıktığı Şekil 5’te görülmektedir.



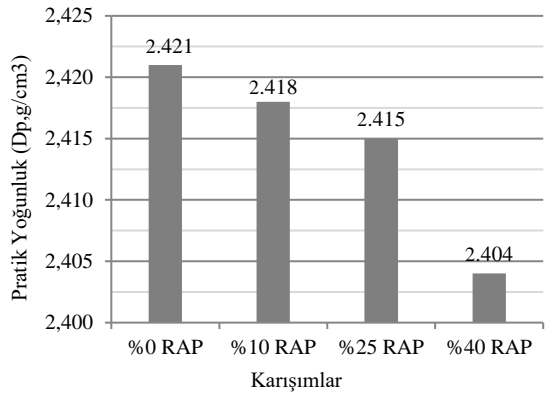
Şekil 6. Karışımların asfaltla dolu boşluk değerleri

Asfaltla dolu boşluk yüzdesinin KTŞ’ye göre binder tabakası için minimum %60-75 aralığında olması gerekmektedir. Tüm karışımlar için şartname kriterlerinin sağlandığı Şekil 6’da görülmektedir.



Şekil 7. Karışımların hava boşluğu değerleri

Boşluk miktarı, karışıma katılan RAP içeriğiyle birlikte genel olarak artmıştır. Bu durumun, şartname kriterleri ve karışımın fiziksel özellikleri bakımından bir sorun teşkil etmediği Şekil 7’de görülmektedir.



Şekil 8. Karışımların pratik yoğunluk değerleri

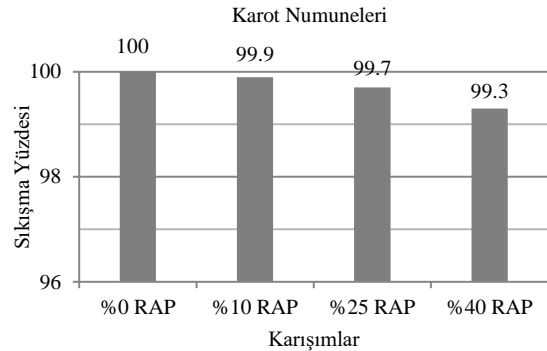
RAP içeriğinin artışıyla birlikte karışımların pratik yoğunluk değerleri azalmış olup, Şekil 8’de sunulmuştur. Bu azalma katkısız karışıma göre, %10, %25 ve %40 RAP içeriğinde sırasıyla %0.12, %0.25 ve %0.70 oranlarında olmuştur.

3.2. Kaplamadan Alınan Karot Numunelerinin Marshall Deney Sonuçları

Yola serilip sıkıştırılmış asfalt tabakasından alınan karot numunelerinin yoğunlukları ve sıkışma yüzdeleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Karot numunelerinin sıkışma yüzdeleri

Asfalt	Briket Yük. (mm)	Havadaki Ağırlık (gr)	Doygun Yüzey Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Pratik Yoğunluk (gr/cm ³)	Dizayn Yoğunluğu (g/cm ³)	Sıkışma Yüzdesi
%0 RAP	70.3	1261.8	1262.3	733.6	528.7	2.421	2.420	100
%10 RAP	62.8	1140.8	1142.1	657.5	484.6	2.418	2.420	99.9
%25 RAP	73.7	1376.4	1377.1	802.8	574.3	2.415	2.420	99.7
%40 RAP	62.4	1130.3	1133.6	655.9	477.7	2.404	2.420	99.3

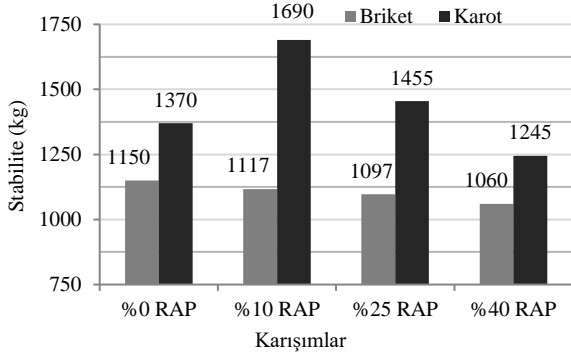


Şekil 9. Karotların sıkışma yüzdelerinin karşılaştırılması

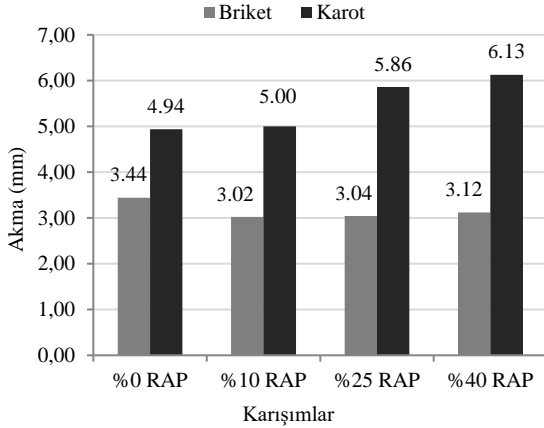
Karayolları Teknik Şartnamesine göre minimum %96 olması gereken sıkışma yüzdelerinin, şartnameye göre yeterli düzeyde olduğu Tablo 4 ve Şekil 9’da görülmektedir.

Yola serilip silindire sıkıştırıldıktan sonra asfalt tabakasından alınan karot numunelerinin ve laboratuarda üretilen briketlerin stabilite ve akma değerleri birbirleriyle kıyaslanmış olup Şekil 10 ve Şekil 11’de verilmiştir. Karot

numunelerinin stabilite değerleri briketlere oranla daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, trafik yükü altında kaplamanın ilave bir sıkıştırmaya maruz kaldığını göstermektedir. Karot numunelerinin stabilite değerindeki en çok artış %10 RAP içeriğinde, katkısız karot numunesine göre %51.3 oranında olmuştur. Karot numunelerinin stabilite değerlerindeki artışla orantılı olarak akma değerlerinde de artış meydana geldiği Şekil 11'de görülmektedir. Akma değerlerindeki bu artış, tekrarlı trafik yükleri altında kaplama yüzeyinde tekerlek izi oluşma ihtimalinin yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 10. Karot ve briket numunelerinin stabilite değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 11. Karot ve briket numunelerinin akma değerlerinin karşılaştırılması

4. Sonuçlar

Doğal kaynakların giderek tükenmekte olduğu ülkemizde, yeni agrega kaynak arayışları ve petrol türevi olan bitüm için dışa bağımlılık, ekonomik değeri yüksek olan yollardan kazınan kaplamaların sıcak asfalt karışımlarda yeniden

kullanılabilirliğinin araştırılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Bu kapsamda, üç farklı oranda geri dönüşümü sağlanmış asfalt içeren sıcak asfalt karışımların laboratuvar ve saha sonuçlarıyla birlikte ortaya konulmasını esas alan bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

Stabilite değerlerinin, RAP içeriği arttıkça azaldığı ancak bu azalmanın çok önemli düzeyde olmadığı ve elde edilen kazanım dikkate alındığında söz konusu azalmanın makul düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

RAP içeriği arttıkça normal karışıma göre akma değerlerinin, arttığı belirlenmiştir.

Marshall oranı değerleri dikkate alındığında %10 RAP kullanımının tekerlek izi dayanımını en çok artıran katkı içeriği olduğu ve katkısız karışıma göre %10.65 oranında bir artış sağladığı tespit edilmiştir.

Boşluk miktarının karışıma katılan geri dönüşüm malzemesi miktarına bağlı olarak artmasının beklenen bir sonuç olduğu, bu durumda şartname kriterleri ve karışımın fiziksel özellikleri bakımından bir sorun teşkil etmediği görülmüştür.

Karot numunelerinin akma değerleri normal karışım da dahil olmak üzere şartname üst sınır değerini aşmıştır. Kaplama tabakası silindirle sıkıştırıldığından laboratuvar ortamında sıkıştırılan numunelere kıyasla daha fazla bir sıkışmaya uğramıştır. Bu sıkışma kaplamanın stabilite değerinde artış meydana getirmekle birlikte akma değerinde de artışa neden olmuştur.

5. Kaynaklar

1. Güngör, A.G., Orhan, F., Kaşak, S. ve Dost, Y. (2008). Kazılmış asfalt kaplamaların yeniden kullanımı, *Karayolu 1. Ulusal Kongresi (1-3 Nisan)*, Ankara.
2. Salta, İ. (2010). Bitümlü sıcak karışımların geri dönüşüm yöntemlerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
3. Kaya, B., (2011). Bitümlü karışımların geri dönüşümü çevresel etkileri ve maliyet analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
4. Asfaltta Geri Dönüşüm (2009). İsfalt, İstanbul Büyükşehir Belediyesi.

5. Imbert, T., (2009). Burgeap Ekök Direktifi Genel Sunumu, REC Türkiye web sitesi - Orta ve Doğu Avrupa İçin Bölgesel Çevre Merkezi (REC).
6. Hassan, K.E., Sanders, P.J. and Nicholls, J.C. (2004). Development of asphalt and concrete products incorporating alternative aggregates, PR CPS/08/04, PII Reference: F-02-TAR1, Project Report.
7. Karayolu Teknik Şartnamesi (2013). Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
8. Mazlum, M. S. (2014). Ekonomik ömrünü tamamlamış asfalt kaplamaların kazınarak bitümlü sıcak karışımlarda yeniden kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

FBMC-QAM Yöntemiyle MIMO Alıcı Tasarımı

Bircan KAMIŞLIOĞLU, Ayhan AKBAL

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ
bkamislioglu@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 20.07.2017; Kabul/Accepted: 24.10.2017)

Özet

Gelecek nesil haberleşme sistemlerinde yüksek veri hızı gereksinimi, haberleşme sisteminin kalitesi ve yüksek iletim kapasitesi temel problemler olarak görülmektedir. Filtre bankası tabanlı çok taşıyıcılı (FBMC) modülasyon kaydırılmış karesel modülasyon (QAM) ile birlikte uygulandığında literatürde sıklıkla kullanılan dikgen frekans bölmeli çoğullamaya (OFDM) göre daha yüksek avantajlar sağladığından araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Önerilen FBMC-QAM modülasyon yöntemi FBMC-OQAM ve OFDM ile bit hata oranı (BER) bakımından karşılaştırıldığında benzer davranış sergilerken sayısal sonuçlar performanslarının neredeyse aynı olduğunu göstermektedir. Bu çalışma OFDM, FBMC-QAM, çok girişli çok çıkışlı modülasyonun (MIMO) iletim yapısı ve kanal tahmin işlevinin aynı mantıkta olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca MIMO alıcı tasarımı sıfır zorlama (ZF), ortalama karesel hata (MMSE), maksimum benzerlik (ML) gibi tekniklerle gerçekleştirilmektedir. Sonuçta çeşitli algoritmalar kullanılarak MIMO alıcı metotları SER-SNR oranına ve hesaplama süresine göre değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler : OFDM; Modülasyon; Demodülasyon; FBMC; MIMO alıcı.

MIMO Receiver Design with FBMC-QAM

Abstract

High data rate, better quality of communication system and higher transmission capacity through wireless channel are general problem of next generation communication systems. Filter bank based multicarrier (FBMC) modulation with offset quadrature amplitude modulation (OQAM) makes researchers interested due to its advantages over orthogonal frequency division multiplexing (OFDM). The proposed FBMC-QAM system matched to the FBMC-OQAM and OFDM system with regard to bit error rate (BER) performance and numerical results indicated their performance are almost the similar. The paper indicates that OFDM, FBMC-QAM, multiple-input multiple output (MIMO) transmission layouts and channel estimation layouts study same logic. Also MIMO receiver design is realized for FBMC such as ZF, MMSE, ML techniques. Finally, FBMC-QAM and OFDM is compared about magnitude response, amplitude of subcarriers in frequency and BER performance and MIMO receiver techniques are compared about SER to SNR.

Keywords : OFDM; Modulation; Demodulation; FBMC; MIMO receiver.

1. Giriş

Kablosuz haberleşme sistemleri birçok uygulamada popüler bir teknoloji olan OFDM'i (Orthogonal Frequency Division Multiplexing-OFDM) kullanmaktadırlar [1-7]. Son yıllarda filtre tabanlı çoklu taşıyıcılı yapılar geliştirilmiş ve OFDM'e alternatif olmuştur. Birçok uygulamada OFDM'i uygulayabilmek için ön ek (Cyclic Prefix-CP) pratik çok yollu gecikmeli bir kanal için gereklidir. OFDM'in aksine FBMC (Filter Bank Based Multicarrier-FBMC) CP'ye ihtiyaç duymaz. FBMC, geleneksel CP-OFDM yapısı ile karşılaştırıldığında FBMC

yapısındaki koruma bandının dar olması OFDM'e göre avantaj sağlamaktadır. Özellikle spektral performansta artış sağladığı görülmektedir [8]. Ayrıca darband iyi durdurma bandı zayıflaması girişim ve kanallar frekans uzayında ardışık darbeler arasında örtüşme olmasından dolayı FBMC girişim bozulması içermektedir. Ek olarak örtüşme etkisiyle iletilen sinyal zaman düzleminde çoklu FBMC semboller üretmektedir. Böylece iletilen sinyalde, literatürde gerçek girişim olarak bilinen semboller arası girişim gözlenir. Gerçek değerli sembollerini kullanarak demodülasyon yapan geleneksel FBMC yapısında OQAM (Offset

Quadrature Amplitude Modulation-OQAM) komşu darbelerin dikgenliğini sağlar [9]. Fakat OQAM tabanlı FBMC yapısı mevcut gerçek girişim nedeniyle geleneksel MIMO (Multiple-Input Multiple Output-MIMO) teknikleriyle birlikte çalışmaya uygun değildir [10-14]. Bu nedenle QAM tabanlı FBMC sistemi, OQAM yapısındaki sınırlamaları yok ettiği için ve QAM sembolleri kullanarak yeni bir prototip filtre tasarlandığı için araştırmacılara çekici gelmeye başlamıştır. QAM-FBMC yapısı OQAM-FBMC yapısının eksikliklerinin üstesinden gelmek için QAM sembollerinin iletiminde kullanılmaktadır. QAM sembolleri arasına yerleştirilmiş boş veriler FBMC sistemindeki sembol atama tasarımında gerçek girişimi artırır. Ancak alıcı yüksek karmaşıklıkta olur ve yüksek artık girişimden dolayı bit hata oranı (Bit Error Rate-BER) performansı düşmektedir [15].

Kompleks düzlemde iki farklı prototip filtreyle dikgenlik şartını sağlamak için tek ve çift alt taşıyıcılardan yararlanır. Bu metod yardımıyla herhangi bir zayıflama ve CP eklenmediğinden BER performansında azalma olmaksızın QAM semboller elde edilebilir. QAM sembol iletiminde iki farklı prototip filtre kullandığımızda geleneksel QAM-FBMC yapısındaki prototip filtrenin yan lob zayıflaması ve zaman düzlemindeki düzgün cevabından dolayı OFDM'den önemli ölçüde yüksektir. Bu nedenle QAM-FBMC için yan lob bakımından daha iyi şartlarda olan yeni bir prototip filtre sağlanmalı ve pratik çalışmalarda BER bakımından güvenli performans sağlanmalıdır [16]. Bu çalışmada OFDM ve FBMC için filtre tasarımı önerilmiştir. Bölüm 2'de OFDM tekniği tanıtılmış ve OQAM-FBMC yapısı ile QAM-FBMC yapısı Bölüm 3'de açıklanmıştır. OFDM ve FBMC için gerçekleştirilen Matlab uygulamaları Bölüm 4'de gösterilmiştir. Son olarak Bölüm 5'de elde edilen sonuçlar verilmiştir.

2. OFDM

2.1. OFDM ve Dikgenlik

OFDM modülasyon tekniğinde alt taşıyıcılar birbirlerine göre dikgen olarak kullanılırlar. Dikgenlik frekans düzleminde alt taşıyıcılar arasındaki örtüşmenin üstesinden gelir. Band

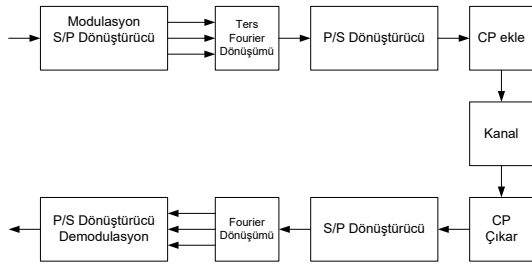
genişliği etkinliği modülasyonun doğruluğunu ortaya koyar ve bu işlem literatürde band genişliği etkinliği (spektral etki) olarak tanımlanmaktadır. Band genişliği etkinliğinin başarılması OFDM'in dikgenlik özelliğinin kullanılmasından dolayı taşıyıcılar arası girişimden bağımsızdır [17].

2.2. Temel OFDM Sistemi

Şekil 1'de OFDM blok yapısı gösterilmektedir. OFDM tekniğinde yüksek veri hızına sahip olan giriş sinyali düşük hızdaki veri sembollerine dönüştürülür. Düşük veri hızındaki semboller blok yapıda gösterildiği gibi paralel olarak OFDM modülasyon tekniği ile iletilir. Daha sonra ters fourier dönüşüm (Inverse Fast Fourier Transform-IFFT) bloğu bu paralel sinyali giriş olarak alır. Modülasyon bloğundaki veri kanal tarafından alınmadan önce veriyi frekanstan zamana dönüştürür. Veriyi kanaldan almadan önce koruma aralığı olarak bilinen CP araya yerleştirilir ve alıcıda modülasyonun tersi adımlar uygulanır [18].

İkili kaynak üretici sayısal giriş verisini, ikili veriyi modüle etmek için kullanılan BPSK, QPSK, QAM gibi birkaç farklı yöntemle üretir. Kanaldaki gecikme ile ilgili problemler IFFT blok diyagramında görüldüğü gibi frekanstan zaman düzlemine geçerken meydana gelir. Bu nedenle ISI/ICI gibi problemlerin üstesinden gelmek için sembole CP eklenir. Sembolleri kanala göndermeden önce ilk olarak zaman düzleminde belirlenen uzunlukta OFDM sembolleri hazır bulunacaktır. Daha sonra modülasyonda yapılan işlemlerin tersi uygulanır. Böylece alıcının çıkışından OFDM sinyali elde edilmiş olur. Bütün çok taşıyıcı modülasyon teknikleri arasında, en yaygın modülasyon çeşidi çok yollu sönümlemeli kanalı basit ve durağan yapan CP eklenmiş OFDM'dir. Buna rağmen CP eklemek spektral etkinin azalmasına yol açacaktır. Ayrıca dikkörtgen darbeleri izleyen geniş yan lob seviyeleri nedeniyle OFDM'de yakınlık spektrumu görülmemektedir. Spektral etkinin aşırı azalmasını önlemek için frekans düzlemine komşu taşıyıcılarla örtüşmeyi yok edecek boş alt taşıyıcılar eklenir. Bu dezavantajlardan kurtulmak için ve OFDM'e alternatif bir yaklaşım olarak FBMC yapısı kullanılır [19]. Literatürde farklı birçok yapıya

dayandırılan FBMC yapısı gözlemlenebiliriz[20]. OFDM/OQAM yapısı Saltzberg tarafından QAM sembollerinin faz ve dördün bileşenlerinin periyodun yarısı sürede kaydırılmasıyla elde edilmiştir. Dolayısıyla komşu alt taşıyıcılar arasındaki bit hızında başarı sağlamak mümkün olup bilgi sembolü içermeyen taşıyıcılar arası girişim ve semboller arası girişim hala mevcuttur. Bu yüzden her kaydırılmış QAM (OQAM) alt taşıyıcı modüle edilir ve dikgenlik şartları reel düzlemde sağlanmış olur [21]. Aslında alıcı tarafta veri, sinyalin sadece reel ya da imajiner bileşenleri ile taşınır, bu reel veya imajiner bileşenleri girişim terimi olarak kabul edebiliriz. Hirosaki bu modülasyon tekniğinde etkili bir uygulamayı ayrık fourier dönüşümü (Discrete Fourier Transform-DFT) ile gerçekleştirmiştir [22].



Şekil 1. OFDM blok diyagram

3. FBMC-OQAM Yapısı

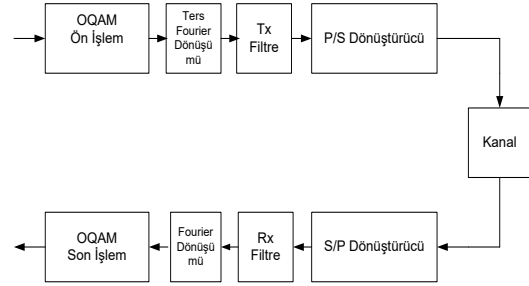
Son zamanlarda farklı senkronizasyon ve denkleştirme metotlarıyla geliştirilen FBMC modülasyon yapısına araştırmacıların yoğun ilgisi oluşmuştur. Fakat gelişmelerin çoğu tek taşıyıcılı (Single Input Single Output-SISO) uygulamaları içermektedir. Denklem 1, FBMC-OQAM yapısının ayrık zamanda iletilen sinyal formülasyonunu göstermektedir.

$$s[m] = \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{n \in \mathbb{Z}} a_{k,n} g[m - nM/2] e^{j \frac{2\pi}{M} k(m - \frac{D}{2})} e^{jQ_{k,n}} \quad (1)$$

Denklem 1’de çift alt taşıyıcıların sayısı M , reel düzlemde prototip filtre $g[m]$ ile gösterilmiştir. $D/2$ gecikme terimi $g[m]$ prototip filtresinin L_g uzunluğuna ilave edilmiştir. Bu seçimden sonra örtüşme faktörü K için $D = KM - 1$ ve $L_g = KM$ eşitlikleri elde edilir. $a_{k,n}$ verinin reel ya da imajiner parçası olan QAM sembolleriyle iletilen sembolleri

tanımlamaktadır. $Q_{k,n} = \pi 2(n+k) - \pi nk$ ifadesinde faz kaymasını ifade eden terimler bulunmaktadır. Denklem 1 bu kabullerin ardından Denklem 2 şeklinde ifade edilebilir.

$$s[m] = \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{n \in \mathbb{Z}} a_{k,n} g[m] \quad (2)$$



Şekil 2. OQAM FBMC blok diyagramı

OQAM-FBMC yapısı verici ve alıcı tarafta reel değerli sembollerin modülasyonunda çalıştığı için sonunda kompleks değerli sembolleri reel değere ve reel değerli sembolleri kompleks değerli sembollere dönüştürmek amacıyla OQAM ön işlem (pre-processing) ve son işlem (post-processing) olarak Şekil 2’de gösterilen adımları sırayla gerçekleştirir. OQAM-FBMC, prototip filtre darbe şekli ve OQAM sembollerin reel değerli olmasıyla dikgenliği garanti altına alır. Kanallın ideal olduğu durumda, alıcıda m alt taşıyıcı sayısı, k zaman sabiti olmak üzere Denklem 3 ile demodüle edilen sinyalin formülü verilmiştir.

$$\begin{aligned} d_{m,k} &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{m=0}^{M-1} d_{m,k} \gamma_{m,k}[n] \gamma_{m,k}^*[n] \\ &= d_{m,k} + \underbrace{\sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_{m,k} \gamma_{m,k}[n] \gamma_{m,k}^*[n]}_{\text{İntrinsic interferen ce}} \end{aligned} \quad (3)$$

Eşitlik 4’te verildiği gibi OQAM-FBMC yapısında gerçek değerli bir sembol iletimi için reel düzlemde ortogonallik şartı elde edilmelidir.

$$R \left\{ \sum_{n=-\infty}^{\infty} \gamma_{m,k}[n] \gamma_{m,k}^*[n] \right\} \quad (4)$$

$$R \left\{ \sum_{n=-\infty}^{\infty} \gamma_{m,k}[n] \gamma_{m,k}^*[n] \right\} = R \left\{ \gamma_{m,k}[n] * \gamma_{m,k}^*[-n] \right\} \quad (5)$$

$$= \delta_{m,m'} \delta_{k,k'} \quad (6)$$

Denklem 4 ve 5 $R\{\cdot\}$ ile kompleks değerli sembollerin reel terimlerini ve $*$ operatörü liner konvolüsyonu ifade etmektedir. Çok yollu sönümlenmeli kanal $h[n]$ ve eklenmiş beyaz Gaussian gürültüsü (Additive White Gaussian Noise-AWGN) $w[n]$ olmak üzere alınan $y[n]$ sinyali Eşitlik 7 ile verilmiştir.

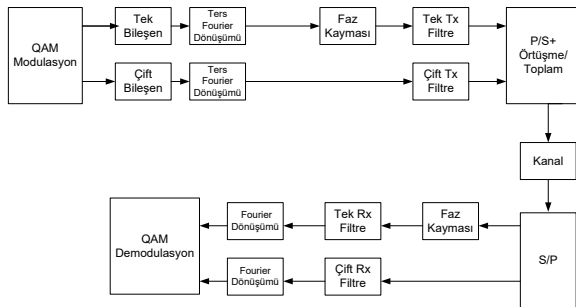
$$y[n] = h[n] * s[n] + w[n] \quad (7)$$

$$\sum_{u=0}^{T-1} h[\tau_u] s[n - \tau_u] + w[n] \quad (8)$$

Denklem 8'de çoklu yol gecikmesi τ_u ve çoklu yol gecikme sayısı T olarak tanımlanmıştır. m alt taşıyıcı k zaman sabiti olmak üzere ICI ve ISI demodüle edilmiş sinyalde mevcuttur. Eğer alıcıda kanal durum bilgisi (Channel State Information-CSI) iyi biliniyorsa sıfır zorlama denkleştirici (Zero Forcing (ZF) Equalizer) reel değerli sembol iletiminde kullanılır ve kullanılan semboller Denklem 9 ile gösterilir.

$$d_{m,k} = R \left\{ \begin{matrix} r_{m,k} \\ H_m \end{matrix} \right\} \quad (9)$$

Denklem 9'da H_m , $h[n]$ in kanal frekans yanıtını (Channel Frequency Response-CFR) göstermektedir.



Şekil 3. QAM FBMC blok diyagramı

QAM FBMC yapısına ait blok diyagram Şekil 3 ile gösterilmiştir. Tek ve çift filtre olarak adlandırılan iki farklı prototip filtre QAM FBMC'de kompleks sinyal iletiminde kullanılmaktadır. Şekil 2 ve Şekil 3 kıyaslandığında, OQAM-FBMC dikgenliği tek bir darbe şekillendirilmiş prototip filtreye sağlamakta ve ön/son işlem reel değerlerle gerçekleştirilmektedir. QAM-FBMC ise dikgenliği darbe şekillendirilmiş iki prototip filtreye sağlamaktadır.

3.1. ZF Denkleştirici

MIMO sistemler gelecek nesil haberleşme teknolojileri için popüler adaylardır. MIMO sistemde bağımsız veri iletimi uzaysal çoğullama tekniği ile sağlanır. Geleneksel sinyal işleme teknikleriyle veri iletiminde alıcıda en uygun performans sağlayan maksimum benzerlik (Maximum Likelihood-ML) tekniği ya da alt optimal performans sağlayan hesaplama karmaşasını kabul edilebilir performans düşmesiyle azaltmakta olan lineer alıcılar kullanılır. Bu alıcı yapılarının düzgün çalışabilmesi için alıcı tarafından kanal durum bilgisinin bilinmesi gereklidir [23]. Ayrıca kanal frekans yanıtının tersinin hesaplanmasıyla elde edilen ZF (Zero Forcing) denkleştirici MIMO alıcılar için lineer denkleştirme algoritması olarak bilinir. Bu algoritma kanalda gürültü bulunmadığı durumda semboller arası girişimi (ISI) sıfıra indirmekte ve ağırlıklı olarak MIMO sistemlere uygulanmaktadır. Bu durumda ISI gürültüyle kıyaslandığında daha önemliyse avantaj sağlamış oluruz. Kanal matrisi H , gürültü vektörü n , alınan vektör y ve iletilen vektör x olmak üzere Denklem 10 ile alıcıda alınan sinyal formüle edilmiştir.

$$y = Hx + n \quad (10)$$

x vektörünü elde edebilmek için bir denkleştirme matrisi W Denklem 11 ile verildiği gibi geliştirilmelidir.

$$WH = I \quad (11)$$

ZF algılayıcı Denklem 12'deki bazı kısıtlamaları sağlamalıdır.

$$W = (H^H H)^{-1} H^H \quad (12)$$

ZF algılayıcı; düzenleme, girişim geçersizleştirme ve girişim iptali işlemlerini içeren ardışık girişim iptali (Successive Interference Cancellation-SIC) algoritmasıyla birleştirilebilir. SIC algoritması alınan sinyalden gelen girişim bozulmasının sinyalden çıkarılması için kullanılır.

3.2. Minimum Mean Square Error

Ortalama karesel hatayı küçültmek için minimum ortalama karesel hata (Minimum Mean Square Error-MMSE) algoritması kullanılır ve bu yöntem performans kalite ölçümü için yaygın olarak kullanılmaktadır. MMSE denkleştirici ISI bozulmasını tam olarak yok edemez ancak bu yöntem gürültü değerini ve alıcıdaki ISI gücünün etkisini minimuma düşürür. Bilinmeyen rasgele değişken x ve bilinen rasgele değişken y olmak üzere Denklem 13 ile MSE (Mean Square Error) değeri hesaplanmıştır.

$$MSE = E\{(X^{\wedge} - X^2)\} \quad (13)$$

Genellikle MMSE tahmin ediciyi kapalı çevrim formda elde etmek mümkün değildir. Bu yüzden lineer tahmin ediciler gibi MSE minimize edici teknikler bulmalıyız. Lineer MMSE tahmini diğer tüm tahmin edicilerle kıyaslandığında en başarılı tahmin edicidir ve Denklem 14 ile tanımlanmıştır.

$$AY + b \quad (14)$$

Denklem 14'de Y rasgele üretilmiş bir vektör, A bir matris, b bir vektörü sembolize etmektedir. MMSE yaklaşımında Denklem 15 ile verilen amaç fonksiyonunu optimize edecek W katsayılarını elde etmeliyiz.

$$E\{(W_{y-x})(W_{y-x})^H\} \quad (15)$$

W denkleştirme matrisini, H kanal matrisini, n kanal gürültüsünü, y alınan sinyali tanımlamak üzere x vektörünü çözebilmek için W 'yi bilmemiz gerekmektedir. MSE algılayıcı

Denklem 16 ile verilen eşitliği sağlamakta ve ZF'ye benzer şekilde $WH=I$ eşitliğini sağlamalıdır.

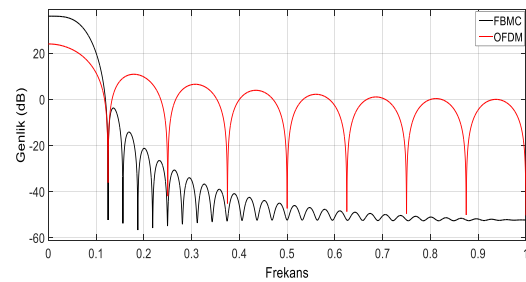
$$W = [H^H H + N_0 I]^{-1} H^H \quad (16)$$

İletilen semboller arasındaki MSE değerini minimuma düşüren MMSE alıcı bir lineer algılayıcı tekniğidir. MMSE algılayıcı hem girişimi hem de gürültüyü azaltmada kullanılır. Bu nedenle MMSE algılayıcı gürültü ve girişimin azaltılmasında kararlılığı başarmaya çalışır. Dolayısıyla kanalda gürültü olduğu durumda MMSE metodu ZF metodundan daha iyi performans gösterir.

MMSE algılayıcı ZF-SIC algoritmasında olduğu gibi üç aşamadan oluşan SIC algoritmasıyla birleştirilir. İlk adımda ağırlık matrisi W 'nin hesaplanması, ikinci adım s değerinin tahmini ve son olarak $N_t-1 > 0$ ise ilk aşamaya geri gidilmesini gerektiren bir akış şemasına sahiptir.

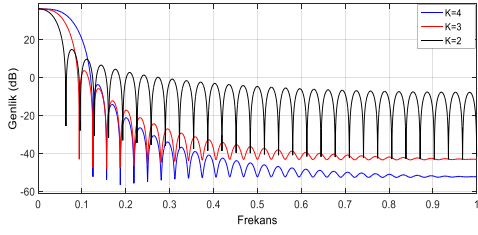
4. OFDM ve FBMC Uygulamaları

Bu bölümde MIMO sistemler için QAM FBMC ve OFDM uygulamalarının performans değerlendirmesi sunulmaktadır. Çalışmamızda veri alt taşıyıcı sayısı 16 ve tasarlanan prototip filtre katsayısı 4 olacak şekilde QAM FBMC ve OFDM için prototip filtre tasarımı önerilmiştir.



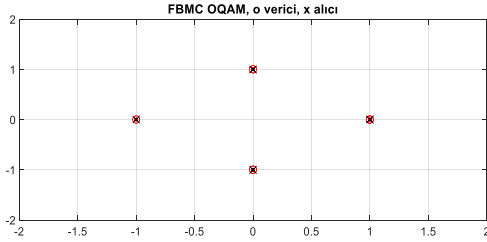
Şekil 4. FBMC ve OFDM genlik yanıtı

QAM FBMC ve OFDM sistemlerine ait genlik yanıtı Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekilden FBMC'deki sönmüleme etkisinin OFDM'den daha fazla olduğu görülmektedir.



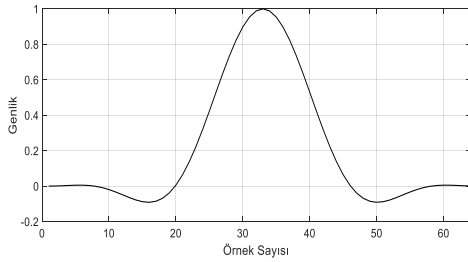
Şekil 5. FBMC genlik yanıtı K=2,3,4

Örtüşme faktörü $K=2,3,4$ için FBMC'in genlik yanıtı Şekil 5'de verilmiştir. $K=2$ için genlik dalgalanması $K=3$ ve $K=4$ ile kıyaslandığında daha yüksektir.



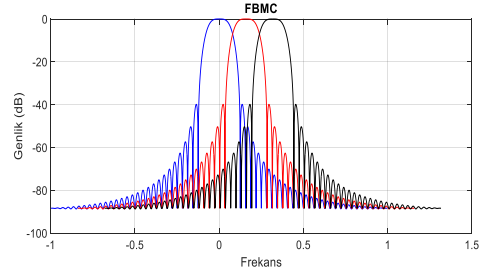
Şekil 6. OQAM FBMC yıldız diyagramı

Şekil 6'da QAM FBMC yapısına ait alıcıdaki ve vericideki sinyallere ait yıldız diyagramı gösterilmiştir.



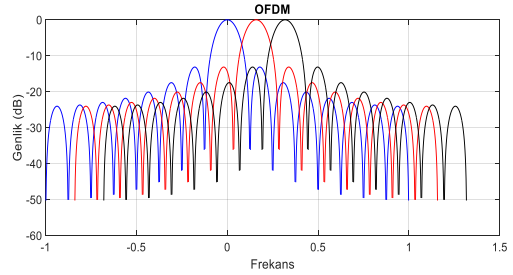
Şekil 7. Darbe yanıtı

FBMC tasarlanan filtrenin impulse yanıtı Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu impuls yanıtı literatürde Phydas prototip filtre olarak bilinir.



Şekil 8. FBMC'in alt taşıyıcıları

Şekil 8, $K=4$ için FBMC'in alt taşıyıcılarını gösterir. Alt taşıyıcılar frekans ekseninde birbirinin kaydırılmış versiyonu olarak elde edilir. FBMC frekans düzleminde simetrik değerler alır ve yan lob zayıflaması OFDM'den daha küçüktür.



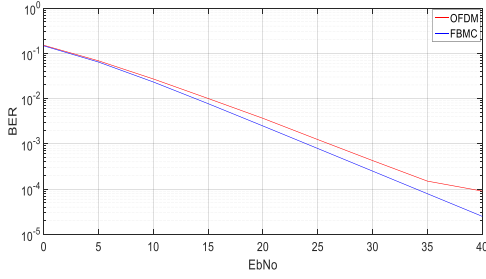
Şekil 9. OFDM'in alt taşıyıcıları

Şekil 9'da OFDM'in alt taşıyıcıları gösterilmiştir. OFDM ile QAM FBMC yapılarını karşılaştırdığımızda FBMC OFDM'e göre daha yüksek genlik kazancı sağlar ve yan lob zayıflaması OFDM'den daha azdır. Bu yüzden OFDM, FBMC yapısından daha karmaşıktır.

Tablo 1. Prototip filtre katsayıları

	h0	h1	h2	h3	h4	h5
K=4	-0.042	-0.414	2.042	4.828	2.042	-0.414
K=3	-0.289	0.177	2.289	3.645	2.289	0.177
K=2	-2,2e-16	1	2	2.414	2	1

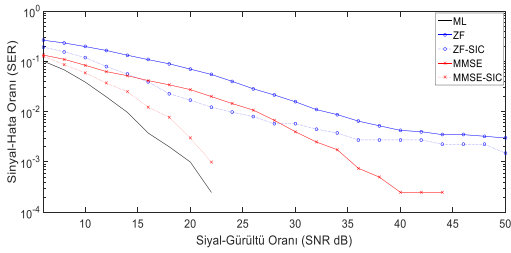
Tablo 1, elde edilen prototip filtrenin katsayılarını alt kanal sayısı $M=2$ ve örtüşme faktörü $K=4,3,2$ olduğu durumlarda göstermektedir. Filtrenin katsayıları $h_0, h_1, h_2, h_3, h_4, h_5$ Matlab ortamında elde edilmiştir.



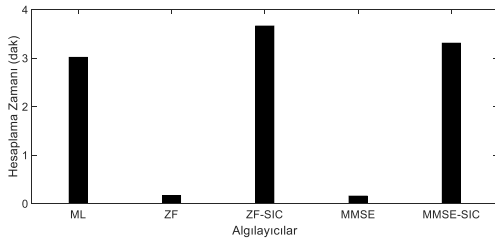
Şekil 10. OFDM ve FBMC performans karşılaştırması (BER/EbNo)

Şekil 10'da verilen OFDM ve FBMC yapılarının performans karşılaştırması, iki sistemin benzer performans sergilediklerini açıklamaktadır. Ancak FBMC'de kullanılan prototip filtre sınırlı frekans aralığı sağlamaktadır.

MIMO sistemler için FBMC ile çeşitli alıcı yöntemleri geliştirilmiştir. Geleneksel ML, ZF, MMSE algılayıcılar ve önerilen ZF-SIC ve MMSE-SIC algılayıcıları sinyal hata oranı (Signal to Error Ratio-SER) bakımından kıyaslanmıştır ve sonuçlar Şekil 11'de gösterilmiştir. Simülasyonlar 100 iterasyon sayısı, alıcı ve vericideki sembol sayısı 10 alınarak 4 antenle gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırmalar ZF-SIC yönteminin geleneksel ZF'den daha iyi performans sağladığını göstermektedir.



Şekil 11. Değişik algılayıcılarla SER-SNR karşılaştırması (4x4 MIMO ve BPSK modülasyon)

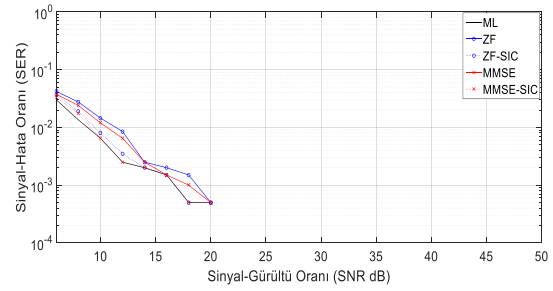


Şekil 12. 4x4 MIMO için değişik algılayıcılarla hesaplama süresi karşılaştırması

Hesaplama zamanı ZF ve MMSE yaklaşımlarında ML, ZF-SIC ve MMSE-SIC ile karşılaştırıldığında daha kısadır. Hesaplama zamanı önemli olduğunda azalan performans gücüyle ZF ve MMSE yaklaşımları tercih edilebilir. 100 iterasyonun sonunda 4x4 MIMO kanalın katsayıları Tablo 2'de verilmiştir.

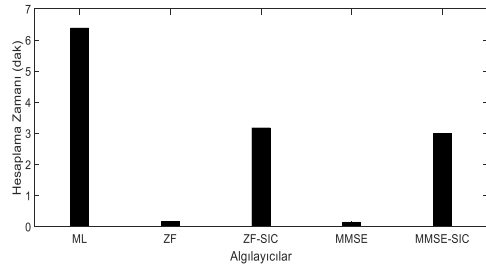
Tablo 2. 4x4 MIMO kanalın katsayıları

0.9071	0.0348	0.8309	-1.3949
-1.3790	0.0604	0.3206	0.6116
0.8541	-0.2833	1.2123	-0.5407
0.1307	-0.2099	-0.1279	-1.1962



Şekil 13. Değişik algılayıcılarla SER-SNR karşılaştırması (2x4 MIMO, BPSK modülasyon)

Şekil 13, verici anten sayısı 4'ten 2'ye düştüğünde MMSE-SIC yaklaşımının 4x4 MIMO'dan daha iyi performans sağladığını göstermektedir.



Şekil 14. 2x4 MIMO için değişik algılayıcılarla hesaplama süresi karşılaştırması

4x4 MIMO uygulamasına benzer şekilde 2x4 MIMO uygulamasında ML, ZF-SIC ve MMSE-SIC'nin ZF ve MMSE ile

kıyaslandığında daha yüksek hesaplama zamanı gerektirdiği Şekil 14’de gösterilmiştir.

Tablo 3. 2*4 MIMO kanalın katsayıları

0.8539	0.0290
2.0105	0.9949
-0.6791	0.1556
0.4497	2.0107

2x4 MIMO uygulaması için 100 iterasyon sonunda elde edilen kanalın katsayıları Tablo 3’de verilmiştir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada gelecek nesil haberleşme sistemlerinin temelini oluşturan ve onlara ışık tutacak olan QAM FBMC ve OFDM sistemleri için kullanılan algılayıcı algoritmalarının kıyaslanması gerçekleştirilmiştir. Alt taşıyıcılar modellenmiş frekans yanıtları şekillerle açıklanmıştır. OFDM’de eklenen CP ekinden dolayı karmaşıklık QAM FBMC’den daha fazladır. Son zamanlardaki gelişmeler MIMO FBMC OQAM yapısını, esnek ve kararlı yapısından dolayı gelecek nesil haberleşme sistemleri için en uygun aday olarak göstermektedir. Ayrıca FBMC yapıları için sunduğumuz MIMO alıcılar SER-SNR bakımından karşılaştırılırken prototip filtrenin katsayıları da farklı örtüşme faktörleri için karşılaştırılmıştır. Yan lob azalması bakımından K=4 için elde edilen sonuçların diğer durumlara göre en uygun olduğu simülasyon sonuçlarıyla sunulmaktadır. Bu çalışma özellikle QAM FBMC ve OFDM sistemlerini tek taşıyıcılı haberleşme sistemleri için önermekte ayrıca QAM FBMC yöntemiyle MIMO alıcı tasarımı yapmaktadır. Gelecekteki çalışmalarda mevcut metotlar çok taşıyıcılı haberleşme sistemleri için geliştirilebilir. Ayrıca çeşitli optimizasyon algoritmalarıyla modülasyonun başarımını artıracak uygulamalar gerçekleştirilebilir.

6. Kaynaklar

1. Lee, S., Gil, G., (2009). Inter-cell resource coordination utilizing macroscopic diversity for an

uplink OFDMA system. IEICE Trans. Commun, 92 (10): 3256–3259.

2. Son, H., Lee, S., (2009). Multi-cell communications for OFDM-based asynchronous networks over multi-cell environments. Wirel. Netw, 15 (7): 917–930.

3. Lee, H., Son, H., Lee, S., (2009). Semi-soft handover gain analysis over OFDM-based broadband systems. IEEE Trans. Veh. Technol, 58 (3): 1443–1453.

4. Jang, U., Lee, H., Lee, S., (2008). Optimal carrier loading control for the enhancement of visual quality over OFDMA cellular networks. IEEE Trans. Multimed, 10 (6): 1181–1196.

5. Oh, T., Lee, S., (2014). Cooperative and joint video multicast over MIMO-OFDM networks Digit. Signal Process, 33, 98–115.

6. Son, H., Lee, S., (2013). Hierarchical modulation based cooperative relaying over a multicell OFDMA network. Wirel. Netw. 19(5), 577–590.

7. Farhang-Boroujeny, B., (2011). OFDM versus filter bank multicarrier. IEEE Signal Process, Mag. 8 (3): 92–112.

8. Bellanger, M., (2010). Physical layer for future broadband radio systems. Proc. Radio and Wireless Symp., 436–439.

9. Bolcskei, H., (2003). Orthogonal frequency division multiplexing based on offset QAM. Advances in Gabor Analysis, Birkhauser, Cambridge, MA, 321–352.

10. Kim, S., Lee, S., (2016). Coordinated multicast based on MIMO relay station in a single frequency network. IEEE Trans. Veh. Technol, 65 (2): 685–698.

11. Kwon, B., Park, J., Lee, S., (2015). Virtual MIMO broadcasting transceiver design for multi-hop relay networks. Digit. Signal Process, 46, 97–107.

12. Kwon, B., Park, J., Lee, S., (2015). A target position decision algorithm based on analysis of path departure for an autonomous path keeping system. Wirel. Pers. Commun, 83(3): 1843–1865.

13. Kim, S., Son, H., Lee, S., (2012). Receiver design for MIMO relay stations in multi-cell downlink system. IEEE Trans. Wirel. Commun, 11 (7): 2446–2456.

14. Zakaria, R., Ruyet, D.L., (2012). Medjahdi Y., On ISI cancellation in MIMO-ML detection using FBMC-QAM modulation. Proc. Int. Symp. on Wireless Comm. Syst.

15. Zakaria, R., Ruyet, D. L., (2010). On maximum likelihood MIMO detection in QAM-FBMC systems. Proc. IEEE 21st Int. Symp. Pers. Indoor and Mobile Radio Commun (PIMRC), 183–187.

17. Nam, H., Choi, M., Kim, C., Hong, D., Choi, S., (2014). A new filter-bank multicarrier system for QAM signal transmission and reception. IEEE International Conference on Communication.
18. Hasan, K., Waleed, M., Saad, N., (2010). The performance of multiwavelets based OFDM system under different channel conditions. Digital signal processing Elsevier, 20, 472- 482.
19. Veerananareddy, C., Prabhakar, K., (2015). A Novel BER Analytical Performance Of DWT Based OFDM Using Various Channel Over DFT Based OFDM. International Journal Of Engineering And Computer Science, 4, 14313-14318.
20. Le Floch, B., Alard, M., Berrou, C., (1995). Coded orthogonal frequency division multiplex. Proc. IEEE, 83, 982–996.
21. Farhang-Boroujeny, B., Yuen, C. H., (2010). Cosine modulated and offset QAM filter bank multicarrier techniques: a continuous-time prospect. EURASIP J. Advances in Signal Process.
22. Saltzberg, B.R., (1967). Performance of an efficient parallel data transmission system. IEEE Trans. Commun. Technol., 15, 805–811.
23. Hirosaki, B., (1981). An orthogonally multiplexed QAM system using the discrete Fourier transform. IEEE Trans. Commun., 29, 982–989.
24. Wang, C., Murch, R. D., Mow, W. H., Cheng, R. S., Lau, V., (2007). On the Performance of the MIMO Zero-Forcing Receiver in the Presence of Channel Estimation Error. IEEE Trans. Wirel. Commun, 6(3): 805–810.

Soğuk İklim Bölgesinde Farklı Dış Duvar Yapı Malzemelerinin Isıtma Yüküne Etkilerinin İncelenmesi

Meral ÖZEL

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 23119 ELAZIĞ
mozel@firat.edu.tr

(Geliş/Received:12.05.2017; Kabul/Accepted:24.10.2017)

Özet

Bu çalışmada, Türkiye'nin en soğuk şehirlerinden biri olan Kars ilindeki bina dış duvarları için dört farklı yapı malzemesi kullanılarak ısıtma yükleri yalıtımlı ve yalıtımsız olarak araştırılmıştır. Duvarın yapısında taş, tuğla, beton ve gaz beton kullanılmış, yalıtım malzemesi olarak da ekspande polistren seçilmiştir. İlk önce yalıtımsız duvar ele alınarak güney, kuzey, doğu ve batı yönleri için her bir yapı malzemesinin ısıtma yüküne etkileri sayısal olarak hesaplanmış. Daha sonra ise uygulamada çok kullanılan dıştan yalıtımlı bir duvar ele alınarak artan yalıtım kalınlığına göre ısı kayıpları belirlenmiştir. Bunun için dış ve iç yüzeyinde 2 cm lik sıva bulunan yalıtımsız ve dıştan yalıtımlı taş, tuğla, beton ve gaz betondan oluşmuş duvar yapıları ele alınmıştır. Yapı malzemelerinin her birinin kalınlığı 20 cm alınmış ve yalıtım malzemesinin kalınlığı ise artırılmıştır. Sonuç olarak farklı duvar yönlerine göre aynı kalınlıkta seçilen dört farklı yapı malzemesi için ısı kayıpları yalıtımsız ve yalıtımlı olarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur. Taş duvara 4 cm, tuğla duvara 3.5 cm ve beton duvara ise 4.5 cm yalıtım uygulanarak yalıtımsız gaz beton duvardaki maksimum ısı akısı elde edilmiş olur.

Anahtar Kelimeler: Dış duvarlar, Yalıtım, Isıtma yükü, İmplicit sonlu fark metodu.

Investigation of Effects of Different External Wall Structure Materials on Heating Load in the Cold Climate Region

Abstract

In this study, the heating loads for building external walls in Kars city which is one of the coldest cities of Turkey are investigated by using four different structure materials as insulated and uninsulated. Stone, brick, concrete and aerated concrete were used to construct the wall structures. Expanded polystyrene as insulation material were selected. Firstly, effects of each one structure materials on heating load are numerically calculated for south, north, east and west oriented walls. Later, heating losses according to increasing insulation thicknesses are also calculated for a wall insulated outside much-used in practice. Therefore, wall structures consisted of stone, brick, concrete and aerated concrete applying plaster 2 cm in the exterior and interior surface are considered. Thicknesses of each one of structure materials are accepted as 20 cm, and thickness of insulation material is increased. Consequently, the heat losses are calculated as uninsulated and insulated for four different structure materials selected at the same thickness according to different wall orientations. Then, the results obtained are presented in graphics. Results show that peak load of aerated concrete wall without insulation is equal peak load when stone, brick and concrete walls are insulated with EPS at 4 cm, 3.5 cm and 4.5 cm thicknesses, respectively.

Keywords: External walls, Insulation, Heating load, Implicit finite difference method.

1. Giriş

Ülkemizdeki enerji üretimi, tüketilen enerjinin büyük bir çoğunluğunu karşılayamadığından çoğunlukla ithal edilmektedir. Nüfus artışı, gerekmektedir[1]. Enerji tüketimi temel itibarıyla binalar, sanayi, ulaşım ve tarım olmak üzere dört ana sektörde gerçekleşmektedir.

kentleşme, büyük şehre göç ve yaşam standartlarının gelişmesi ile enerji tüketimi hızla artmaktadır. Enerji üretimi ve tüketimi arasında büyük fark olan Türkiye gibi ülkelerin mümkün olduğu kadar enerji tasarrufu tedbirlerini alması Binalarda tüketilen enerji toplam enerjinin yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır [2].

Ülkemizde tüketilen enerjinin büyük bir bölümünü, ısı konforu sağlamak amacıyla binaların ısıtılması ve soğutulması için harcanmaktadır. Bu enerji tüketimini, konfor şartlarından fedakarlık etmeden azaltmak için kış aylarında ısı kayıplarını ve yaz aylarında da ısı kazançlarını önleyerek ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacının ve dolayısıyla yakıt tüketiminin azaltılması gerekir. Aksi takdirde enerjinin fazla kullanılması, fosil yakıtların hızla tükenmesine ve çevre kirliliğine sebep olarak doğal dengeyi bozacaktır. Bu yüzden enerjinin korunumu açısından iklim şartlarına en çok maruz kalan bina dış kabuk elemanlarının yalıtılması oldukça önemlidir.

Duvar dış yüzey sıcaklığının en yüksek olduğu zaman ile iç yüzey sıcaklığının en yüksek olduğu zaman arasındaki fark faz kayması ve bu işlem boyunca onun genliğinde meydana gelen küçülme miktarı ise sönüm oranı olarak adlandırılmaktadır. Duvar malzemesinin termofiziksel özelliklerine ve kalınlığına bağlı olarak farklı faz kayması ve sönüm oranları elde edilebilmektedir. Böylece gün periyodu boyunca depolanan enerji dış taraftaki sıcaklığın düşük olduğu gece periyodu boyunca kullanılabilir. Özellikle dış sıcaklık dalgalanmalarının oldukça yüksek olduğu yerlerde sönüm oranının çok düşük ve faz kaymasının yüksek olduğu özel duvarlar dizayn ederek, dış sıcaklık salınımlarını sönümleyerek iç tarafa yayılımı önenebilir ve böylece mahallerin konfor seviyeleri yükseltilmiş olur [3,4,5 ve 6].

Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, özellikle Duffin ve Knowles, ortalama iç sıcaklığı konfor seviyesinde tutmak için oldukça büyük dış sıcaklık salınımlarını sönümleyecek duvar tasarımını, karma elektriksel ağ örgüsü metodunu kullanarak analitik olarak incelemiştir. Duvarın iç yüzey sıcaklığına istenilen gecikmeyle ulaşmanın çok kalın duvarlar (12-18 inç) ile mümkün olduğunu ve bu durumda, duvarlar boyunca sıcaklık dalgasında dikkate değer bir azalmanın söz konusu olduğunu belirtmişlerdir [7]. Durgun ve Derbentli, çeşitli yapı elemanlarında geçici rejimde ısı transfer miktarını hesaplayan bir yöntem geliştirerek, Türkiye'nin değişik

bölgelerinde duvar ve çatılardan olan ısı kazançlarını hesaplamışlardır[8]. Özel ve Pıhtılı, bina duvarlarına uygulanan yalıtımın duvar içerisinde beş farklı konumlandırma durumunu ele alarak ısı kazanç ve kayıpları açısından implicit sonlu fark formülasyonunu kullanarak araştırmışlardır [9].

Soderegger, Fourier dönüşümleri ve matris metodu kullanılarak bir boyutlu ısı iletim denkleminin çözümünü, basitleştirici kabuller yaparak bir veya iki katmanlı duvarlara uygulamıştır. Ana duvar kütlelerinin iç tarafına veya dış tarafına yalıtım yerleştirmenin avantajları ve dezavantajlarını tartışmıştır[10]. Sodha vd., üç katmanlı (yalıtım-beton-yalıtım) bir çatıda, periyodik ısı geçişini analitik olarak inceleyerek iç ve dış taraf için verilen toplam yalıtım kalınlığının iki taraf arasındaki en uygun dağılımını araştırmışlardır [11]. Özel ve Pıhtılı, toplam yalıtım kalınlığı aynı olacak şekilde duvar içerisinde birbirinden ayrı yerlere yerleştirilen iki ve üç parça yalıtım tabakalarının biri birine eşit ve farklı kalınlıklarda olmaları dikkate alınarak ısı kazanç ve kayıpları açısından yalıtım dağılımının etkisini incelemiştir[12]. Aynı yazarların bir diğer çalışmasında ise, Türkiye'nin 2. derece gün bölgesinde bulunan Diyarbakır ilindeki bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlıkları dört farklı duvar yapısı için ısıtma ve soğutma derece gün değerleri birlikte ele alınarak araştırmışlardır [13].

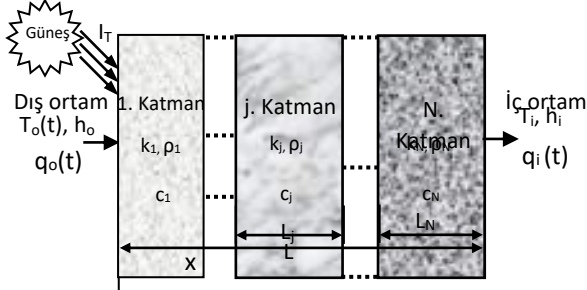
Son olarak, Türkiye'nin en soğuk şehirlerinden biri olan Kars ilindeki bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlıkları ve çevresel etkileri iki farklı duvar yapısı ve iki farklı yalıtım malzemesi için araştırılmıştır [14].

Bu çalışmada ise yine Türkiye'nin en soğuk şehirlerinden biri olan Kars ilindeki bina dış duvarları için dört farklı yapı malzemesi kullanılarak ısıtma yükleri yalıtımlı ve yalıtımsız olarak araştırılmıştır.

2. Matematiksel Metod

Bu çalışmada, Şekil 1' de gösterilen çok katmanlı bir duvar yapısı model olarak alınmıştır. Duvarın dış yüzeyi, periyodik olarak değişen güneş ışınımına ve dış ortam sıcaklığına

maruz bırakılmıştır. İç yüzeyi ise sabit sıcaklıktaki oda havası ile temas etmektedir.



Şekil 1. N paralel katmandan oluşan çok katmanlı bir duvar yapısı

Şekil 1' de gösterildiği gibi mükemmel ısıl temastaki N paralel katmandan oluşan çok katmanlı bir duvardaki geçici bir boyutlu ısı iletim denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$k_j \frac{\partial^2 T_j}{\partial x^2} = \rho_j c_j \frac{\partial T_j}{\partial t}, \quad j=1,2,\dots,N \quad (1)$$

Burada ρ_j , c_j ve k_j sırasıyla j inci katmanın yoğunluğu, özgül ısı ve ısıl iletkenliğidir. Katmanlar arasındaki ısıl temas için aşağıdaki ifadeler geçerlidir:

$$k_j \frac{\partial T_j}{\partial x} = k_{j+1} \frac{\partial T_{j+1}}{\partial x}, \quad j=1,2,\dots,(N-1) \quad (2)$$

$$T_j(x,t) = T_{j+1}(x,t), \quad j=1,2,\dots,(N-1) \quad (3)$$

Dış ve iç duvar yüzeylerindeki taşınım sınır şartları ile başlangıç şartı ise sırasıyla aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$-k_1 \frac{\partial T}{\partial x}_{x=0} = h_o(T_e(t) - T_{x=0}), \quad (4)$$

$$-k_N \frac{\partial T}{\partial x}_{x=L} = h_i(T_{x=L} - T_i) \quad (5)$$

$$T(x,0) = T_b \quad (6)$$

Burada h_o ve h_i sırasıyla yapının dış ve iç yüzeyindeki ısı taşınım katsayılarıdır. T_i iç ortam

sıcaklığı ve T_b başlangıç sıcaklığıdır. T_e ise eşdeğer çevre sıcaklığı olarak adlandırılır ve dış hava sıcaklığıyla güneş ışınımı şiddetini birlikte ifade edebilen ve gün boyunca periyodik bir değişim gösteren bir teorik sıcaklık olup dik duvar yüzeyleri için aşağıdaki şekilde yazılmaktadır [15]:

$$T_e = T_o + a.I / h_o \quad (7)$$

Burada T_o dış hava sıcaklığını, a dış taraf yüzeyinin güneş emiciliğini I ise toplam güneş ışınımı şiddetini göstermektedir. Dik duvar yüzeyine gelen toplam güneş ışınımı şiddeti (I), aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir [16]:

$$I = R_d I_d + (I_y + I_a \rho_y) / 2 \quad (8)$$

$$R_d = \frac{\cos \delta \sin \phi \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \gamma \sin \omega - \sin \delta \cos \phi \cos \gamma}{\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta} \quad (9)$$

Denklem (8)'deki I_d , I_y ve I_a yatay düzleme gelen direk, yayılı ve anlık güneş ışınımı şiddetleridir. ρ_y çevrenin yansıtma oranı olup 0.2 olarak alınabilir [16]. R_d parametresindeki δ deklinasyon açısı, ϕ enlem açısı, γ yüzey azimut açısı olup eğik düzlemin yatay düzlem içinde konumunu verir. Güneye bakan bir eğik düzlem için $\gamma = 0^\circ$ dir. Güneyden doğuya doğru, kuzeye kadar negatif (-) ve güneyden batıya doğru, kuzeye kadar pozitif (+) alınır. Yani $-180^\circ < \gamma < +180^\circ$ değerlerini alır. ω ise saat açısı olup 15 derece bir saate eşdeğerdir. Öğlen saatinde $\omega = 0^\circ$ dir. Saat açısı öğleden önce negatif (-) öğleden sonra ise pozitif (+) olarak alınır. (8) ve (9) denklemlerindeki ışınımların ve açıların hesap yöntemleri ayrıntılı olarak mevcuttur [17].

(1)-(6) denklemleri ile ifade edilen diferansiyel denklem ile sınır şartları implicit sonlu fark yaklaşımını kullanarak çok katmanlı duvar için çözüm yapılmıştır [17]. Daha sonra ise bir bilgisayar programı geliştirilerek yapı içerisindeki sıcaklık dağılımı bulunmuştur. Bu durumda iç ortama transfer edilen anlık ısı akışı miktarı ise elde edilen duvar iç yüzey sıcaklıklarından faydalanarak aşağıdaki Newton'

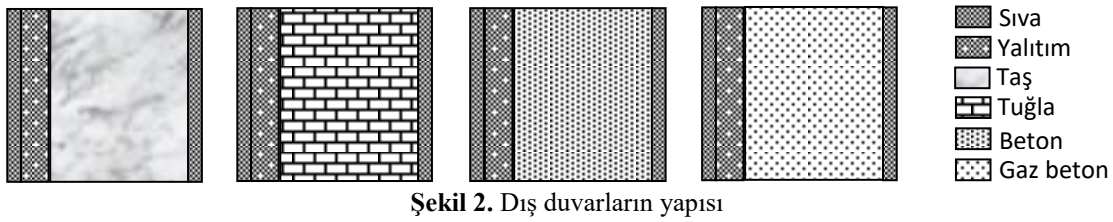
un soğutma kanunu ifadesi yardımıyla hesaplanmıştır.

$$q_i = h_i(T_{x=L} - T_i) \quad (7)$$

Programda, yapı elemanının aynı eşdeğer sıcaklık değişimine her periyot sonunda tekrar maruz kaldığı dikkate alınarak ısı akısı değişiminin sanki sürekli hale ulaşması sağlanmıştır.

3. Dış duvarların yapısı

Bu çalışmada, Şekil 2’de görüldüğü gibi dış ve iç yüzeyinde 2 cm lik sıva bulunan yalıtımsız ve dıştan yalıtımlı taş, tuğla, beton ve gaz betondan oluşmuş dört farklı duvar yapısı ele alınmıştır. Yapı malzemelerinin her birinin kalınlığı 20 cm alınmış ve yalıtım malzemesinin kalınlığı ise 0.5 cm’ lik aralıklarla 10 cm oluncaya kadar artırılmıştır. Dış duvarın yapısında kullanılan malzemelerin ısıl özellikleri Tablo 1’ de verilmiştir.



Şekil 2. Dış duvarların yapısı

Tablo 1. Malzemelerinin termofiziksel özellikleri

Yapı ve Yal. Malzemeleri	$\rho(\text{kg/m}^3)$	$c_p(\text{J/kgK})$	$k(\text{W/mK})$	$\alpha \times 10^{-7} (\text{m}^2/\text{s})$
Taş	2019	906	1.12	6.12
Tuğla	1580	840	0.69	5.20
Beton	2076	880	1.37	7.50
Gaz beton	1580	840	0.15	1.13
EPS	18	1500	0.038	0.14
İç ve Dış sıva	2778	840	0.70	2.99

4. Sonuçlar ve değerlendirme

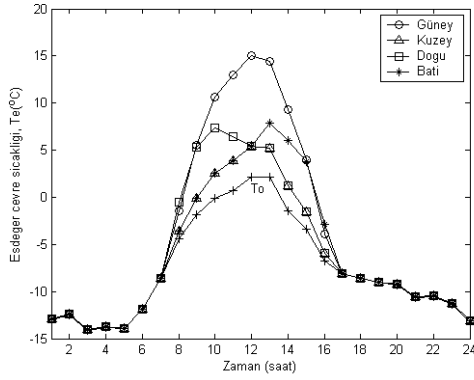
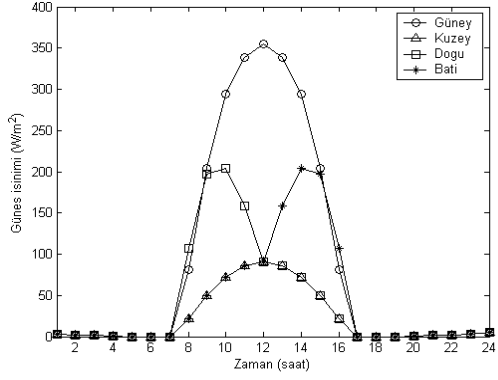
Bu çalışmada, Türkiye’nin en soğuk şehirlerinden biri olan Kars ilindeki bina dış duvarları için dört farklı yapı malzemesi kullanılarak ısıtma yükleri yalıtımlı ve yalıtımsız olarak araştırılmıştır. İlk önce yalıtımsız duvar ele alınarak güney, kuzey, doğu ve batı yönleri için her bir yapı malzemesinin ısıtma yüküne etkileri hesaplanmış. Daha sonra ise uygulamada çok kullanılan dıştan yalıtımlı bir duvar ele alınarak artan yalıtım kalınlığına göre ısı kayıpları hesaplanmıştır.

Bu amaçla, dış yüzeyinde periyodik olarak değişen güneş ışınımına ve dış ortam sıcaklığına maruz bırakılan ve iç yüzeyinde de sabit sıcaklıktaki oda havası ile temasta olan çok katmanlı duvarlar için bir boyutlu ısı iletim denklemi implicit sonlu farklar yöntemi ile çözülmüştür. Daha sonra MATLAB’ da genel amaçlı bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Programda, yapı elemanının aynı dış ortam sıcaklığına ve güneş ışınımı şiddetine her periyot sonunda tekrar maruz kaldığı dikkate alınarak ısı akısı değişiminin sanki sürekli hale ulaşması sağlanmıştır. Hesaplamalar Kars ilinde kışın en soğuk günlerinden biri olan 21 Ocak’ ta 20 °C sabit iç ortam sıcaklığı için yapılmıştır. Hesaplamalar sırasında kullanılan dış ortam sıcaklıkları meteorolojiden alınmıştır [18]. Opak yapının yutma oranı $a=0.8$, içteki ve dıştaki ısı transfer katsayısı ise sırasıyla $h_i=9 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $h_o=22 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak alınmıştır. Farklı yönlere bakan duvar yüzeylerine gelen toplam güneş ışınımı şiddeti ise gerekli bağıntılar yardımıyla programda hesaplanmıştır.

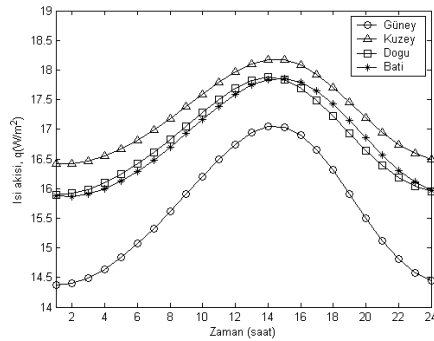
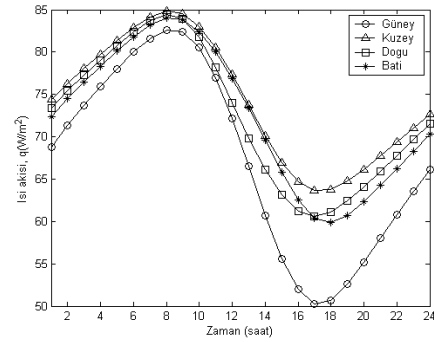
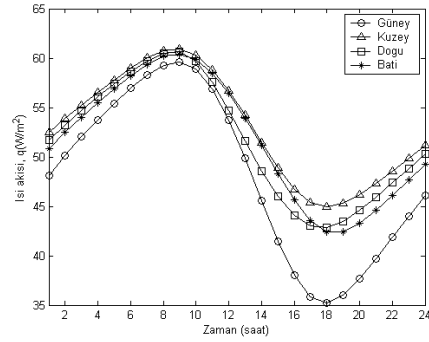
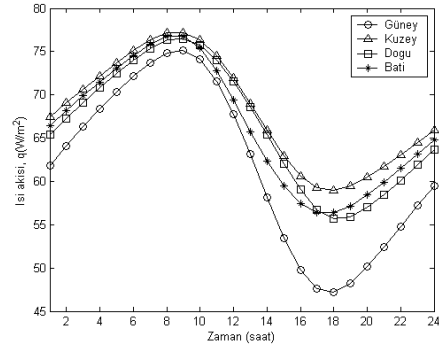
21 Ocak’ta bütün duvar yönlerine gelen güneş ışınımı şiddeti ve eşdeğer çevre sıcaklığının saatlik değişimi Şekil 3 (a-b)’de gösterilmektedir. Kışın maksimum güneş ışınımı güneye bakan duvarda elde edilirken minimum

güneş ışınımı Kuzeye bakan duvarda elde edilmektedir. Güney ve kuzey duvarın güneş ışınımı şiddeti ve eşdeğer çevre sıcaklığının en yüksek değeri öğlen saat 12:00'da oluşurken doğuda saat 10:00'da batı da ise saat öğleden sonra 14:00 da oluşmaktadır.



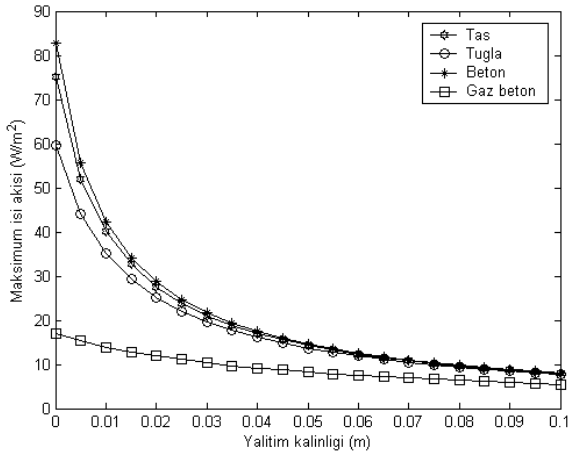
Şekil 3. 21 Ocak'ta bütün duvar yönlerine gelen a) güneş ışınımı şiddeti ve b) eşdeğer çevre sıcaklığının saatlik değişimi.

Şekil 4 (a-d) bütün duvar yönleri için sırasıyla taş, tuğla, beton ve gaz beton dan oluşan yalıtımsız duvarların zamana göre ısı akılarının değişimini göstermektedir. Şekillerden görüldüğü gibi dört farklı yapı malzemesi için kışın en yüksek dalgalanma güneye bakan duvarda oluşurken, en düşük dalgalanma kuzeye bakan duvarda oluşmaktadır. Ayrıca tüm yönlerde en yüksek ısı akısı değerleri incelenen yapı malzemeleri içerisinde en yüksek ısıl iletkenliğe sahip beton duvarda elde edilirken minimum ısı akısı ise, ısıl iletkenliği en düşük olan gaz beton duvarda elde edilmiştir.

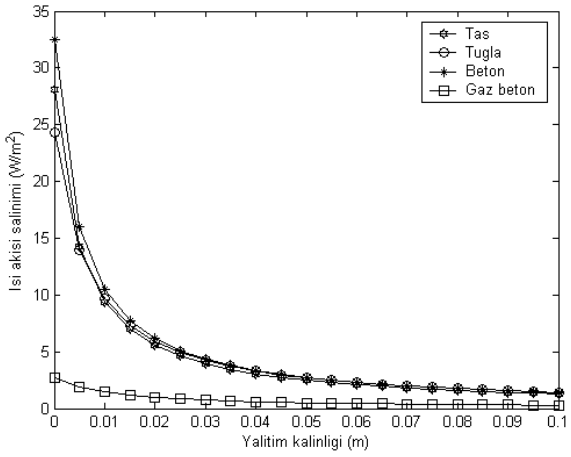


Şekil 4. Bütün duvar yönleri için sırasıyla a) taş, b) tuğla, c) beton ve d) gaz beton' dan oluşan yalıtımsız duvarların zamana göre ısı akılarının değişimi.

Şekil 5 güneye bakan duvar için dört farklı duvar yapısının artan yalıtım kalınlığına göre sırasıyla maksimum ısı akısını ve ısı akısındaki dalgalanmayı göstermektedir. Isı akısı ve dalgalanmanın en büyük değeri beton duvarda elde edilirken minimum ısı akısı ve dalgalanma gaz beton duvarda elde edilmiştir. Yalıtım kalınlığı arttıkça maksimum ısı akısı ve salınımlar giderek azalmıştır. Ancak ısıl iletkenlik değeri ve ısıl yayılım değerleri biri birine yakın olan malzemelerin ısı akıları biri birine çok yakın olarak elde edilmiştir.



(a)

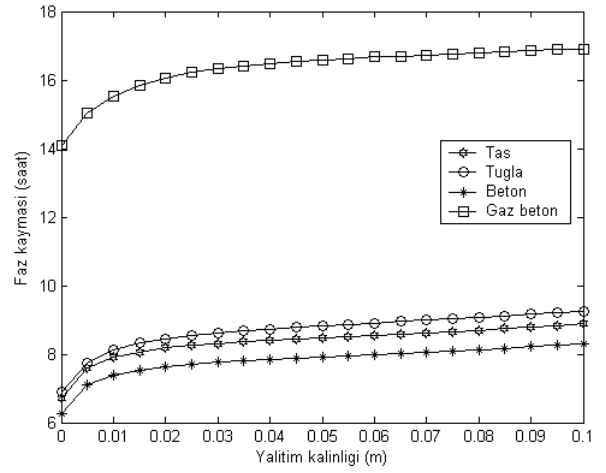


(b)

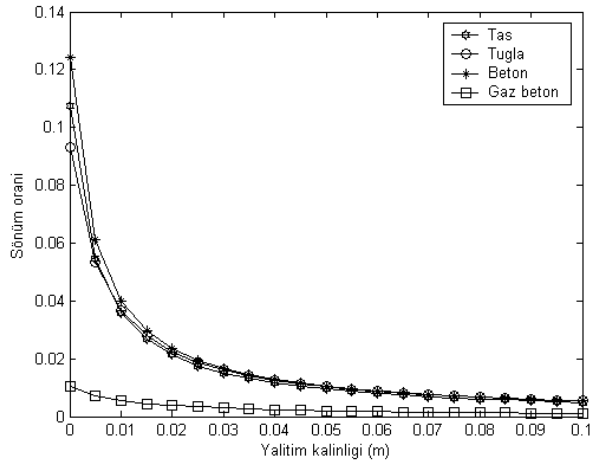
Şekil 5. Güneye bakan duvar için dört farklı duvar yapısının artan yalıtım kalınlığına göre a) maksimum ısı akısı ve b) ısı akısındaki dalgalanma.

Yalıtımsız taş, tuğla beton ve gaz beton duvarların maksimum ısı akıları, sırasıyla 75.20, 59.60, 82.71 ve 17.05 W/m² olarak elde edilirken, 6 cm yalıtım uygulandığı zaman bu

duvarların maksimum ısı akısı değerleri sırasıyla 12.32, 11.86, 12.59 ve 7.50 W/m² olarak elde edilmiştir. Bu durumda Kars ilinde, taş tuğla, beton ve gaz betondan oluşmuş duvarlara 6 cm kalınlığında EPS yalıtım uygulandığı zaman maksimum ısı akısındaki azalma sırasıyla %83.61, %80, %84.8 ve %56 olmuştur. Aynı yalıtım kalınlığında en çok azalma beton duvarda elde edilirken en az azalma gaz beton duvarda elde edilmiştir. Taş duvara 4 cm, tuğla duvara 3.5 cm ve beton duvara ise 4.5 cm yalıtım uygulanarak yalıtımsız gaz beton duvardaki maksimum ısı akısı elde edilmiş olur.



(a)

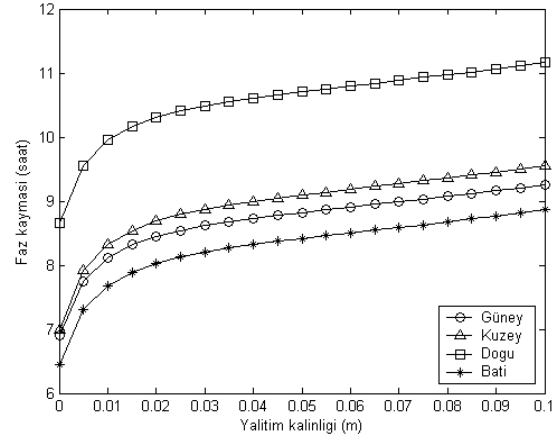


(b)

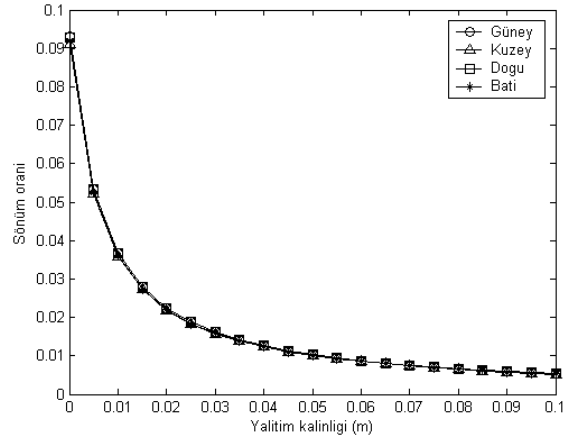
Şekil 6. Güneye bakan duvarda dört farklı yapı malzemesi için artan yalıtım kalınlığına göre a) faz kayması ve b) sönüm oranlarının değişimi.

Şekil 6 güneye bakan duvar için dört farklı duvar yapısının sırasıyla faz kayması ve sönüm oranlarını göstermektedir. Sıcaklık duvar içerisinde sinüzoidal dalgalar şeklinde yayılmakta ve bu dalgaların genliği sıcaklık şiddetini; dalga boyu da zamanı simgelemektedir. Sinüzoidal sıcaklık dalgası, dış yüzeyden iç yüzeye ulaşana kadar geçen zaman, yani eşdeğer dış-sıcaklığın en yüksek olduğu zaman ile iç yüzey sıcaklığının en yüksek olduğu zaman arasındaki fark, faz kayması olarak adlandırılır [3,4]. Bu işlem boyunca onun genliğinde meydana gelen küçülme miktarı, başka bir ifadeyle iç yüzey sıcaklığının genliğinin eşdeğer dış sıcaklığın genliğine oranı da, sönüm oranı olarak adlandırılmaktadır. Şekillerden de görüldüğü gibi maksimum faz kayması ve minimum sönüm oranı en düşük ısı iletkenliğe ve ısı yayılım katsayısına sahip gaz beton duvar için elde edilmiştir. Isıl iletkenliği biri birine yakın olan malzemelerin faz kayması ve sönüm oranı değerleri biri birine yakın olarak elde edilmiştir. Yalıtım kalınlığı arttıkça faz kayması artarken sönüm oranları azalmıştır. Yalıtım kalınlığı arttıkça, özellikle ısı iletkenlik değerleri biri birine yakın olan duvar malzemelerinin sönüm oranı değerleri biri birine yaklaşmaktadır. Bu şekillerden görüldüğü gibi yalıtımsız gaz beton duvarın faz kayması 14.09 saat olarak elde edilirken 10 cm EPS yalıtımlı taş tuğla ve beton duvarın faz kayması değerleri sırasıyla 8.88, 9.26 ve 8.30 saat olarak elde edilmiştir. Gaz beton duvarın yalıtılmasından, aynı kalınlıktaki taş, tuğla ve beton duvarın yalıtılmasının daha önemli olduğu görülmüştür.

Şekil 7 tuğla duvarın dört farklı duvar yönü için sırasıyla faz kayması ve sönüm oranlarını göstermektedir. Aynı grafikler gaz beton duvar için de Şekil 8’de gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi maksimum faz kayması doğuya bakan duvarda elde edilirken minimum faz kayması ise batıya bakan duvarda elde edilmiştir. Bu sonuç, Şekil 3’deki duvar yönlerine gelen güneş ışınımı şiddeti ile desteklenebilir. Güneş ışınımından dolayı, dış yüzeydeki maksimum sıcaklık doğu duvarı için daha erken batı duvarı için daha geç elde edilir.



(a)

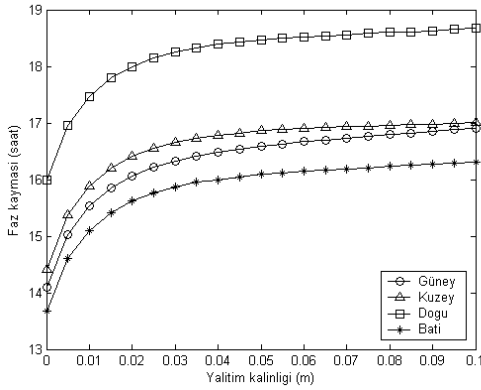


(b)

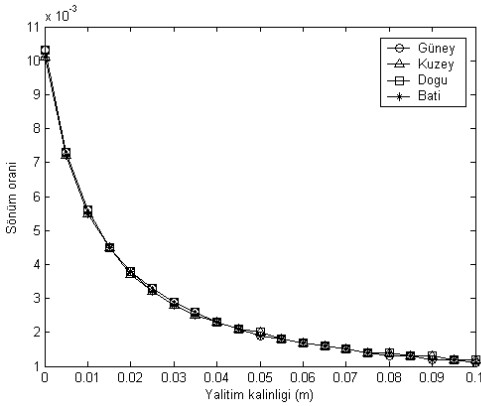
Şekil 7. Tuğla duvarın dört farklı duvar yönü için artan yalıtım kalınlığına göre a) faz kayması ve b) sönüm oranlarının değişimi.

Yalıtımsız tuğla duvar için güney, kuzey, doğu ve batı yönlerine bakan duvarlar için faz kayması değerleri sırasıyla 6.9, 6.99, 8.65 ve 6.45 saat olarak elde edilirken sönüm oranı değerleri de 0.0931, 0.0911, 0.0929 ve 0.0919 olarak elde edilmiştir. Aynı duvara 6 cm yalıtım uygulandığı zaman yine aynı yönler için 8.91, 9.19, 10.8 ve 8.5 saat olarak elde edilirken sönüm oranı değerleri de 0.0087, 0.0085, 0.0087 ve 0.0085 olarak elde edilmiştir.

Sonuç olarak duvar yönünün faz kayması üzerinde önemli bir etkisi olurken sönüm oranı üzerinde etkisi olmamaktadır.



(a)



(b)

Şekil 8. Gaz beton duvarın dört farklı duvar yönü için artan yalıtım kalınlığına göre a) faz kayması ve b) sönüm oranlarının değişimi.

5. Öneriler

Bu çalışmanın devamı olarak aşağıdaki öneriler dikkate alınarak yeni araştırmalar yapılabilir:

1. Çalışma, Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri için genişletilebilir.
2. İncelenen tüm yapı malzemeleri için maliyet analizi yapılarak optimum yalıtım kalınlıkları belirlenebilir.
3. Bu duvar malzemeleri için yoğuşma analizleri incelenebilir.

Semboller

- α : Isıl yayılım katsayısı, (m^2/s)
 a : Dış yüzeyinin güneş ışınımını yutma oranı
 c : Özgül ısı, (J/kgK)
 h_i : İçteki taşınım katsayısı, ($W/m^2\text{°C}$)

- h_o : Dıştaki taşınım katsayısı, ($W/m^2\text{°C}$)
 I : Eğik düzleme gelen anlık tüm güneş ışınımı şiddeti, (W/m^2)
 I_d, I_y, I_a : Sırasıyla yatay düzleme gelen direk, yayılı ve anlık güneş ışınımı şiddetleri, (W/m^2)
 k : Isı iletim katsayısı, (W/mK)
 ρ : Yoğunluk, (kg/m^3)
 ρ_y : Yansıtma oranı
 T_e : Eşdeğer çevre sıcaklığı, (°C)
 T_i, T_o : Sırasıyla iç ve dış ortam sıcaklıkları, (°C)

6. Kaynaklar

1. Dağdır, C. ve Bolattürk, A., (2011). Sıcak iklim bölgelerindeki binalarda ısıtma ve soğutma yüküne göre tespit edilen optimum yalıtım kalınlıklarının karşılaştırılması. *Tesisat Mühendisliği Dergisi* **124**: 64-77.
2. Kaynaklı, Ö., Mutlu, M., Kılıç, M., (2012). Bina duvarlarına uygulanan ısı yalıtım kalınlığının enerji maliyeti odaklı optimizasyonu. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 48-54.
3. Asan, H. and Sancaktar, Y.S., (1998). Effects of Wall's Thermophysical Properties on Time Lag and Decrement Factor. *Energy and Buildings*, **28**: 159-166.
4. Asan, H., (1998). Effects of Wall's Insulation Thickness and Position on Time Lag and Decrement Factor. *Energy and Buildings*, **28**: 299-305.
5. Özel, M. ve Pıhtılı, K., (2005). Farklı Yönlerde Bakan Duvarlarda Yalıtım Kalınlığının Faz Kayması ve Sönüm Oranına Olan Etkisinin Araştırılması. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* **17(2)**: 287-298.
6. Özel, M. ve Pıhtılı, K., (2007). Duvar yönünün faz kayması ve sönüm oranına etkisi, *Yalıtım dergisi*, **67**: 82-86.
7. Duffin, R.J. and Knowles G., (1984). Use of Layered Walls to Reduce Building Temperature Swings. *Solar Energy*, **33(6)**: 543-549.
8. Durgun İ., ve Derbentli, T., (1993). Duvarlarda Geçici Rejimde Isı Transferi. *Isı Bilimi ve Tekniği 9. Ulusal Kongresi, Fırat üniversitesi, Elazığ, TIBTD* **21**: 34-43.
9. Özel, M. ve Pıhtılı, K., (2005). Bina Duvarlarına Uygulanan Yalıtımın Farklı Konumlarının Isı Kazanç ve Kayıplarına Olan Etkisinin Araştırılması, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt 7, Sayı: **1**: 87-97.
10. Sodreger, R.C., (1977). Harmonic Analysis of Building Thermal Response Applied to The Optimal Location of Insulation within the Walls. *Energy and Buildings*, **1**: 131-140.
11. Sodha, M.S, Kaushik, S.C., Tiwari, G.N., Goyal, I.C., Malik, M.A.S., Khatry, A.K., (1997). Optimum

Distribution of Insulation Inside and Outside The Roof. *Building and Environment*, **14**: 47-52.

12. Özel, M. ve Pıhtılı, K., (2005). Bina Duvarlarındaki Yalıtımın Uygun Dağılımının Isı Kazanç Ve Kayıpları Açısından Araştırılması. ULIBTK'05 15. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi 7-9 Eylül 2005, TRABZON, 482-488.

13. Özel, M. ve Pıhtılı, K., (2013). Diyarbakır İlindeki Bina Dış Duvar Yapısının Optimum Yalıtım Kalınlığına Etkisinin Araştırılması. 2. Anadolu Enerji Sempozyumu, Diyarbakır.

14. Özel, M. ve Özel, C., (2013). Soğuk İklim Bölgesindeki Bina Dış Duvar Yalıtımının Ekonomik ve Çevresel Etkileri Üzerine Bir Araştırma. 2. Anadolu Enerji Sempozyumu, Diyarbakır, 429-438.

15. Threlkeld, J.L., (1998). Thermal Environmental Engineering. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

16. Kılıç, A. ve Öztürk, A., (1983). Güneş Enerjisi. Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul, 1983.

17. Özışık, M.N., (1994). Finite Difference Methods in Heat Transfer. CRC Pres.

18. Elazığ Devlet Meteoroloji İstasyonu (1997-2010), Dış hava sıcaklığı raporu, Elazığ.

Mikroalgın Ön Arıtılmış Düzenli Depolama Sızıntı Suyunda Çoğaltılması

Umut METİN, Mahmut ALTINBAŞ

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak/İstanbul
altinbasml@itu.edu.tr

(Geliş/Received: 13.12.2017; Kabul/Accepted: 20.02.2018)

Özet

Bu çalışmanın amacı, ön arıtılmış katı atık Düzenli Depolama Sızıntı Suyu (DDSS)'nin *Synechocystis* sp. PCC 6803 türünün üretimi için uygunluğunu belirlemek ve PCC 6803'ün DDSS'den azot giderme verimliliğini ortaya koymaktır. PCC 6803, kesikli reaktörlerde değişik DDSS derişimlerinde (%20, %40, %60 ve %80) çoğaltılmış olup, atıksudan azot giderme verimleri ölçülmüştür. %20 oranında DDSS içeren reaktörde ortalama 318 mg AKM/L ve 1,816 optik yoğunluk bulunmuş olup bu değer ölçülen en yüksek biyokütle değerine karşılık gelmektedir. Artan DDSS derişimi ile beraber azot giderim verimliliği düşmüştür. %20, %40, %60 ve %80 oranında DDSS içeren ortamlardan amonyum azotu giderim verimi sırasıyla %28, %19, %14 ve %7'dir. %20, %40, %60 ve %80 oranında DDSS içeren ortamlardan TKN giderimi verimi sırasıyla %51, %44, %40 ve %20'dir. DDSS'deki ortofosfat miktarı oldukça düşük olup çoğalmadaki önemli kısıtlardan biri olacağı düşünülerek fosfat eklemeli çalışmalar da yapılmıştır. Ortamdaki fosfat miktarı ideal besiyeri (BG-11)'ndeki fosfat miktarının 0,5, 1, 2 ve 4 katı olacak şekilde %20 DDSS içeren reaktörlerde çoğaltılmışlardır. Bu reaktörlerden elde edilen sonuçlar fosfor ilavesi olmayan reaktörlere benzerdir. Sonuçlar, PCC 6803'ün DSS üzerindeki büyümesini kısıtlayan etmenin DDSS içeriğindeki eksik diğer mineral maddelerden kaynaklanabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Mikroalg, *Synechocystis* sp. PCC 6803, Düzenli Depolama Sızıntı Suyu, Azot ve Fosfor Geri Kazanımı

Growth of Microalgae in Pre-treated Landfill Leachate

Abstract

The aim of this paper is to determine the usability of pre-treated landfill leachate (PLL) as medium for algae production from *Synechocystis* sp. PCC 6803 and determine nitrogen removal efficiency of PCC 6803 from PLL. PCC 6803 was grown on pre-treated landfill leachate with different dilution rates (20%, 40%, 60% and 80%) and nitrogen removal efficiency of PCC 6803 from PLL was measured. In the batch reactor with %20 PLL, 318 mg SS/L and the OD₆₈₀ value of 1,816 were the highest biomass production measured. With increased concentration of PLL, nitrogen removal efficiency decreased. Ammonia-N removal efficiency for 20% PLL, 40% PLL, 60% PLL and 80% PLL are about 28%, 19%, 14% and 7% respectively. TKN removal efficiency of 20% PLL, 40% PLL, 60% PLL and 80% PLL are about 51%, 44%, 40% and 20% respectively. Low orthophosphate concentration in PLL was considered as one of the important limitations in proliferation, therefore phosphate-addition studies have also been carried out. The amount of phosphate in the medium was increased in reactors containing 20% DSS as 0.5, 1, 2 and 4 times the amount of phosphate in the ideal medium (BG-11). The result of growth of these medium were similar as medium with no phosphorus addition. The results show that PCC 6803's growth limiting factor on DSS may be due to other missing minerals in the DSS content.

Keywords: Microalgae, *Synechocystis* sp. PCC 6803, Landfill Leachate, Nitrogen and Phosphorus Recovery

1. Giriş

Mikroalgler yüksek çoğalma hızları, yüksek fotosentetik verimleri, yetiştirilmeleri için gereken su ve besin maddesi ihtiyacının tarımı yapılan bitkilere göre daha az olması, yetiştirilmeleri için verimli araziye ihtiyaç duymamaları, zorlu koşullar altında da yetişebilmeleri, yetiştirilmeleri sırasında çevreye

zararlı madde ve sera gazı salınımına sebep olmamaları ve çok sayıda farklı kimyasal üretme yeteneğine sahip olmalarından dolayı ticari anlamda değerli (biyoyakıt, anti-oksidan, vitamin vb.) ürünlerin sürdürülebilir üretimini mümkün kılan bir biyolojik kaynak durumundadır [1-3]. Mikroalglerin bu özelliklerden dolayı enerji

endüstrisinde biyoyakıt üretimi öncelikli olmak üzere, gıda endüstrisi, kimyasal üretim endüstrisi, gübre üretimi ve eczacılık gibi birçok farklı alanda ticari ölçekte üretimi yapılmaya çalışılmaktadır [1, 3, 4]. Uzun zamandan beri yapılan çalışmalara rağmen mikroalglerin ticari ürün üretimi için kullanımı yüksek maliyetler yüzünden yaygınlaşmamıştır [5]. Değerli ürünlerin alternatif kaynaklardan üretimi, bu ürünlerin mikroalgler yardımı ile üretiminden daha ucuzdur [6]. Örneğin, mikroalgler B1, B6, B12, C, E, biotin, riboflavin vitaminleri gibi birçok vitamin için ticari bir kaynak olarak önerilmelerine rağmen, mikroalgler kullanılarak üretilmiş vitaminlerinin maliyeti piyasa fiyatları ile yarışabilecek düzeyde değildir [6, 7]. Diğer bir örnek olarak ise biyodizel üretim maliyeti gösterilebilir. 2006 yılı verilerine göre Amerikan otoyol petrodizelinin maliyeti 0,49 \$/L ve bitkisel biyodizelin 0,66 \$/L iken mikroalglerden elde edilen algal yağın teorik olarak hesaplanan maliyeti 2,80 \$/L'dir [8]. Piyasada mikroalgal biyodizel üretimi yapan 50'den fazla şirket olmasına rağmen hiçbir şirket ticari çapta petrodizel fiyatları ile yarışabilecek düzeyde biyodizel üretimini başaramamıştır [4].

Alglerin yetiştirilmesi çok miktarda su ve başta karbon, azot ve fosfor olmak üzere besin maddelerini gerektirir [9, 10]. Sadece besin maddesi temini için yapılan harcamalar alglerden elde edilecek faydaya bağlı olmakla birlikte, biyodizel üretim maliyetinin %10'u kadarını oluşturabilir [11]. Bu sebeple alg yetiştirme maliyetlerini düşürmede uygulanabilecek yaklaşımlardan biri de su ve besin maddesi ihtiyacının atık akımlarından karşılanmasıdır [9, 12]. Alg üretim maliyetleri atıksu ve baca gazlarından karşılanması sureti ile düşürülebilir [13-18]. Bununla birlikte çevreye ve insan sağlığına büyük tehdit oluşturan atıksuların arıtma maliyetlerini düşürmek ve arıtmadan çıkan suyun kalitesini artırmak gittikçe daha önem kazanmaktadır [19, 20]. Her geçen gün daha da sıklaşan çevre yönetmelikleri, hâlihazırda tesislerin artan ihtiyaçlarını karşılayabilmek üzere daha ileri yöntemlerin kullanılmasını zorlamaktadır [20]. İleri arıtma olmaksızın, alıcı ortama verilen atıksuların içeriğindeki azot ve fosfor, ötrofikasyon meydana gelmesine yol açabilir ve ekosistem hasarına sebep olabilir [17, 21-23]. Alg yardımı ile atıksulardan ağır metal ve

besin maddesi arıtımı, bunların maliyetli ve enerji ihtiyaçları fazla olan geleneksel üçüncül arıtım yöntemleri ile arıtılmasından daha ucuz ve daha verimlidir [9, 23, 24]. Ayrıca geleneksel arıtma yöntemleri atıksuların içerisinde bulunan bu maddelerin katma değere çevrilmesi mümkün olmamaktadır. Örneğin çoğu ticari fosfor giderim yaklaşımı, giderilen fosforu bazen toksik maddelerde içerebilen atıklar ile beraber ortamdaki uzaklaştırarak fosforun tamamen yenilenebilir bir ürün olarak kullanımını engellemektedir [25]. Değerli bir kaynak kaybı durumu azot giderimi için de geçerlidir.

Atıksular alg üretimi için gerekli besin maddelerini içermesine rağmen, içeriğindeki toksik maddelerin varlığı, ortamdaki istilacı ve rakip türlerin bulunması sebebiyle mikroalglerin büyümesine negatif yönde bir etki yapmaktadır [9, 26, 27]. Bu nedenle her farklı tip atık su için istenilen özelliklere sahip olduğu düşünülen mikroalg türünün o atıksuda yetiştirilmesi sırasındaki davranışlarının incelenmesi gerekmektedir.

Synechocystis sp. PCC6803 (PCC6803) bir tür siyanobakteri olup başta fotosentez olmak üzere fototrofik organizmalarda gözlemlenen birçok farklı mekanizmayı çözümlenmek için model organizma olarak kullanılır [28]. Dahası, PCC6803, hızlı büyüme özelliği, yüksek biyokütle üretme kapasitesi ve basit büyüme gereksinimleri ile de karakterize edilirler [29]. Yüksek yağ üretkenliğini durağan evredeki azot açlığına bağlı olan birçok mikroalg [19] aksine, PCC 6803 lipid üretkenliği artan büyüme hızı ya da azot beslemesi ile azalmaz [31] ve dolayısıyla en yüksek lipid üretkenliğine üssel büyüme evresinde sahiptir [32]. Bu özelliği ile sayesinde diğer tür mikroalglerin aksine yüksek besin maddesi içeren atık suların arıtımında kullanılırken, biyodizel üretimi için gerekli lipid üretimini de gerçekleştirebilirler. Ayrıca, PCC6803 fikobilinler, karotenoidler ve omega yağ asitleri gibi birçok farklı yüksek değerlikli ürünleri üretme yeteneğine sahiptirler [33-35]. Öte yandan PCC6803, doğal olarak transformasyon yeterliliği olması ve genetiğinin çok çalışılmış olmasından dolayı istenilen özelliği kazandırma amaçlı genetik modifikasyonların uygulanması için uygun bir türdür [36, 37]. İlâveten, PCC6803 geniş sıcaklık, pH ve tuzluluk aralıklarında büyüeyebilen ve istilacı türlere karşı,

diğer mikroalg türleri ile karşılaştırıldığında daha az duyarlı olan dayanıklı bir tür [38, 39] olduğu için ticari ölçekli açık havuz işletmeler için tercih edilebilecek bir türdür [31].

Bu çalışmada PCC 6803 suşunun çoğaltılmasında ön arıtılmış Düzenli Depolama Sızıntı Suyu (DDSS) kullanılmıştır. DDSS genellikle yüksek azot ve fosfor içeriği ile tanımlanan bir atıksudur. Düşük besin maddesi içeriğine sahip atıksuların mikroalglerin yetiştirilmesi için gereken yüksek miktardaki ihtiyacı karşılayamama durumu olabilmektedir. DDSS'nin besiyeri olarak kullanılması sisteme ayrıca besin maddesi ihtiyacını en aza indireceği düşünülmektedir. Bu çalışmadaki hedef PCC 6803'ün ön arıtılmış DDSS'deki çoğalma kapasitesini belirlemek ve PCC 6803'ün DDSS'den azot ve fosfor geri kazanma verimliliğini ölçmektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Alg Kültürü ve Kullanılan Reaktör

Synechocystis sp. PCC 6803 türü "Pasteur Culture collection" temin edilmiştir (Paris, Fransa). Aşı kültürleri BG-11 besi yerinde çoğaltılmışlardır ve DSS içeren besi yerlerine BG-11 besi yerinden alınarak ekilmişlerdir. Bütün kültürler 1 L/dk hızla havalandırılan 1 litrelik erlenler içerisinde 500 ml çalışma hacmine sahip reaktörlerde büyütülmüştür. Reaktörler $32\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta, beyaz led ile sürekli aydınlatılmış ve $300 \mu\text{E}/\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ şiddetindeki foton akısı altında işletilmiştir. Karıştırma işlemi sadece havalandırma vasıtasıyla sağlanmıştır. Çalışmadaki bütün reaktörler kesikli olarak

çalıştırılmışlardır. Reaktörlere ekim öncesi sterilizasyon işlemi uygulanmamıştır.

2.2. Kullanılan Sızıntı Suyu ve Reaktör İşletim Süreci

Bu çalışmada kullanılan DDSS, İSTAÇ A.Ş. tarafından işletilen İstanbul Odayeri Düzenli Depolama Sızıntı Suyu Atıksu Arıtma tesisinden sağlanmıştır. 2.sınıf depolama yapılan alana karışık olarak toplanan kentsel katı atıklar alınmaktadır. Depolama alanının tabanında yer alan drenaj boruları ile toplanan sızıntı suyu dengeleme tankında biriktirilmekte ve daha yüksek kotta yer alan arıtma tesisine pompa ile basılmaktadır. Arıtma tesisi, ön çöktürme, nitrifikasyon/denitrifikasyon sürecini de içeren membran biyolojik reaktör ve nano-filtrasyon ana adımlarını içermektedir. Temin edilen DDSS, membran biyoreaktör adımıında bulunan ultra-filtrasyon işleminden geçirilmiş bir sudur. Çalışmada kullanılan DDSS çalışma süresince 4°C sıcaklıkta saklanmıştır.

Çalışmada %20, %40, %60, %80 ve %100 oranında DDSS içeren besi yerleri hazırlanmış olup, bu besi yerleri çoğalma oranlarının belirlenmesi ve azot ile fosfor geri kazanımının ölçülmesi için kullanılmıştır. Ayrıca, düşük çoğalma oranlarının, düşük fosfat kaynaklı olup olmadığını anlamak için, PCC 6803 türü, BG-11 besi yerindeki fosfat miktarının 0,5, 1, 2 ve 4 katı kadar fosfat ve %20 oranında DSS içeren reaktörlerde de büyütülmüşlerdir. Bütün çalışmalar 3 tekrar halinde yapılmıştır. DDSS'nin ve reaktörlerdeki seyreltilmiş besi yerlerinin bazı karakteristik özellikleri (pH ve alkalinite değerleri; amonyum-N, organik-N ve ortafosfat derişimleri) Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan DDSS'nin karakterizasyonu

Parametreler	Ham DDSS	%20 DDSS	%40 DDSS	%60 DDSS	%80 DDSS
pH	8.08	7.92	7.96	7.96	7.96
Alkalinite (mg/L CaCO_3)	346	69.2	138.4	207.6	276.8
TKN (mg/L)	1005	201	402	603	804
$\text{NH}_4^+\text{-N}$ (mg/ml)	1380	126	252	378	504
Organik-N (mg/L)	375	75	150	225	300
$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (mg/L)	0.41	0.082	0.164	0.246	0.328

2.3. Yürütülen Ölçümler

PCC 6803 kültürleri, başlangıç derişimi OD₆₈₀'de yaklaşık 0,1 olacak şekilde

başlatılmıştır. Reaktörler durağan evrenin sonuna kadar büyütülmüşlerdir. Bütün reaktörler OD₆₈₀'de günlük olarak ölçülmüşlerdir.

Spektrofotometrik ölçümler “Jenway 6300” spektrofotometresi kullanılarak yapılmıştır.

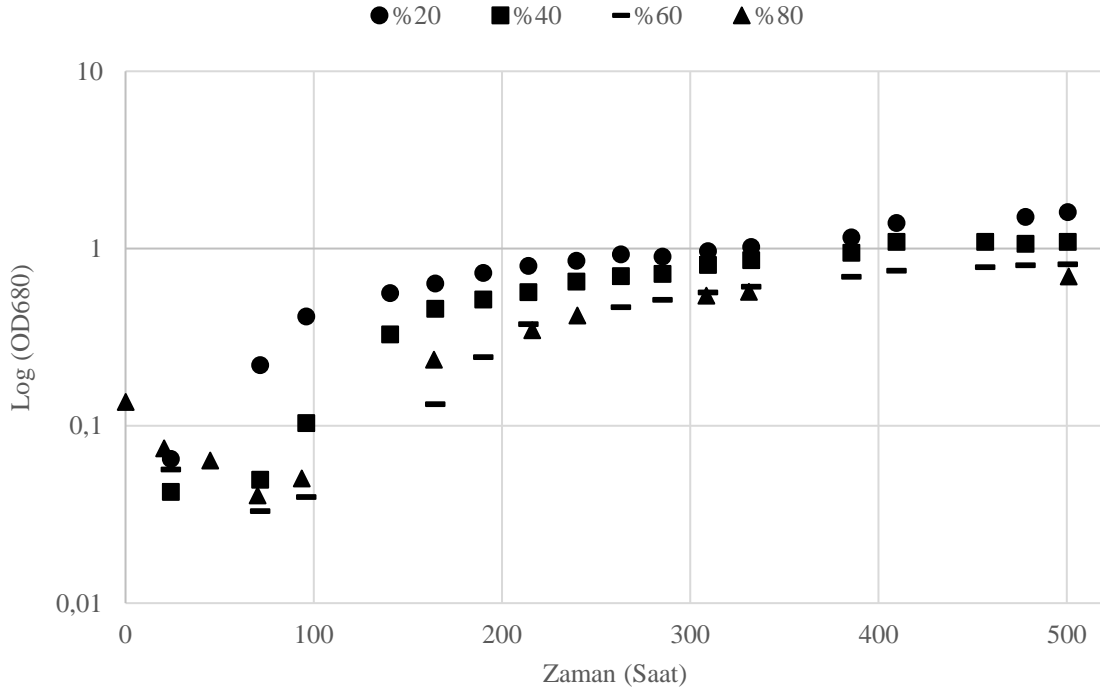
Kesikli büyümenin sonunda her reaktörden alınan örnekler 10.000 g’de santrifüj edilmiştir. Supernatantlar TKN, amonyum-N ve ortafosfat ölçümü için kullanılmıştır. Farklı OD₆₈₀ değerlerine karşılık gelen askıda katı madde belirlemek için AKM tayini yapılarak AKM ile optik absorbans arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Elde edilen verilerden besi yerlerindeki biyokütle miktarı AKM cinsinden belirlenmiştir. Besi yeri olarak kullanılan DDSS’nin önceden filtrelenmiş olması sebebiyle içerisinde başlangıç anında AKM bulunmadığı kabul edilmiştir.

Seyreltmeler distile su kullanılarak yapılmıştır. Buharlaştırma ile kaybolun su distile su kullanılarak telafi edilmiş olup, buharlaştırma kaynaklı düzeltme iki günde bir yapılmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1 Algal Büyüme

PCC 6803 türünün %20, 40, 60 ve 80 oranlarında DDSS içeren besi yerlerinde çoğalma grafikleri Şekil 1’de gösterilmiştir. Seyreltilmemiş (%100) DDSS’de PCC 6803 büyümesi gözlemlenmemiştir.



Şekil 1. PCC 6803'ün farklı sızıntı suyu derişimlerine bağlı yarı-logaritmik eksenli çoğalma grafiği

%20, %40, %60 ve %80 oranlarında DDSS içeren besi yerleri durağan fazın sonuna kadar büyütülmüşlerdir. Bu süre yaklaşık olarak 500 saat civarına denk gelmektedir. İlk 100 saatte biyokütle miktarında bir azalma meydana gelmiştir. Bu azalmanın nedeni ortamdaki stres koşullarına bağlı olarak gözlenen bir etkidir. DDSS'deki yüksek amonyak derişimi ve PCC 6803 türünün BG-11 besi yerinde çoğalmaya alışması bu stresi oluşturan etkenler olabilir. En yüksek biyokütle üretim miktarı en düşük DDSS içeren besi yerinde gerçekleşmiştir. Artan DDSS

derişimleri ile beraber ölçülen biyokütle üretim miktarında düşüş gözlemlenmiş olup %80 oranında DDSS içeren besi yerinde en az biyokütle üretimi gerçekleşmiştir. %20 oranında DDSS içeren besi yerinde elde edilen en yüksek biyokütle derişimi yaklaşık 318 mg AKM/L ve gözlemlenen en yüksek OD₆₈₀ değeri ise 1,816'dır. Tablo 2'de %20, 40, 60 ve 80 oranlarında DDSS içeren besi yerlerinde ve BG-11 besi yerinde çoğaltılan PCC 6803 türü için hesaplanan AKM değerleri verilmektedir.

Tablo 2. PCC 6803'ün farklı sızıntı suyu derişimlerinde ve BG-11 besi yerindeki AKM değerleri

Parametre	BG-11	%20 DDSS	%40 DDSS	%60 DDSS	%80 DDSS
AKM (mg/L)	1931	281	190	142	121

Öte yandan artan DDSS derişimleri ile beraber kültürlerde gecikme evresinin uzadığı gözlemlenmiştir. %20 oranında DDSS içeren besi yerinde gecikme evresi 0 ile 80 saat arası sürerken, %80 oranında DDSS içeren besi yerinde gecikme evresi 150 saatten fazla sürmüştür.

Ayrıca, üssel evre hesaplanan özgül çoğalma hızları da oldukça düşüktür. Tablo 3'te %20, 40, 60 ve 80 oranlarında DDSS içeren besi yerlerinde ve BG-11 besi yerinde çoğaltılan PCC 6803 türü için hesaplanan özgül çoğalma hızları görülmektedir.

Tablo 3. PCC 6803'ün farklı sızıntı suyu derişimlerinde ve BG-11 besi yerindeki üstel çoğalma evresindeki özgül büyüme hızları

Parametre	BG-11	%20 DDSS	%40 DDSS	%60 DDSS	%80 DDSS
İkiye Katlanma Süresi (Saat)	10.30	26.97	25.48	36.00	35.55
Özgül Büyüme Hızı (k/v) (Saat ⁻¹)	0.097	0.038	0.039	0.028	0.028
Özgül Büyüme Hızı (u) (Saat ⁻¹)	0.067	0.026	0.027	0.019	0.019

Artan DDSS derişimi ile beraber görünen büyüme oranı düşmesinin DDSS derişimi ile beraber artan amonyum derişiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürdeki diğer çalışmalar incelendiğinde, artan amonyum derişiminin mikroalglerin çoğaltılması üzerindeki olumsuz etkileri olduğu görülmektedir [11, 40-42]. Ayrıca DDSS'nin düşük fosfat içeriğinin de düşük büyüme oranına sebep olabileceği düşünüldüğünden, farklı fosfat derişimlerinin DDSS'de PCC 6803 çoğalması üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Bu amaçla BG-11 besi yerindeki fosfat miktarının 0,5, 1, 2 ve 4 katı kadar fosfat ve %20 oranında DSS içeren reaktörlerde PCC 6803 çoğaltılmıştır. Fakat fosfat

ilavesinin büyüme üzerinde herhangi bir etkisi gözlemlenmemiş olup fosfat ilavesi yapılmayan reaktörler ile aynı çoğalma hızı gözlemlenmiştir. Bu sonuçta çoğalmayı asıl kısıtlayıcı etmenin düşük fosfat derişiminin değil, yüksek amonyum derişiminin veya başka bir etkenin neden olduğunu göstermektedir.

3.2 Azot ve Fosfor Geri Kazanımı

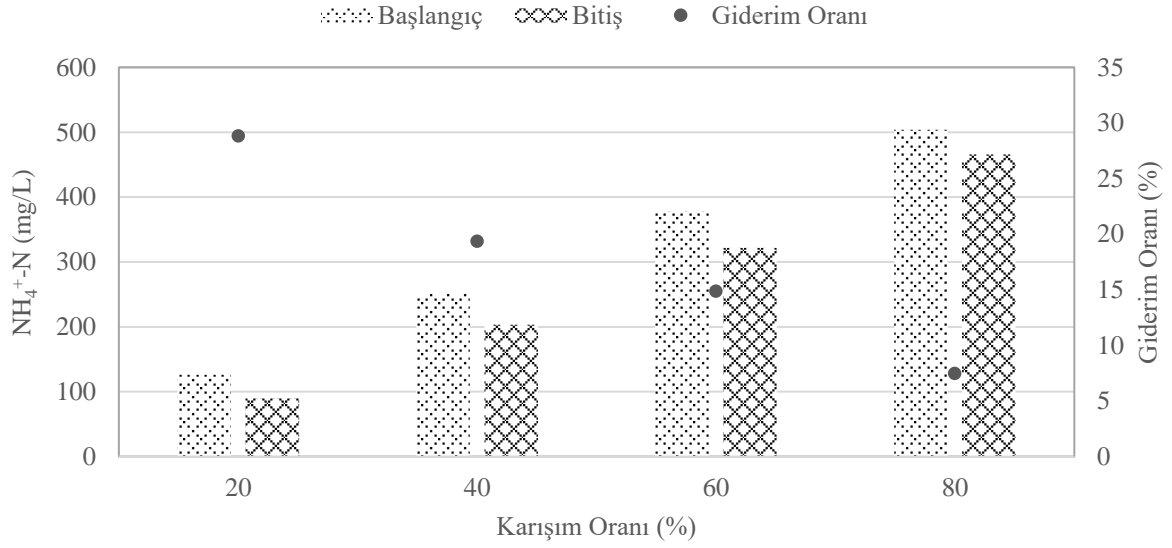
Tablo 4'te 500 saatlik çoğaltma sonrası bütün denemelerin bazı karakteristik özellikleri (pH ve alkalinite değerleri; amonyum-N, organik-N ve ortafosfat derişimleri) gösterilmiştir.

Tablo 4. 500 saat çoğalma sonrası besi yerlerinin karakterizasyonu

Parametre	%20 DDSS	%40 DDSS	%60 DDSS	%80 DDSS
AKM (g/L)	0.52	0.665	0.74	0.79
UAKM (g/L)	0.34	0.37	0.37	0.2
Sabit Katılar (g/l)	0.18	0.295	0.37	0.59
pH	6.44	6.64	6.75	4.68
Alkalinite (mg/L CaCO ₃)	64	53	48	ND
TKN (mg/L)	97	223	358	642
NH ₄ ⁺ -N (mg/ml)	90	203	321	466
Organik-N (mg/L)	7	20	37	176
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	0.006	0.007	0.027	0.039

Şekil 2'de çoğaltma sonrası reaktörlerdeki başlangıç ve bitiş amonyak azotu giderim oranları gösterilmiştir. %20, %40, %60 ve %80 oranında DDSS içeren besi yerlerinin amonyum azotu

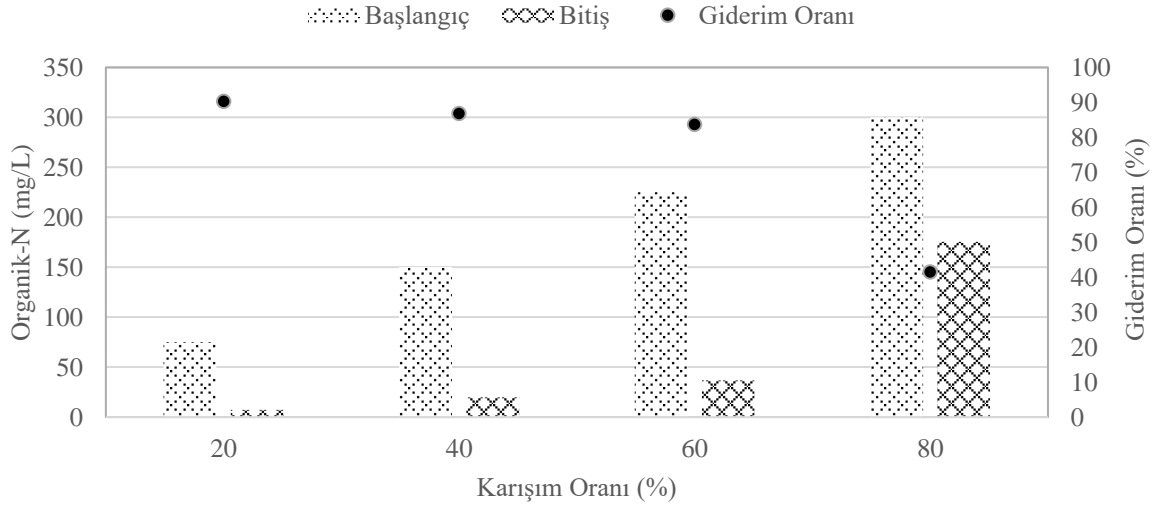
giderim verimi sırasıyla %28,9, %19,4, %14,9 ve %7,5'dir. Artan DDSS derişimi ile beraber amonyak giderim veriminin düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 2. PCC 6803'ün farklı sızıntı suyu derişimlerinde başlangıç/bitiş amonyum değerleri ve giderim oranları

Şekil 3'de çoğaltma sonrası reaktörlerdeki başlangıç ve bitiş organik azot giderim oranları gösterilmiştir. %20, %40, %60 ve %80 oranında DDSS içeren besi yerlerinin organik azot giderim verimi sırasıyla %90,3, %86,9, %83,7 ve

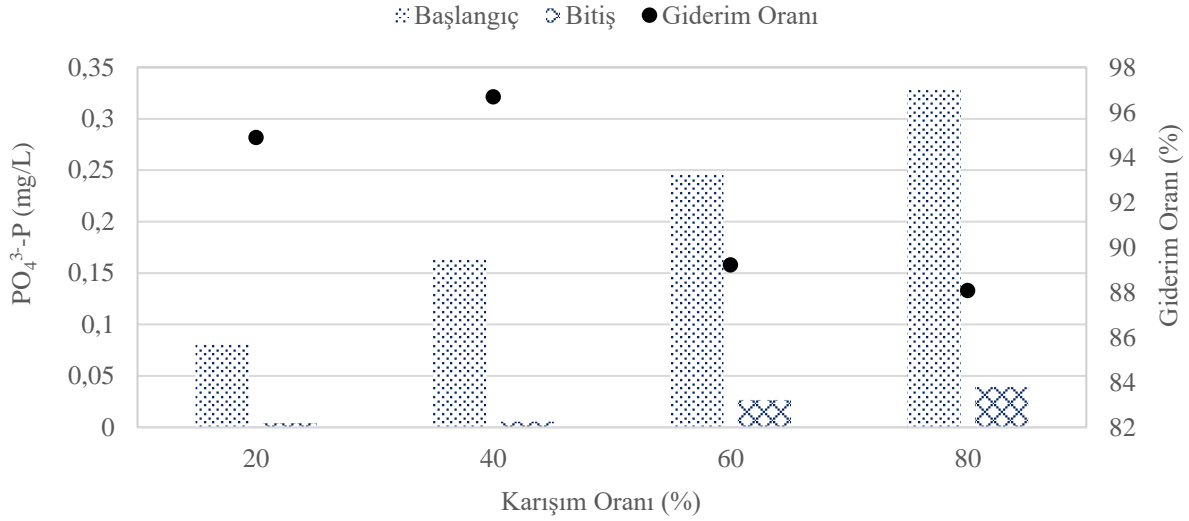
%4,51'dir. Artan DDSS derişimi ile beraber organik azot giderim veriminin düştüğü gözlemlenmiştir. Dahası %80 oranında DDSS içeren besi yerinde ise giderim veriminde bir önceki seyreltmeye göre keskin bir düşüş vardır.



Şekil 3. PCC 6803'ün farklı sızıntı suyu derişimlerinde başlangıç/bitiş organik azot değerleri ve giderim oranları

Şekil 4'te çoğaltma sonrası reaktörlerdeki başlangıç ve bitiş TKN giderim oranları gösterilmiştir. %20, %40, %60 ve %80 oranında DDSS içeren besi yerlerinin TKN giderim verimi sırasıyla %51,8, %44,6, %40,6 ve %20,2'dir.

Artan DDSS derişimi ile beraber TKN giderim veriminin de düştüğü gözlemlenmiştir. Dahası %80 oranında DDSS içeren besi yerinde ise giderim veriminde bir önceki seyreltmeye göre keskin bir düşüş vardır.



Şekil 4. PCC 6803'ün farklı sızıntı suyu derişimlerinde başlangıç/bitiş orto-fosfat değerleri ve giderim oranları

Çalışmanın sonuçlarına göre reaktörlerdeki başlangıç ve bitiş azot kompozisyonları da aynı değildir. Başlangıçta, reaktörlerin içeriğindeki amonyak azotunun organik azota oranı 1,68 olarak belirlenmiştir. Çoğaltma sonunda ise %20, %40, %60 ve %80 oranında DDSS içeren besi yerlerinin içeriğindeki amonyak azotunun organik azota oranı sırasıyla 12,4, 10,3, 8,8 ve 2,6 olacak şekilde değışti tespit edilmiştir.

Sonuçlardan görülebileceği üzere, azot giderimi büyük oranda organik azot gideriminden kaynaklanmaktadır. Siyanobakteriler, amonyak, nitrat, nitrit, azot gazı (N₂) gibi inorganik azot kaynaklarını ve üre, ürik asit, siyanat, allantoin, arginin ve glutamin başta olmak üzere amino asitler, pürin ve pirimidin bazıları gibi organik azot kaynaklarını azot kaynağı olarak kullanabilirler [43-48]. PCC 6803 ise azot kaynağı olarak amonyum, nitrat, nitrit gibi inorganik azot kaynaklarını kullanabildiği gibi üre, arginin ve glutamin başta olmak üzere bazı temel amino asitleri de organik azot kaynağı olarak kullanabilmesine karşın [24, 46-49], amonyak öncelikli azot kaynağıdır [46]. Fakat, kompleks azotlu bileşiklerin PCC 6803 tarafından kullanılabilmesine dair literatürde bir çalışma yoktur. Öte yandan, kontrol besi yerinde anlamlı ölçüde azot giderimi olmadığı gözlemlenmiştir. Organik azotun giderimine sebep olan etmenin ne olduğu hakkında kesin bir yorum yapmak mümkün değildir. PCC 6803 türünün hetetrofik

veya mikсотrofik olarak da çoğaldığı literatürde belirtilmişse de, bu tip çoğalmaların özel koşullar altında (ışık-indüklenmiş hetetrofi ya da basit karbon kaynakları kullanılarak gerçekleştirilen mikсотrofi) gerçekleşebildiği ifade edilmektedir [44, 47, 48, 50]. Bu sebepler ile organik azotun gideriminin sorumlusunun PCC 6803, ortamda bulunan hetetrofik organizmalar ya da daha farklı bir süreç olup olmadığı ile ilgili yorum yapmak için yeterince veri yoktur.

4. Sonuçlar

Synechocystis sp. PCC 6803 türü azot ve fosfor varlığında yüksek çoğalma hızlarına sahipken lipid üretkenliği kayıp etmemesinden dolayı atık suda biyokütle üretimi için en uygun adaylardan birisidir. Fakat, yüksek amonyum içeriğinden kaynaklandığı düşünülen inhibitör etki çalışmada mikroorganizmaların istenilen ölçüde çoğalmasına engel olduğu düşünülmektedir. İleriki çalışmalarda çoğalmayı kısıtlayıcı etmenin yüksek amonyum derişiminin sebep olup olmadığı tespit edilmesi gerekmektedir. İnhibitör madde belirlendikten sonra *Synechocystis* sp. PCC 6803 yüksek uyum sağlama yetisinden yararlanılarak türün inhibitör maddeye karşı dirençli hale getirilmesi, PCC 6803'ün vaat ettiklerini gerçekleştirmesini sağlayabilir.

5. Kaynaklar

1. Pulz, O., Gross, W. (2004). Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **65**(6), 635-648.
2. Li, Y., Horsman, M., Wu, N., Lan, C. Q., Dubois-Calero, N. (2008). Biofuels from microalgae. *Biotechnology Progress*, **24**(4), 815-820.
3. Brennan, L., Owende, P. (2010). Biofuels from microalgae—a review of technologies for production processing and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **14**(2), 557-577.
4. Milledge, J. J. (2011). Commercial application of microalgae other than as biofuels: a brief review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, **10**(1), 31-41.
5. Ruiz, J., Olivieri, G., de Vree, J., Bosma, R., Willems, P., Reith, J. H., Barbosa, M. J. (2016). Towards industrial products from microalgae. *Energy & Environmental Science*, **9**(10), 3036-3043.
6. Borowitzka, M. A. (2013). High-value products from microalgae—their development and commercialisation. *Journal of Applied Phycology*, **25**(3), 743-756.
7. Priyadarshani, I., & Rath, B. (2012). Commercial and industrial applications of micro algae—A review. *Journal of Algal Biomass Utilization*, **3**(4), 89-100.
8. Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, **25**(3), 294-306.
9. Chen, G., Zhao, L., Qi, Y. (2015). Enhancing the productivity of microalgae cultivated in wastewater toward biofuel production: a critical review. *Applied Energy*, **137**, 282-291.
10. Leite, G. B., Abdelaziz, A. E., Hallenbeck, P. C. (2013). Algal biofuels: challenges and opportunities. *Bioresource Technology*, **145**, 134-141.
11. Delrue, F., Setier, P. A., Sahut, C., Cournac, L., Roubaud, A., Peltier, G., Froment, A. K. (2012). An economic, sustainability, and energetic model of biodiesel production from microalgae. *Bioresource Technology*, **111**, 191-200.
12. Darzins, A., Pienkos, P., & Edey, L. (2010). Current status and potential for algal biofuels production. A report to IEA Bioenergy Task, 39.
13. Doucha, J., Straka, F., & Lívanský, K. (2005). Utilization of flue gas for cultivation of microalgae *Chlorella* sp. in an outdoor open thin-layer photobioreactor. *Journal of Applied Phycology*, **17**(5), 403-412.
14. McGinn, P. J., Dickinson, K. E., Bhatti, S., Frigon, J. C., Guiot, S. R., O'Leary, S. J. (2011). Integration of microalgae cultivation with industrial waste remediation for biofuel and bioenergy production: opportunities and limitations. *Photosynthesis Research*, **109**(1-3), 231-247.
15. Rawat, I., Kumar, R. R., Mutanda, T., Bux, F. (2011). Dual role of microalgae: phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. *Applied Energy*, **88**(10), 3411-3424.
16. Mallick, N. (2002). Biotechnological potential of immobilized algae for wastewater N, P and metal removal: a review. *Biometals*, **15**(4), 377-390.
17. Pittman, J. K., Dean, A. P., Osundeko, O. (2011). The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources. *Bioresource Technology*, **102**(1), 17-25.
18. Bilanovic, D., Holland, M., & Armon, R. (2012). Microalgal CO₂ sequestering—modeling microalgae production costs. *Energy Conversion and Management*, **58**, 104-109.
19. Li, W. W., Yu, H. Q., Rittmann, B. E. (2015). Chemistry: Reuse water pollutants. *Nature*, **528**, 29-31.
20. Cuellar-Bermudez, S. P., Aleman-Nava, G. S., Chandra, R., Garcia-Perez, J. S., Contreras-Angulo, J. R., Markou, G., Parra-Saldivar, R. (2016). Nutrients utilization and contaminants removal. A review of two approaches of algae and cyanobacteria in wastewater. *Algal Research*, **24**, 438-449.
21. Correll, D. L. (1998). The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. *Journal of Environmental Quality*, **27**(2), 261-266.
22. Anderson, D. M., Glibert, P. M., Burkholder, J. M. (2002). Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*, **25**(4), 704-726.
23. Christenson, L., Sims, R. (2011). Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts. *Biotechnology Advances*, **29**(6), 686-702.
24. Krasikov, V., Aguirre von Wobeser, E., Dekker, H. L., Huisman, J., Matthijs, H. C. (2012). Time-series resolution of gradual nitrogen starvation and its impact on photosynthesis in the cyanobacterium *Synechocystis* PCC 6803". *Physiologia Plantarum*, **145**(3), 426-439.
25. de-Bashan, L. E., Bashan, Y. (2010). Immobilized microalgae for removing pollutants: review of practical aspects. *Bioresource Technology*, **101**(6), 1611-1627.
26. Farré, M., Barceló, D. (2003). Toxicity testing of wastewater and sewage sludge by biosensors, bioassays and chemical analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, **22**(5), 299-310.
27. Aslan, S., Kapdan, I. K. (2006). Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. *Ecological Engineering*, **28**(1), 64-70.
28. Vermaas, W. (1996). Molecular genetics of the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803

- Principles and possible biotechnology applications. *Journal of Applied Phycology*, **8**, 263-273.
29. Machado, I.M.P., Atsumi, S. (2012). Cyanobacterial biofuel production. *Journal of Biotechnology*, **162**, 50-56.
30. Hu, Q., Sommerfeld, M., Jarvis, E., Ghirardi, M., Posewitz, M., Seibert, M., Darzins, A. (2008). Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances. *The Plant Journal*, **54**(4), 621-639.
31. Cai, T., Ge, X., Park, S. Y., Li, Y. (2013). Comparison of *Synechocystis* sp. PCC6803 and *Nannochloropsis salina* for lipid production using artificial seawater and nutrients from anaerobic digestion effluent. *Bioresource Technology*, **144**, 255-260.
32. Kim, H. W., Vannela, R., Zhou, C., Rittmann, B. E. (2011). Nutrient acquisition and limitation for the photoautotrophic growth of *Synechocystis* sp. PCC6803 as a renewable biomass source. *Biotechnology and Bioengineering*, **108**, 277-285.
33. Lagarde, D., Beuf, L., Vermaas, W. (2000). Increased production of zeaxanthin and other pigments by application of genetic engineering techniques to *Synechocystis* sp. strain PCC 6803. *Applied and Environmental Microbiology*, **66**(1), 64-72.
34. Huang, L., McCluskey, M. P., Ni, H., LaRossa, R. A. (2002). Global gene expression profiles of the cyanobacterium *Synechocystis* sp. strain PCC 6803 in response to irradiation with UV-B and white light. *Journal of Bacteriology*, **184**(24), 6845-6858.
35. Guedes, A. C., Amaro, H. M., Barbosa, C. R., Pereira, R. D., Malcata, F. X. (2011). Fatty acid composition of several wild microalgae and cyanobacteria, with a focus on eicosapentaenoic, docosahexaenoic and α -linolenic acids for eventual dietary uses. *Food Research International*, **44**(9), 2721-2729.
36. Huang, L., McCluskey, M. P., Ni, H., LaRossa, R. A. (2002). Global gene expression profiles of the cyanobacterium *Synechocystis* sp. strain PCC 6803 in response to irradiation with UV-B and white light. *Journal of Bacteriology*, **184**, 6845-6858.
37. Lu, X. (2010). A perspective: photosynthetic production of fatty acid-based biofuels in genetically engineered cyanobacteria. *Biotechnology Advances*, **28**, 742-746.
38. Teruo, O., Kaplan A. (2003). Inorganic carbon acquisition systems in cyanobacteria." *Photosynthesis Research*, **77**, 105-115.
39. Antal, T.K., Lindblad P. (2005). Production of H₂ by sulphur-deprived cells of the unicellular cyanobacteria *Gloeocapsa alpicola* and *Synechocystis* sp. PCC 6803 during dark incubation with methane or at various extracellular pH. *Journal of Applied Microbiology*, **98**, 114-120.
40. Cho, S., Lee, N., Park, S., Yu, J., Luong, T.T., Oh, Y.K., Lee, T. (2013). Microalgae cultivation for bioenergy production using wastewaters from a municipal WWTP as nutritional sources. *Bioresource Technology*, **131**, 515-520.
41. Singh, M., Reynolds, D.L., Das, K.C. (2011). Microalgal system for treatment of effluent from poultry litter anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, **102**, 10841-10848.
42. Wang, T., Yabar, H., Higano, Y. (2013). Perspective assessment of algae-based biofuel production using recycled nutrient sources: the case of Japan. *Bioresource Technology*, **128**, 688-696.
43. Kapp, R., Stevens Jr, S. E., Fox, J. L. (1975). A survey of available nitrogen sources for the growth of the blue-green alga, *Agmenellum quadruplicatum*. *Archives of Microbiology*, **104**(1), 135-138, 1975.
44. Flores, E., Herrero, A. (1994). "Assimilatory nitrogen metabolism and its regulation" in The molecular biology of cyanobacteria, (Ed) Donald A. Bryant., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 488-511.
45. Miller, S. R., Martin, M., Touchton, J., Castenholz, R. W. (2002). Effects of nitrogen availability on pigmentation and carbon assimilation in the cyanobacterium *Synechococcus* sp. strain SH-94-5. *Archives of Microbiology*, **177**(5), 392-400.
46. Flores, E., and A. Herrero. (2005). Nitrogen assimilation and nitrogen control in cyanobacteria. *Biochemical Society Transactions*, **33**(1), 164-167.
47. Krasikov, V., Aguirre von Wobeser, E., Dekker, H. L., Huisman, J., Matthijs, H. C. (2012). Time-series resolution of gradual nitrogen starvation and its impact on photosynthesis in the cyanobacterium *Synechocystis* PCC 6803. *Physiologia Plantarum*, **145**(3), 426-439.
48. Krasikov, V. (2012). Dynamic changes in gene expression of the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803 in response to nitrogen starvation. PhD thesis, University of Amsterdam, Amsterdam, Netherlands.
49. Wang, H. L., Postier, B. L., Burnap, R. L. (2004). Alterations in global patterns of gene expression in *Synechocystis* sp. PCC 6803 in response to inorganic carbon limitation and the inactivation of *ndhR*, a LysR family regulator. *Journal of Biological Chemistry*, **279**(7), 5739-5751.
50. Yu, Y., You, L., Liu, D., Hollinshead, W., Tang, Y. J., Zhang, F. (2013). Development of *Synechocystis* sp. PCC 6803 as a phototrophic cell factory. *Marine Drugs*, **11**(8), 2894-2916.

Korunan ve Otlatılan Meralarda Ot Kalitesinin Karşılaştırılması

Halil KARAN^{1*}, Mehmet BAŞBAĞ²

¹Fırat Üniversitesi, Sivrice Meslek Yüksek Okulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü
23119, Elazığ, TÜRKİYE

²Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, 21280, Diyarbakır
hkaran@firat.edu.tr

(Geliş/Received:21.07.2017 ;Kabul/Received:06.12.2017)

Özet

Bu araştırma; 2014-2015 yıllarında Elazığ Merkez İlçesine bağlı Hal Köyü'nde korunan ve otlatılan meraların Nisan, Mayıs ve Haziran aylarındaki ot kalitelerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. İki yıllık araştırma sonuçlarına göre, kuru maddedeki ham protein oranı, asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF), nötral deterjanda çözünmeyen lif (NDF), sindirilebilir kuru madde (SKM), kuru madde tüketimi (KMT), nispi yem değeri (NYD), Fosfor (P), Kalsiyum (Ca), Magnezyum (Mg) ve Potasyum (K) oranları sırasıyla korunan alanda %15.42, %34.00, %49.45, %62.42, %2.48, 120.98, %0.27, %1.32, %0.30 ve %1.70, otlatılan alanda ise %15.36, %32.23, %48.86, %63.79, %2.53, 126.13, %0.28, %1.23, %0.31 ve %1.57 olarak tespit edilmiştir. İki yıllık araştırma sonuçlarına göre, her iki merada aylara bağlı olarak; Ca ve Mg oranları bakımından önemli farklılık görülmemesine karşın, ADF, NDF, P oranlarında artış ve K oranında ise azalma görülmüştür. Vejetasyon ilerledikçe her iki meranın ham protein oranında düşüşler görülmüştür. En yüksek ham protein oranı %19.71 ile ilk yıl Nisan ayında elde edilirken, en düşük oran ise %9.19 ile ikinci yıl Haziran ayında elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Korunan, otlatılan, mera, kalite

Comparison of Herbage Quality in the Non-Grazed and Grazed Pastures

Abstract

This study was carried out in order to compare with their quality features of the two different areas to be non-grazed and grazed pastures in April, May and June months in the Hal village, Elazığ center in 2014-2015. According to the two year average results, the ratios of crude protein content, acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), digestible dry matter (DDM), dry matter intake (DMI) and relative feed value (RFV), phosphor (P), calcium (Ca), magnesium (Mg) and potassium (K) in dry matter were 15.42 %, 34.00 %, 49.45 %, 62.42 %, 2.48 %, 120.98, 0.27 %, 1.32 %, 0.30 % and 1.70 % respectively in the non-grazed area, while, in the grazed area, they were determined as 15.36%, 32.23%, 48.86%, 63.79%, 2.53%, 126.13, 0.28%, 1.23%, 0.31% and 1.57%. According to the two year average results, depending on the months; there was an increase in ADF, NDF and P ratios, a decrease in K, and there was no determined significant change in Ca and Mg ratios. It was seen a decrease in the crude protein content as the vegetation progressed. According to two-year results, the highest crude protein content was obtained with 19.71% in April of 2014 and the lowest crude protein content was obtained with 9.19% in June 2015

Keywords: Non-grazed, grazed, pasture, quality

1.Giriş

Doğal çayır-mera alanları 3.5 milyar hektarla dünya tarım alanlarının %72'sini, kara parçasının ise %27'sini oluşturmaktadır [1]. Ülkemizin toplam tarım alanının %38'ini çayır meralar oluşturmaktadır. Mevcut 14.6 milyon hektar çayır ve mera alanlarımız, toplam alanın %19'unu, tarım alanlarının ise %37.4'ünü kapsamaktadır [2]. Ülkemiz çayır-meralarının

yaklaşık olarak %34.8'i Doğu Anadolu Bölgesinde bulunmaktadır [3]. Elazığ il sınırları içerisinde ise 225.000 ha çayır-mera alanı yer almakta olup, bu miktar; toplam tarım alanının %17'sini oluşturmaktadır [4].

Hayvansal üretimde en önemli girdi maliyetini oluşturan kaba yemin, en ucuz ve en kolay bir şekilde temin edildiği yerler çayır ve mera alanlarıdır. Ancak, ülkemizdeki çayır-mera alanları, yıllarca yapılan zamansız ve aşırı

otlatmalar sonucunda verim ve kalitelerini önemli ölçüde kaybetmişlerdir. Özellikle eğimli mera alanlarında erozyonun etkisi günümüze kadar artarak devam etmiştir. Çayır mera alanlarımız, bu olumsuzluklardan dolayı hayvanların kaba yem ihtiyacını karşılayamaz duruma gelmiştir.

Çayır-mera alanlarımız, sağladıkları 837 bin ton ham protein ve 6 milyon ton nişasta değeriyle hayvan beslenmesinde önemli besin kaynaklarını oluşturmaktadır [5]. Kontrolsüz otlatma, bitki topluluklarına, münferit bitkilere, toprak ve ekosisteme zarar vermenin yanında, bitkilerin karbonhidrat rezervlerini azaltır, kök sistemini zayıflatır, bunun sonucunda bitki ölür ve yem bitkileri yerini istenmeyen bitki türleriyle değiştirir [6]. Bilindiği gibi merada bulunan yemlerin özellikle baklagil, buğdaygil ve hayvanların isteyerek tükettiği diğer familya bitkilerinin yoğunluğu kaliteyi direk olarak etkilemektedir. Aşırı ve zamansız yapılan otlatmalar hayvanların istemediği yem bitkilerinde artışa neden olmakta, dolayısıyla meraların kalite derecelerinde düşmelere neden olmaktadır.

Mineraller hayvanın sağlığı ve verim için gerekli olan elementlerdir. Özellikle süt ineklerinin rasyonlarında Ca, P, Mg, Na, Cl, S ve K bulunmalıdır. Na ve Cl rasyonlara tuz olarak katılır. Minerallerin eksikliğinde; hayvanlarda raşitizm (D vitamini-Ca:P oranı), büyümede yavaşlama, kemiklerde kolay kırılma, süt veriminde düşme gibi rahatsızlıkların yanında, özellikle fosfor eksikliğinde odun, toprak, kıl yeme durumu ve kızgınlık gösterememe gibi belirtiler olduğundan dolayı, rasyonlardaki mineraller zaman zaman kontrol edilmelidir [7]. Bu mineraller yemin kalitesini doğrudan etkilemektedir.

Meraların yeşil olduğu dönemlerde kuzulara yapılacak ek yemlemenin olumlu bir etkisinin bulunmadığı bildirilmektedir [8]. İnsanların beslenmesinde günlük olarak ihtiyaç duyulan 70 gram protein gereksiniminin, en az 33 gramının hayvansal kökenli olması [9] gerekliliği dikkate alındığında, çayır-mera alanlarımızın ne kadar önemli olduğu görülmektedir.

Bu çalışma, Elazığ Merkez İlçesine bağlı Hal Köyü'nde korunan ve otlatılan meraların Nisan, Mayıs ve Haziran aylarındaki ot kalitelerini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu araştırma; Elazığ Merkez İlçesine bağlı Hal Köyünde korunan ve otlatılan meralarında 2014 ve 2015 yıllarında yürütülmüştür. Elazığ iline ait iklim verileri Meteoroloji Müdürlüğünden temin edilmiştir. Elazığ ilinin iklim verilerine bakıldığında; uzun yıllar aylık ortalama sıcaklığı 13.01 °C, toplam yağış miktarı 408.7 mm ve ortalama nispi nem değeri ise %54.00 olmuştur. Araştırmanın yürütüldüğü 2014 yılında ortalama sıcaklık 15.1 °C, toplam yağış 445.9 mm ve ortalama nisbi nem %51.1, 2015 yılında ise ortalama sıcaklık 14.1 °C, toplam yağış 499.7 mm ve ortalama nisbi nem %54.0 olarak gerçekleşmiştir.

Araştırma konusu mera alanlarında (0-30cm) derinlikten alınan toprak numuneleri Gıda Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü'nün Toprak Analiz Laboratuvarı'nda analizleri yaptırılmış, analizden çıkan sonuçlar Karaman [10] tarafından belirlenen sınır değerler esas alınarak değerlendirilmeleri yapılmıştır. Çıkan sonuçlara göre; korunan ve otlatılan alanların her ikisinin toprakları hafif tuzlu, kuvvetli alkali, fosfor seviyesi az, potasyum seviyeleri yeterli olduğu, kireç içerikleri bakımından korunan alanın orta, otlatılan alanın çok fazla, organik madde içeriği bakımından korunan alanın orta, otlatılan alanın ise yüksek seviyede olduğu görülmüştür.

Araştırma 2014-2015 yıllarının korunan ve otlatılan alanlarda Nisan-Mayıs-Haziran aylarında yapılmıştır. Araştırmada 33x33 cm boyutunda tesadüfen atılan çerçevenin (kuadrat) içinde kalan bitkilerden her alan için 12 adet biçim yapılmış, her 3 biçimin karışımından 1 numune elde edilmiş, her alan için toplamda 4 numune oluşturulmuştur. Yeşil olarak biçilen numuneler toprak üstünden biçilerek, gölgelemesi yapılan sera ortamında 7 gün süreyle kurutulmuştur. Oluşturulan bu numunelerin kalite analizleri Dicle Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (DÜBTAM) Laboratuvarında NIR cihazı (Foss XDS - near infrared) ile yapılmıştır. Laboratuvarında aşağıdaki kalite analizleri incelenmiştir.

1-Ham protein oranı (%), ADF (asit deterjanda çözünmeyen lif) değeri (%) ve NDF (nötral deterjanda çözünmeyen lif) değeri (%)

Yemlerde ADF'nin düşük, NDF'nin yüksek olması istenilir. Ham protein oranı, ADF ve NDF değerleri Nisan-Mayıs-Haziran aylarında toplanan kuru ot örneklerinin NIR cihazında yapılan analiz sonucu elde edilmiştir.

2-Sindirilebilir Kuru Madde (SKM), Kuru Madde Tüketimi (KMT) Nispi Yem Değeri (NYD)

Dicle Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarında yapılan ADF ve NDF analizi yardımıyla, sindirilebilir kuru madde, kuru madde tüketimi ve nispi yem değerleri SKM'nin KMT ile çarpımının 1.29 katsayısına oranı ile bulunur [11]. Buna göre;

$$SKM = 88.9 - (0.779 \times \% ADF),$$

$$KMT = (120 / \% NDF) \text{ ve}$$

NYD = SKM x KMT / 1.29 şeklinde hesaplanmaktadır.

3-Fosfor (P), Kalsiyum (Ca), Magnezyum (Mg) ve Potasyum (K) Değerleri

Mineraller yemin kalitesini doğrudan etkilemektedir. Fosfor, kalsiyum, magnezyum ve potasyum değerleri Nisan-Mayıs-Haziran aylarında toplanan kuru ot örneklerinin NIR cihazında yapılan analizleri sonucu elde edilmiştir.

4-İstatistik Model ve Değerlendirme Yöntemi

Korunan ve otlatılan alanlarda Nisan-Mayıs ve Haziran aylarında toplanılan ot örnekleri NIR cihazında (ham protein oranı, ADF, NDF, SKM,

KMT, NYD, fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum) ölçümleri yapılmış, elde edilen veriler tesadüf blokları desenine göre MSTATC (Michigan State University, East Lansing, MI) istatistik paket programında değerlendirilmiş ve önemli çıkan faktör ortalamaları LSD %1 ve %5'e göre guplandırılmıştır.

3.Araştırma Bulguları ve Tartışma

3.1.Ham protein oranı (%), ADF (asit deterjanda çözünmeyen lif) değeri (%) ve NDF (nötral deterjanda çözünmeyen lif) değeri (%)

Tablo 1'de ay interaksiyonuna baktığımızda; birinci yıl en yüksek ham protein oranı %19.71 ile Nisan ayında, en düşük ham protein oranı ise Mayıs ve Haziran aylarında elde edilmiştir. Çalışmanın ikinci yılında en yüksek ham protein oranı %16.79 ile Nisan ayında, en düşük ham protein oranı %9.19 ile Haziran ayında elde edilmiştir. İki yıllık birleşik ortalamalara bakıldığında, en yüksek ham protein oranı %18.25 ile Nisan ayında, en düşük ham protein oranı %12.03 ile Haziran ayında elde edilmiştir. Meradaki bitkilerin olgunlaşması ile birlikte protein oranları azalmıştır.

Tablo 1. Korunan ve otlatılan alanlarda HP, ADF ve NDF oranları (%) ve oluşan gruplar										
	Aylar	2014	2015	Ort.	2014		2015		2014-2015 Ort.	
					Korun.	Otlati.	Korun.	Otlati.	Korunan	Otlatılan
HP (%)	Nisan	19.71a**A**	16.79a**B	18.25A**	19.46	19.96	17.95	15.64	18.71	17.80
	Mayıs	16.97bB	14.80bC	15.88B	16.56	17.38	14.25	15.34	15.41	16.36
	Haziran	14.87bC	9.19cD	12.03C	14.75	14.99	9.52	8.86	12.13	11.92
	Ortalama	17.18A**	13.59B	15.39	16.92	17.44	13.91	13.28	15.41	15.36
LSD: I-(Ay): 2.50, II-(Ay): 1.73, I-II-(AY): 1.34, I-II-(Yıl): 3.59, I-II-(YılxAy): 1.89										
ADF (%)	Nisan	28.39b**C**	30.69b**BC	29.54B**	29.99	26.80	29.83	31.56	29.90	29.18
	Mayıs	29.79bC	31.12bBC	30.45B	31.79	27.76	32.29	29.95	32.04	28.86
	Haziran	34.81aB	43.90aA	39.95A	35.40	34.22	44.70	43.09	40.05	38.65
	Ortalama	30.99B**	35.24A	33.11	32.39	29.59	35.61	34.87	34.00A*	32.23B
LSD: I-(Ay): 4.30, II-(Ay): 5.21, I-II-(AY): 2.97, I-II-(Yıl): 4.24, I-II-(YılxAy): 4.21, I-II-(Kor.x Ot.): 1,77										
NDF (%)	Nisan	45.18	47.12b**	46.15B**	47.76	42.60	44.08	50.15	45.92	46.38
	Mayıs	47.55	44.67b	46.11B	51.02	44.09	45.05	44.29	48.03	44.19
	Haziran	50.92	59.49a	55.21A	51.31	50.54	57.49	61.49	54.40	56.01
	Ortalama	47.88	50.42	49.15	50.03	45.74	48.88	51.97	49.45	48.86
LSD: II-(Ay): 11.71, I-II-(AY): 6.98										

*) %5 düzeyinde önemli, **) %1 düzeyinde önemli

I :2014 yılı, II : 2015 yılı ve I-II : 2014-2015 birleşik yılı ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenler de 2014-2015 birleşik yılı ifade etmektedir.

Çalışmanın yapıldığı birinci ve ikinci yılda en yüksek ADF değeri Haziran ayında, en düşük

ADF değeri ise Nisan ve Mayıs aylarında elde edilmiştir. Çalışmanın iki yıllık ortalama

sonuçlarına göre aylar arasında ortalama olarak en yüksek ADF değeri %39.35 ile Haziran ayında elde edilirken, %30.45 ile Mayıs ve %29.54 ile Nisan ayları takip etmiştir.

Yıl x ay interaksiyonuna baktığımızda; en yüksek ham protein oranı birinci yıl %19.71 ile Nisan ayında elde edilirken, en düşük ham protein oranı ise ikinci yıl %9.19 ile Haziran ayında elde edilmiştir. En yüksek ADF değeri çalışmanın ikinci yılında Haziran ayında %43.90 olarak elde edilirken, en düşük ADF değeri ise çalışmanın birinci yılında Nisan ve Mayıs ayında %29.78 olarak tespit edilmiştir.

NDF değeri, çalışmanın yapıldığı aylar arasında birinci yıl istatistiksel olarak fark bulunmazken, ikinci yılda en yüksek oran %59.49 ile Haziran ayında, en düşük oran ise %47.12 ile Nisan ayı ve %44.67 ile Mayıs ayında elde edilmiştir. İki yıllık birleşik analizde ise en yüksek oran %55.21 ile Haziran ayında elde edilirken, en düşük NDF oranı %46.15 ve %46.11 ile Nisan ve Mayıs aylarında elde edilmiştir. Çalışmanın birinci yılında en yüksek HP oranı %17.18 olarak elde edilirken, çalışmanın ikinci yılında en düşük %13.59 olarak elde edilmiştir. ADF değeri ise en yüksek çalışmanın ikinci yılında %35.24 olarak elde edilirken, en düşük çalışmanın birinci yılında %30.99 olarak elde edilmiştir.

İki yıllık birleşik analiz sonuçlarının ortalamasına göre, en yüksek ADF değeri korunan alanda %34.00, en düşük ADF değeri otlatılan alanda %32.23 olarak elde edilmiştir.

Ham protein oranı (HP) ile ilgili yapılan benzer çalışmalarda; %11.1 [12], %10.98 [13], %16.08 [14], %19.19 [15], korunan alanda %19.69 - otlatılan alanda ise %15.40 [16] olarak elde etmişlerdir. Asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF) değerleri ile ilgili yapılan benzer çalışmalarda, %35.20 [12], korunan alanda %37.76-otlatılan alanda %29.48 [16], %29.78 [15], %30.21 [17] ve %25.59 [18] olarak elde etmişlerdir. NDF ile ilgili olarak yapılan benzer çalışmalarda, korunan alanda %43.31 - otlatılan alanda %50.86 [16], %47.76 [15], %47.48 [17], %35.25 [18] ve %53.20 [12] olarak elde edilmiştir.

3.2.Sindirilebilir kuru madde (SKM), kuru madde tüketimi (KMT) nispi yem değeri (NYD)

Araştırmanın birinci yılı, ikinci yılı ve iki yıllık birleşik analizi sonuçlarına göre, en yüksek SKM oranı 2014 ve 2015 yılları Nisan ve Mayıs aylarında elde edilirken, en düşük SKM oranı ise 2014 ve 2015 yıllarında Haziran ayında elde edilmiştir (Tablo 2).

	Aylar	2014	2015	Ort.	2014		2015		2014-2015 Ort.	
					Korun.	Otlati.	Korun.	Otlati.	Korun.	Otlati.
SKM (%)	Nisan	66.78a**A**	64.99a**AB	65.89A**	65.54	68.02	65.68	64.31	65.61	66.17
	Mayıs	65.71aA	64.66aAB	65.18A	64.14	67.27	63.75	65.57	63.94	66.42
	Haziran	61.79bB	54.70bC	58.25B	61.33	62.25	54.07	55.34	57.70	58.79
	Ort.	64.76A**	61.45B	63.10	63.67	65.85	61.16	61.74	62.42B**	63.79A
LSD: I-(Ay): 4.30, II-(Ay): 5.21, I-II-(Ay)2.32, I-II-(Yıl):3.31, I-II-(YılxAy):3.28, I-II-(Kor.-Ot.): 1.38										
KMT (%)	Nisan	2.67	2.57a**	2.62A**	2.53	2.82	2.75	2.40	2.64	2.61
	Mayıs	2.55	2.70a	2.62A	2.35	2.74	2.67	2.73	2.51	2.73
	Haziran	2.46	2.08b	2.27B	2.40	2.52	2.20	1.96	2.30	2.24
	Ort.	2.56	2.45	2.50	2.43AB*	2.69A	2.54AB	2.36B	2.48	2.53
LSD: II-(Ay):0.49, I-II-(Ay)0.33, I-II-(Yıl x Kor.-Ot.): 0.28										
NYD	Nisan	138.47A*	129.68a**A	134.07A**	128.29	148.64	139.98	119.39	134.13	134.02
	Mayıs	129.89A	135.19aA	132.54A	117.00	142.79	131.81	138.56	124.41	140.68
	Haziran	118.97A	89.12bB	104.04B	114.92	123.03	93.86	84.38	104.39	103.70
	Ort.	129.11	118.00	123.55	120.07B**	138.15A	121.88AB	114.11B	120.98	126.13
LSD: II-(Ay):28.26, I-II-(Ay)19.19, I-II-(YılxAy):20.16, I-II-(Yıl x Kor.-Ot.): 16.46										

*) %5 düzeyinde önemli, **) %1 düzeyinde önemli

I :2014 yılı, II : 2015 yılı ve I-II : 2014-2015 birleşik yılı ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenler de 2014-2015 birleşik yılı ifade etmektedir.

Çalışmanın yapıldığı birinci yıl aylar arasında istatistiksel farklılık bulunmazken, ikinci yıl; en yüksek KMT oranı %2.57 ile Nisan

ve %2.70 ile Mayıs aylarında, en düşük KMT oranı ise %2.08 ile Haziran ayında elde edilmiştir. İki yıllık birleşik ortalamaya

bakıldığında; en yüksek KMT oranı %2.62 ile Nisan ve Mayıs aylarında, en düşük KMT oranı ise %2.27 ile Haziran ayında elde edilmiştir.

Çalışmanın yapıldığı birinci yıl aylar arasında istatistiksel farklılık bulunmazken, ikinci yıl; en yüksek NYD oranı 129.68 ile Nisan ve 135.19 ile Mayıs aylarında, en düşük NYD oranı ise 89.12 ile Haziran ayında elde edilmiştir. İki yıllık birleşik ortalamaya bakıldığında; en yüksek NYD oranı 134.07 ile Nisan ve 132.54 ile Mayıs aylarında, en düşük NYD oranı ise 104.04 ile Haziran ayında elde edilmiştir.

Yıl interaksyonuna baktığımızda; en yüksek SKM oranı çalışmanın birinci yılında %64.76, en düşük SKM oranı ise çalışmanın ikinci yılında %61.45 olarak elde edilmiştir. İki yılın birleşik analizine göre en yüksek SKM oranı otlatılan alanda %63.79, en düşük SKM oranı ise korunan alanda %62.42 olarak elde edilmiştir.

Korunan-otlatılan alan x yıl interaksyonuna baktığımızda, en yüksek KMT değeri ortalaması %2.69 ile otlatılan alanın birinci yılında elde edilirken, bunu korunan alanın birinci yılı %2.43 ve ikinci yılı %2.54 ile izlemiştir. Korunan-otlatılan alan x yıl interaksyonunda en düşük KMT değeri ise %2.36 ile otlatılan alanın ikinci yılında elde edilmiştir.

Korunan-otlatılan alan x yıl interaksyonuna baktığımızda, en yüksek NYD değeri ortalaması 138.15 ile otlatılan alanın birinci yılında elde edilirken, bunu korunan alanın ikinci yılı 121.88 izlemiştir. Korunan-otlatılan alan x yıl interaksyonunda en düşük NYD değeri ise 114.11 ile otlatılan alanın ikinci yılı ve %120.07 ile korunan alanın birinci yılında elde edilmiştir.

Yıl x ay interaksyonuna baktığımızda; en yüksek SKM oranı çalışmanın birinci yılı Nisan ayında %66.78 ve Mayıs ayında %65.71 olarak elde edilirken, en düşük SKM oranı ise çalışmanın ikinci yılı Haziran ayında %54.70 olarak elde edilmiştir.

Yıl x ay interaksyonuna baktığımızda, en yüksek NYD değeri 2014-2015 yılı Nisan ve Mayıs ayları ile 2014 yılı Haziran ayında elde edilirken, en düşük NYD değeri ise 2015-Haziran ayında 89.12 olarak elde edilmiştir. SKM oranı ile ilgili olarak yapılmış benzer çalışmalarda, korunan alanda %65.93 - otlatılan alanda %59.48 [16], %65.70 [15], %61.5 [12] olarak elde etmişlerdir. KMT oranı ile ilgili olarak yapılmış benzer çalışmalarda, %2.29 [12],

%2.67 [15], korunan alanda %2.77 - otlatılan alanda ise %2.40 [16] olarak elde etmişlerdir. Nispi yem değeri (NYD) ile ilgili yapılmış benzer çalışmalarda, 109.40 [12], 137.71 [15] ve korunan alanda 141.93 - otlatılan alanda 111.85 [16] olarak elde edilmiştir.

3.3.Fosfor (P), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve potasyum (K) değerleri

Tablo 3'te korunan-otlatılan alan x ay interaksyonuna bakıldığında, çalışmanın birinci yılı ve iki yılın birleşik analiz sonuçlarında farklılıklar olduğu görülmektedir. Çalışmanın birinci yılında korunan alanın Haziran ayında en yüksek Ca oranı elde edilirken, bunu korunan alanın Mayıs ayı ve otlatılan alanın Nisan-Mayıs ayları takip etmiştir. En düşük Ca oranı ise korunan alanın Nisan ve otlatılan alanın Haziran aylarında elde edilmiştir. İki yıllık analiz sonuçlarına göre ise en yüksek Ca oranı %1.51 ile Haziran ayında korunan alandan, en düşük Ca oranı ise %1.08 ile otlatılan alanın Haziran ayında elde edilmiştir.

Korunan-otlatılan alan x ay interaksyonuna baktığımızda; çalışmanın birinci yılında istatistiksel bir farklılık bulunmamıştır. Çalışmanın ikinci yılında; en yüksek P oranı korunan ve otlatılan alanda %0.29 ile Mayıs ayında elde edilirken, en düşük P oranı ise korunan alanda %0.13 ile Haziran ayında elde edilmiştir. Çalışmanın iki yıllık birleşik ortalamasında ise en yüksek P oranı korunan ve otlatılan alanın Nisan-Mayıs ayları ile otlatılan alanın Haziran ayında elde edilirken, en düşük P oranı ise %0.19 ile korunan alanın Haziran ayında elde edilmiştir. Yılların ortalaması olarak fosfor (P) oranlarını incelediğimizde, 2014 yılı Nisan-Mayıs-Haziran ayı veri ortalamalarının çalışmanın ikinci yılı 2015'de elde edilen veri ortalamalarından yüksek çıktığı görülmüştür

Yılların ortalaması olarak potasyum (K) oranlarını incelediğimizde, 2015 yılı Nisan-Mayıs-Haziran ayı veri ortalamalarının 2014 yılı Nisan-Mayıs-Haziran ayında elde edilen veri ortalamalarından yüksek çıktığı görülmüştür. Aylar arasında interaksyona baktığımızda;

birinci yıl en yüksek P değeri %0.35 ile Nisan ayında, en düşük P değeri ise %0.29 ile Haziran ayında, ikinci yıl en yüksek P değeri %0.29 ile Mayıs ayında, en düşük P değeri ise %0.17 ile

Haziran ayında, iki yılın birleşik analizinde ise en yüksek P değeri %0.29 ile Nisan ve %0.30 ile Mayıs ayında elde edilirken, en düşük P değeri ise %0.23 ile Haziran ayında tespit edilmiştir.

Tablo 3. Korunan ve otlatılan alanlarda Ca, P, Mg ve K oranları (%) ve oluşan gruplar										
		2014	2015	Ort.	2014		2015		2014-2015 Ort.	
					Korun.	Otlati.	Korun.	Otlati.	Korunan	Otlatılan
Ca (%)	Nisan	1.13	1.34	1.24	1.02b	1.25ab	1.42	1.27	1.22AB	1.26AB
	Mayıs	1.18	1.41	1.29	1.06ab	1.31ab	1.41	1.40	1.23AB	1.35AB
	Haziran	1.27	1.32	1.30	1.51a	1.03b	1.52	1.12	1.51A	1.08B
	Ort.	1.20	1.36	1.28	1.20	1.20	1.45	1.26	1.32	1.23
LSD: I-(Kor.Ot.xAy):0.46, I-II-(Kor.-Ot.xAy): 0.44										
P (%)	Nisan	0.35a**A**	0.23b**CD	0.29A**	0.36	0.34	0.26ab**	0.20b	0.31A**	0.27A
	Mayıs	0.31abAB	0.29aBC	0.30A	0.33	0.30	0.29a	0.29a	0.31A	0.29A
	Haziran	0.29bABC	0.17cD	0.23B	0.26	0.32	0.13c	0.22ab	0.19B	0.27A
	Ort.	0.32A**	0.23B	0.27	0.31	0.32	0.23	0.24	0.27	0.28
LSD: I-(Ay):0.05, II-(Ay):0.05, II-(Kor.Ot.xAy):0.07, I-II-(Ay):0.04, I-II-(Yıl):0.09, I-II-(YılxAy):0.06, I-II-(Kor.-Ot.xAy): 1.77										
Mg (%)	Nisan	0.30	0.31	0.31	0.30	0.31	0.30	0.32	0.30	0.32
	Mayıs	0.31	0.32	0.31	0.29	0.33	0.32	0.33	0.30	0.33
	Haziran	0.31	0.28	0.29	0.33	0.29	0.29	0.27	0.31	0.28
	Ort.	0.31	0.30	0.30	0.30	0.31	0.30	0.31	0.30	0.31
LSD: ÖD.										
K (%)	Nisan	1.86a**B**	2.42a**A	2.14A	1.98	1.74	2.45	2.40	2.21	2.07
	Mayıs	1.46bCD	1.63bBC	1.54B	1.50	1.41	1.56	1.69	1.53	1.55
	Haziran	1.27bDE	1.16cE	1.22C	1.37	1.18	1.33	0.99	1.35	1.08
	Ort.	1.53B**	1.74A	1.63	1.61	1.44	1.78	1.69	1.70A**	1.57B
LSD: I-(Ay):0.26, II-(Ay):0.28, I-II-(Ay):0.17, I-II-(Yıl):0.21, I-II-(YılxAy):0.25, I-II-(Kor.-Ot.): 0.13										

*) %5 düzeyinde önemli, **) %1 düzeyinde önemli

I :2014 yılı, II : 2015 yılı ve I-II : 2014-2015 birleşik yılı ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenler de 2014-2015 birleşik yılı ifade etmektedir.

Ayların interaksyonuna bakıldığında; birinci yıl en yüksek K oranı % 1.86 ile Nisan ayında, en düşük K oranı ise %1.46 ile Mayıs ve %1.27 ile Haziran aylarında elde edilmiştir. İkinci yıl en yüksek K oranı %2.42 ile Nisan ayında, en düşük K oranı ise %1.16 ile Haziran ayında elde edilmiştir. Çalışmanın iki yıllık ortalamasında ise en yüksek K oranı %2.14 ile Nisan ayında, en düşük K oranı %1.22 ile Haziran ayında elde edilmiştir.

Yıl x ay ineraksyonuna baktığımızda; en yüksek P oranı %0.35 ile birinci yıl Nisan ayında elde edilirken, en düşük P oranı ise %0.17 ile ikinci yıl Haziran ayında görülmektedir.

Yıl x ay interaksyonuna bakıldığında, en yüksek K değeri %2.42 ile 2015-Nisan ayında elde edilirken, bunu ikinci en yüksek K değeri 2014-Nisan ayı %1.86 ile izlemiştir. En düşük K değeri ise 2015-Haziran ayında %1.16 olarak elde edilmiştir. İki yılın birleşik sonuçlarına göre en yüksek K değeri korunan alanda %1.70, en düşük K değeri ise otlatılan alanda %1.57 olarak izlenmektedir.

Ca oranı ile ilgili yapılmış olan benzer çalışmalarda, %0.69 [13], %1.09 [15] ve korunan alanda % 1.48 - otlatılan alanda %1.17 [16] olarak elde etmişlerdir. Fosfor oranı ile ilgili yapılmış olan benzer çalışmalarda, 533.1 ppm [13], %0.34 [15] ve korunan alanda %0.32-otlatılan alanda ise %0.28 [16] olarak elde etmişlerdir. Magnezyum oranı ile ilgili yapılmış benzer çalışmalarda, %0.31 [15], korunan alanda %0.28, otlatılan alanda %0.25 [16] ve 2147.6 ppm [13] olarak elde etmişlerdir. Potasyum oranı ile ilgili olarak yapılmış olan benzer çalışmalarda, %1.36 [13], %2.42 [15] ve korunan alanda %2.77 - otlatılan alanda %2.04 [16] olarak bulunmuştur.

Çayır merada bitkilerin vejetasyonun büyüme döneminde protein oranı %25-30 iken vejetasyonun sonunda %3-5 olur [19] ve iyi bir çayır merada protein oranı (%10-30) olmalıdır [20]. Ülkemizde 13.2 milyon hektar alana sahip çayır-mera alanlarımız, sağladıkları 837 bin ton ham protein ve 6 milyon ton nişasta değeriyle hayvan beslenmesinde başta gelen besin kaynaklarını oluşturmaktadır [5].

Merada bulunan bitkilerin kalite değerlerinin yüksek olması, proteinle birlikte, Ca, beta-karoten, Vitamin E ve B kompleks yönünden oldukça zengin olacaktır [20]. Çalışmada korunan ve otlanan alanda ortalama olarak %15.39 olarak elde edilen ham protein oranının, meranın botanik kompozisyonunda bulunan bitkilerle uyumlu olduğunu söyleyebiliriz. Çalışmada, ham protein oranında aylara göre vejetasyon ilerledikçe azalmalar olduğu görülmüştür. Aylara bağlı olarak; P oranlarında artış, K oranında azalış, Ca ve Mg oranında önemli bir değişim olmamıştır. Mera otunda bulunan mineral elementlerle ilgili Ergün ve ark.'nın [20] belirlemiş oldukları değerlendirme dikkate alındığında; çalışmada korunan ve otlatılan alanın her ikisinde de Ca ve Mg oranı yüksek, P ve K oranı normal sınırlarda olduğu görülmüştür.

4.Sonuç ve Öneriler

Meraların kalitesini vejetasyon dönemi, bitki türü, iklim, otlatma şekli, toprağın yapısı ve gübreleme etkilemektedir. Merada çalışılan alanlarda vejetasyon ilerledikçe ham protein oranında azalmalar olmuştur. İyi kaliteli bir merada protein (%10-30) olduğu göz önüne alındığında çalışılan alanların HP oranlarının normal sınırlarda olduğu, Ca ve Mg oranı yüksek, P ve K oranlarının da normal sınırlarda olduğu görülmüştür.

Meranın bitki yapısı, otlayacak hayvan sayısı-türü ve otlamaya başlama zamanının yanında meranın kalite değerinin bilinmesi gerekir. Meranın kalite değerinin bilinmesi, merada otlayacak hayvanın yaşı, türü ve gördüğü iş dikkate alındığında, gerekli olan ek yemlemeyle daha da etkili olacağını söyleyebiliriz.

Sonuç olarak meraların en etkili kullanmanın yolu; meranın bitki yapısı, kalite düzeyi, otlayacak hayvan sayısı ve otlamaya başlama zamanı bilinmeli ve yıllara bağlı olarak meraların durumları değerlendirilmelidir.

5. Kaynaklar

1. Avcıoğlu, R., H. Soya, H. Kendir. (2010).Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi Ankara.

2. Anonim, (2014). <http://www.rapory.tuik.gov.tr> Erişim Tarihi: 19/07.2014.
3. Altın, M., A. Gökkuş, A. Koç. (2011). Çayır ve Mera Yönetimi (1.Cilt) Tarım Köyişleri Bakanlığı TÜGEM.376 s.
4. Karaca, M., Yıldırım, A., Arı, M., Yıldırım, G., Menteş, Y. (2013).T.C. Elazığ İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü Elazığ'da Tarım, Elazığ İlinin Tarımsal Potansiyeli ve Çözüm Önerileri.
5. Erkun, V. (1999). Çayır meraların önemi ve tarihi gelişimi. Çayır-Mera Amenajmanı ve Islahı. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, 131-136, Ankara.
6. Fraser, D. A. (2003). Using range readiness criteria. Forest Practices Branch, British Columbia Ministry of Forests, Victoria, B.C. Rangeland Health Brochure 5.
7. Anonim, (2016). <http://www.tarimkutuphanesi.com/> Süt İneklerinin Bakım ve Beslenmesi 00139.html. Erişim Tarihi: 21.04.2016.
8. Kaya, i., Saatçı, M., Ünal, Y., Öncüler, A., Kırmızıbayrak, T. (2004). Yeşil dönemde merada otlatma ve konsantre yem ilavesinin mera kalitesi ile morkaraman ve tuj kuzularda büyüme, rumen ph, toplam uçucu yağ asitleri, amonyak azotuna etkisi. Lalahan Hay. Arat. Ens. Derg. 44 (1): 33-39.
9. Avcıoğlu, R., E. Açıkgöz, H. Soya, A. Tan.(2000). Yem Bitkileri Üretimi, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası V. Türkiye Ziraat Mühendisliği Teknik Kongresi Cilt-1, S. 567.
10. Karaman, M.R. (2012). Bitki Besleme, Gübretaş Rehber Kitaplar Dizisi: 2. Editör: Zengin, M., Toprak ve Bitki Analiz Sonuçlarının Yorumlanmasında Temel İlkeler (Bölüm 12), Sayfa: 874.
11. Morrison, J.A. (2003). Hay and Pasture Management, Chapter 8. Extension Educator, Crop Systems Rockford Extension Center. <http://iah.aces.uiuc.edu/pdf/AgronomyHB/08chapter.pdf>.
12. Taşdemir, V. ve Kökten, K. (2015). Elazığ İli Karakoçan İlçesi Bahçecik Köyü Merasının verim ve kalite özelliklerinin saptanması *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 2(2): 201–206, 2015.
13. Bakoğlu, A., Koç, A. (2002). Otlatılan ve korunan iki farklı mera kesiminin bazı toprak ve bitki örtüsü özelliklerinin karşılaştırılması 1. bitki örtüsü özelliklerinin karşılaştırılması, *F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1): 37-47.
14. Çaçan, E., Kökten, K. (2014). Bingöl İli Merkez İlçesi Çiçekyayla Köyü Merasının ot verimi ve otlatma kapasitesinin belirlenmesi *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences* Special Issue: 2.
15. Aydın, A. (2014). Karacadağ'ın farklı yükseltilerindeki meralarında bitki tür ve kompozisyonları ile ot verim ve kalitelerinin belirlenmesi. Dicle Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı Doktora Tezi.

16. Çağan, E., Aydın, A., Başbağ, M. (2014). Korunan ve Otlatılan İki Farklı Doğal Alanın Verim ve Kalite Açısından Karşılaştırılması *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences* Special Issue: 1.
17. Parlak, A. Ö., Parlak, M., Gökkuş, A., Demiray, H. C. (2015). Akdeniz (Çanakkale) Meralarının ot verimi ve kalitesi ile botanik kompozisyonu ve bazı toprak özellikleri *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* (COMU J. Agric. Fac.): 3 (1): 99–108.
18. Nadir, M., İptaş, S., Karlıdağ, Y., Kır, H. (2012). Tokat İli Yeşilyurt Köyü doğal merasının botanik kompozisyon, kuru madde verimi ve kalitesi, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 5 (2): 115-117.
19. Alp, M., N. Kocabağlı, N. Kahraman, T. Bilal, İ. Abaş, G. Demirel, A.Y. Pekel. (2017). İstanbul Üniversitesi Veteriner Fak. Yem Maddeleri ve Yem Teknolojisi Ders Notları [http://Veteriner.İstanbul.Edu.Tr/WpContent/Uploads/2015/04/Yem Maddeleri ve Teknolojisi Ders Notları.Pdf](http://Veteriner.İstanbul.Edu.Tr/WpContent/Uploads/2015/04/Yem_Maddeleri_ve_Teknolojisi_Ders_Notları.Pdf) (E.T: 07.04.2017).
20. Ergün, A., Çolpan, İ., Tuncer, Ş.D., Yalçın, S., Yıldız, G, Küçükersan, S., Muğlalı, Ö.H., Önel, A. G., Şehu, A. (1999). Ankara Üniversitesi Vet. Fak. Yemler, Yem Hijyeni ve Teknolojisi Kitabı s:16/264.

Öğütülmüş Kolemanit Katkısının Çimento Harçlarına Etkisi

Özlem SALLI BİDECI, Alper BİDECI

Düzce Üniversitesi, Sanat, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
ozlembideci@duzce.edu.tr

(Geliş/Received: 23.07.2017; Kabul/Accepted: 24.10.2017)

Özet

Bu çalışmada, öğütülmüş kolemanit katkısının çimento harç özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Öncelikle öğütülmüş kolemanitin pozolanik aktivite özelliği belirlenmiştir. Daha sonra farklı oranlarda (%0, %1, %3, %5, %7) öğütülmüş kolemanit katkılı çimento harçlarının; özgül ağırlık, özgül yüzey, priz başlama ve sona erme süreleri tayini, kıvam ve genleşme deneylerinin yapılmasının yanı sıra harç numunelerin basınç dayanımı (2, 7 ve 28 günlük) belirlenerek referans numunesi ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, öğütülmüş kolemanit ikame oranının artışıyla priz başlangıç ve priz sona erme sürelerinin uzadığı, tüm çimento harçlarının TS EN 197-1 standardında istenilen en düşük mekanik özelliği sağladığı (≥ 42.5 MPa ve ≤ 62.5 MPa) ve %1, %3 ve %5 oranında kolemanitin çimento ikame malzemesi olarak kullanılabilmesi tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Öğütülmüş Kolemanit; Pozolanik Aktivite, Basınç Dayanımı

The Effect of Ground Colemanite Additive on Cement Mortars

Abstract

In this study, the effects of ground colemanite admixture on cement mortar characteristics were investigated. Firstly, the pozzolanic activity property of the ground colemanite was determined. Afterwards, as well as specific gravity, specific surface, setting and ending times, consistency and expansion tests of ground colemanite-added cements at different rates (0%, 1%, 3%, 5%, 7%) and mortar samples (2, 7 and 28 days) were determined and also these were compared with the reference sample. According to the results of the experiment, the set start and the ending time of the setting time was elongated with the increase of ground colemanite substitution ratio, furthermore all cement mortars provide the lowest mechanical properties required in TS EN 197-1 standard (≥ 42.5 MPa and ≤ 62.5 MPa) and 1%, 3% and 5 % of colemanite can be used as cement substitute material.

Keywords: Ground Colemanite; Pozzolanic Activity; Compressive Strength

1. Giriş

Türkiye ve ABD'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesi olan, yüksek konsantrasyonlarda ve ekonomik boyutlardaki bor yatakları, borun oksijene bağlanmış bileşikleri, çok eski zamanlardan beri bilinen ve kullanılan önemli bir madendir [1,2]. Bor mineralleri, çeşitli madencilik yöntemleri kullanılarak elde edildikten sonra fiziksel işleme tabi tutularak zenginleştirilmekte ve konsantre bor ürünleri elde edilmektedir. Konsantre bor, kimyasal süreçlere tabi tutularak sonrasında rafine edilip çeşitli bor kimyasallarına dönüştürülmektedir [3]. Bor, çoğunlukla bor kimyasalları şeklinde tüketildiği gibi konsantre bor ürünleri olarak doğrudan tüketilebilmektedir [4].

Doğada yaklaşık 230'dan fazla bor minerali mevcuttur. Dünya genelinde sektör tarafından kullanılan borların %90'ını sodyum bazlı tinal, sodyum+kalsiyum bazlı üleksit ve kalsiyum bazlı kolemanit oluşturmaktadır [4,5].

Ülkemizde çoğunlukla tekstil, cam elyafı, tarım ve deterjan üretiminde kullanılan bor ürünleri ayrıca, çatı kaplama malzemeleri, selülozik izolasyon malzemeleri, çimento katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır [6].

Borun inşaat malzemelerinde kullanımı konusunda yapılan bazı araştırmalarda; Volkman ve Bussolini [7], borlu katkıların betonun sertleşme ve basınç dayanımı özelliklerini yavaşlattığının bilindiğini ve ince parçacıkların çözünür olup betonun sertleşme özelliklerinin etkilediğini belirtmişlerdir. Yalçın [8], kolemanit katkısının betonun fiziksel özellikleri üzerine

etkisini araştırdığı çalışmada, %5'ten fazla kolemanit içeren çimentoların priz süresi ve dayanım bakımından standart dışında kaldığını, %2 kolemanit katkılı çimentoların priz süresini geciktirdiğini ve basınç dayanımında %28'e varan değerlerde azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir. Demir ve Orhan [9], bor atıklarının yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi konulu çalışmalarında, pomzanın bor atığı ile ağırlıkça %50 oranında karışım yapılarak 900°C sıcaklıkta pişirilmesi ile porozitesi yüksek, birim hacim ağırlığı düşük (hafif) bir malzeme üretilebileceğini tespit etmişlerdir. Targan ve ark. [10], çimento üretiminde enerji tasarrufu sağlanması ve atık maddelerin çevreye verebilecekleri olumsuz etkilerin giderilmesi amacıyla, Kula cürufu-kolemanit konsantratör atığı ve betonit-kolemanit konsantratör atığı varyasyonlarını katkı maddesi olarak kullandıkları çalışmada, çimento karışımlarının fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin Türk Standartlarıyla uyum içinde olduğunu, kullanılan katkıların çimento üretiminde kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Topçu ve ark. [11], tinal üretiminde sırasında ortaya çıkan bor atıklarının (B_2O_3 oranı %9.63) çimento yerine kullanılması (çimento yerine ağırlıkça %0, %3, %7, %10 oranlarında) ile üretilen harçlarda, yüksek sıcaklığın zararlı etkilerine karşı %3 ve daha düşük oranlarda bor atığı kullanılmasını önermişlerdir. Sağlık ve ark. [12], BAB (Borlu Aktif Belit) çimentosu ile birlikte priz hızlandırıcı ve süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları kullanılarak, yüksek erken dayanım değerlerinin gerekli olduğu durumlarda çimentonun inceliğinin bir miktar daha (4000 veya 4300 cm^2/g mertebesinde) artırılması ile kullanılabilmesinin mümkün olduğunu, yine Sağlık ve ark. [13], normal Portland çimentosu ile üretilen betonlara göre Borlu Aktif Belit (BAB) çimentosu ile üretilen betonların geçirgenliklerinin daha düşük ve klorür penetrasyonlarının daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Gencel ve ark. [14] yaptıkları çalışmada, kolemanit agregasının betonun katılma süresini geciktirdiğini, %30 oranında kolemanit agregasının işlenebilirlik ve dayanım için kabul edilebilir bir oran olduğunu tespit etmişlerdir. Çelik ve ark. [15], ürettikleri kolemanit katkılı perlitli tuğlaların nötron tutucu özelliğinin yanı sıra, binalarda ölü yükü azalttığı

ve enerji tasarrufu sağladığını belirtmişlerdir. Bir başka çalışmada Sallı Bideci ve ark. [16], hafif agrega kaplamasında öğütülmüş kolemanit kullanılmasıyla üretilen hafif betonda çimento+kolemanitin, hızlı klorür geçirimsizlik değerine olumlu katkısı olduğunu gözlemlemişlerdir. Yine bu agregalarla üretilen hafif betonların, çimento+kolemanit kaplaması sayesinde yüksek sıcaklık etkisinden daha az zarar gördüğünü [17] ve hafif betonun donatı ile aderans performansını iyileştirdiğini [18] belirtmişlerdir. Ülke ekonomisine daha fazla katma değer yaratabilmek amacıyla; bor pazarının büyümesini beklemek yerine yeni bor ürünleri ve yeni kullanım alanlarının bulunması yönünde faaliyetler de sürmektedir [4].

Bu çalışmada, kolemanitin puzolanik aktivite deneyi CEM I 42,5R çimentosuna, çimentonun ağırlıkça %0, %1, %3, %5, %7 oranlarında kolemanit ikamesinin çimento harcının fiziksel ve mekanik özelliklerine olan etkisi belirlenerek çimentoda ikame olarak kullanılabilecek oranı araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal

Araştırmada TS EN 197-1'e uygun olarak üretilen CEM I 42.5/R çimentosu, TS EN 196-1'e uygun standart kum, içme suyu ve Eti Maden Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü'nden temin edilen öğütülmüş kolemanit [19] kullanılmıştır. Deneyde kullanılan çimento ve kolemanitin kimyasal analizi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. CEM I 42.5 R çimentosu ile kolemanitin kimyasal analizi

Madde (%)	CEM I 42.5/R	Kolemanit
B_2O_3	-	39.85
SiO_2	19.33	5.60
Al_2O_3	4.74	0.15
Fe_2O_3	2.72	0.03
CaO	63.20	27.24
MgO	0.98	2.84
Na_2O	0.12	0.10
Kızdırma Kaybı	3.94	24.06
Özgül Yüzey (cm^2/g)	3983	3839
Özgül Ağırlık (g/cm^3)	3.12	2.50

2.2. Metod

Araştırmada; öncelikle belirli bir incelekte öğütülmüş kolemanitin, su ve sönmüş kireç $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile oluşturduğu basınç dayanımı cinsinden tespit edilen hidrolik özelliği "Puzolanik Aktivitesi" belirlenmiştir [20]. Puzolanik aktivite deneyinde harçlar; sönmüş kireç, standart kum, kolemanit ve suyun TS 25 standardında belirtilen karışım miktarları dikkate alınarak TS EN 196-1 standardına göre üretilmiş ve TS EN 196-6 [21] standardına uygun elek analizi, özgül yüzey ve yoğunluk deneyleri ile TS EN 196-1 standardına uygun basınç dayanımı tayini deneyine tabi tutulmuştur. Kolemanitin puzolanik aktivitesi belirlendikten sonra ağırlıkça %0, %1, %3, %5, %7 oranlarında öğütülmüş kolemanit, CEM I 42.5R çimentosuna ikame edilerek çimento karışımları hazırlanmıştır. Kıvam deneyi ile numunelere dahil edilen her %1'lik kolemanit miktarına karşılık, karışımlar için kullanılan su miktarında da 9cc'lik bir artış gözlenmiştir. Karışımların özgül ağırlık, özgül yüzey, priz süreleri, kıvam ve hacim genleşmesi deneyleri TS EN 196-1, TS EN 196-2 [22] ve TS EN 196-3 [23] standartlarındaki deney metodlarına göre sıcaklığın 20 ± 2 °C ve bağıl nemin 60 ± 5 olduğu laboratuvar ortamında yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyi için malzeme karışım dizaynı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Malzeme karışım dizaynı

Malzeme	Çimento (g)	Kolemanit (g)	Kum (g)	Su (g)
KLMT-0 (Referans)	450	0	1350	225
KLMT-1	445.5	4.5	1350	225
KLMT-3	436.5	13.5	1350	227
KLMT-5	427.5	22.5	1350	229
KLMT-7	418.5	31.5	1350	237

Hazırlanan harçlar $40 \times 40 \times 160$ mm boyutlarındaki kalıplara dökülerek, sarsma tablasında dakikada 60 düşüş olacak şekilde sıkıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Sıkıştırma işleminden sonra numunelerin üzeri cam levha ile kapatılarak bağıl nemin %95 olduğu rutubet dolabında 24 saat süre ile bekletilmiştir. Rutubet dolabında bekletilen numuneler kalıplardan çıkarılarak, 20 ± 2 °C sıcaklığa sahip su

havuzunda, basınç dayanımı deneyine tabi tutulacakları zamana kadar (2, 7 ve 28 gün) bekletilmiştir. Her bir seriden 6 adet olmak üzere toplam 54 numune teste tabi tutulmuştur.

3. Bulgular

Puzolanik aktivite deneyinde, kireç-kolemanit karışımı ile hazırlanan deney numunelerinin fiziksel analizi ve 7 günlük basınç dayanımı değeri ile standartta karşılaması gereken değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kolemanitin fiziksel analizi ve basınç dayanım deney sonucu

Özellikler			TS 25
Fiziksel Analiz	Yoğunluk (g/cm^3)	2.50	-
	Özgül Yüzey (cm^2/g)	3839	$4000 \pm \%25$
	90 μ Elek Üzeri Kalıntı (%)	0.2	$\leq \%8$
Basınç Dayanımı (MPa)	7 Gün	4.1	≥ 4
	28 Gün	4.3	-

Deney sonuçları incelendiğinde; kolemanitin özgül yüzeyde istenilen en az $4000 \text{ cm}^2/\text{g} \pm \%25$ değeri kolemanitte $3839 \text{ cm}^2/\text{g}$ olarak belirlenmiştir. Literatürde incelik değerinin artmasıyla puzolanik aktivite değerinde artış olacağı belirtilmektedir [24, 25]. Göz açıklığı 90 mikron olan elek üzerinde kalan miktarı kütlece en çok %8 olmalı koşulu da sağlanmıştır. Ayrıca standartta 7 günlük minimum basınç dayanımı değeri olan 4MPa basınç dayanımını karşıladığı (4.1MPa) belirlenmiştir. Dolayısıyla kolemanitin puzolanik aktivitesi olduğundan bahsedilebilir.

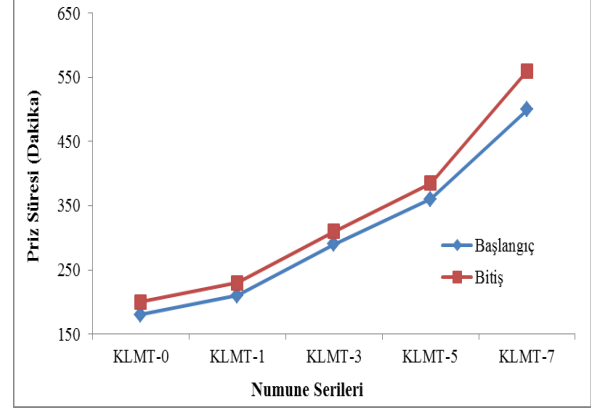
Katkısız ve kolemanit katkılı çimento numunelerin özgül ağırlık sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Kolemanitin özgül ağırlık değerinin çimentonun değerinden düşük olduğu, katkılı numunelerin özgül ağırlıklarının da katkı oranının artışı ile azaldığı belirlenmiştir. Numuneler arasında en düşük özgül ağırlık değeri KLMT-7 numunesinden elde edilmiştir. Numunelerin özgül yüzey sonuçları açısından incelendiğinde (Tablo 4), kolemanit katkısının özgül yüzey değerlerini düşürdüğü ve tüm katkılı numunelerin özgül yüzey değerlerinin KLMT-0 (Referans) numunesinin değerinden düşük olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4. Katkılı ve katkısız çimentonun fiziksel özellikleri

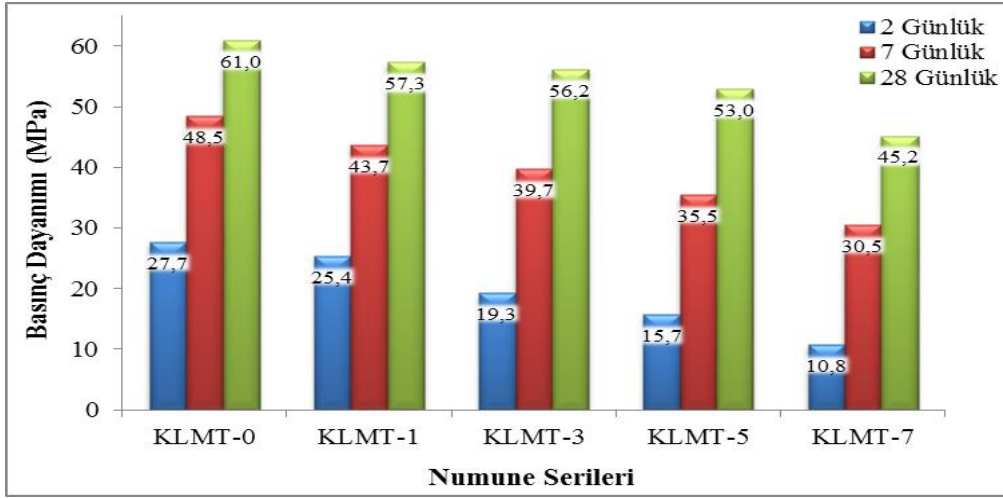
	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	Priz Süresi (Dakika)		Standart Kıvam İçin Gereken Su (%)	Hacim Genleşmesi (mm)
			Başlangıç	Sonu		
KLMT-0	3.12	-	180	200	26.6	7
KLMT-1	3.11	3982	210	230	26.6	7
KLMT-3	3.10	3945	290	310	26.8	6
KLMT-5	3.09	3944	360	385	27.1	7
KLMT-7	3.08	3930	500	560	28.0	7

Priz başlangıcı ve priz sonu süreleri Portland çimentosu-doğal puzolan karışımlarında puzolanın Portland çimentosu yerine ikame miktarına, inceliğine, reaktifliğine bağlıdır [26]. Araştırmada katkısız ve kolemanit katkı çimento numunelerinin normal hidrasyon reaksiyonlarını gerçekleştirip gerçekleştirmediğini anlamak için priz başlama ve priz sona erme süreleri tayini deneyi yapılmıştır. TS EN 196-3'e göre yapılan deneyde; numunelerin priz başlangıç ve priz sonu sürelerinin; KLMT-0 (Referans)'dan yüksek olduğu görülmüştür. KLMT-7 numunesi en yüksek priz başlangıç ve sonu süresine sahiptir.

Sürelerin TS EN 197-1'de CEM I 42.5R çimentosu için tanımlanan limite (Priz başlama süresi ≥ 60 dk.) uygun olduğu görülmektedir (Tablo 4). Tablo 4'te verilen değerlere göre priz başlangıç ve priz sonu süreleri kolemanit oranı arttıkça artmıştır. Dolayısıyla kolemanitin priz geciktirici bir etkisinin olacağı söylenebilir. Bu durum kolemanitin içindeki B₂O₃ (boroksit) konsantrasyonu ile yakından ilgilidir. B₂O₃ konsantrasyonu düştükçe, sertleşme gecikmesi ve dayanım azalması da doğru orantılı olarak iyileşecektir. Gecikmenin önlenmesi için priz hızlandırıcı katkı veya stabilizör olarak kimyasal katkı maddesi kullanılabilir [27, 28]. Numunelerin katkı oranlarına göre priz sürelerinin grafiksel gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.

**Şekil 1.** Çimento numunelerinin priz başlangıç ve sonu sürelerinin grafiği.

Katkısız ve kolemanit katkı çimento numunelerinin standart kıvam suyu ihtiyacı incelendiğinde (Tablo 4); katkı oranının artışına bağlı olarak standart kıvam suyu ihtiyacının da arttığı gözlenmiştir. En fazla kıvam suyu ihtiyacı KLMT-7'de tespit edilmiştir. Ayrıca, bağlanmamış (serbest) Ca(OH)₂ veya Mg(OH)₂ hidrasyonu sebebiyle sonradan ortaya çıkabilecek genleşme riski açısından sonuçlar değerlendirildiğinde; Tablo 4'te verilen hacim genleşmesi (mm) değerlerinin TS EN 197-1'de ki sınır değer (genleşme ≤ 10 mm) altında olduğu görülmüştür. Katkısız ve kolemanit katkısı içeren harç numunelerinin yaşa göre basınç dayanımı sonuçları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Harç numunelerin 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları grafiği.

Değerlere göre kolemanit katkı oranları arttıkça numunelerin basınç dayanımlarının azaldığı, katkılı numunelerde en yüksek basınç dayanımı KLMT-1 numunesinden (57.3 MPa), en düşük basınç dayanımı ise KLMT-7 (45.2 MPa) numunesinden tespit edilmiştir. Yalçın [8] %2'lik kolemanit katkısının basınç dayanımında %28'e varan azalmaya sebep olduğunu bildirmiştir. Katkı oranına bağlı olarak 2, 7 ve 28 günlük numunelerde dayanımlar en yüksekten en düşüğe sırasıyla KLMT-0 (referans), KLMT-1, KLMT-3, KLMT-5, KLMT-7 numunelerinden elde edilmiştir. TS EN 197-1 standardına göre, 2 günlük numunelerin sağlamaları gereken erken dayanım (≥ 20 MPa) değerine ulaştığı ve 28 günlük numunelerin istenilen en düşük mekanik özelliği sağladığı belirlenmiştir (≥ 42.5 MPa ve ≤ 62.5 MPa). Ayrıca Şekil 2 genel olarak incelendiğinde; katkılı numunelerin kendi aralarında dayanım kazanma hızlarının kontrol numunesine göre fazla olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2).

4. Sonuçlar

Öğütülmüş kolemanit katkısının çimento harç özelliklerine etkisinin araştırıldığı çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Puzolanik aktivite deneyi sonucunda TS 25 standardında 7 günlük minimum basınç dayanımı değeri olan 4MPa basınç dayanımını karşıladığından dolayı kolemanitin puzolanik aktivitesinden bahsedilebilir.
- Kolemanit katkılı numunelerin özgül ağırlıkları katkı oranının artışı ile azalmıştır.

- Kolemanit katkısı özgül yüzey değerlerini düşürmüştür.
- Priz başlangıç ve priz sonu süreleri kolemanit katkısı arttıkça uzamıştır.
- Katkı oranının artışına bağlı olarak standart kıvam suyu ihtiyacı artmıştır.
- Hacim genişmesi değerleri TS EN 197-1'deki sınır değerinin altında kalmıştır.
- Kolemanit katkı oranları arttıkça numunelerin basınç dayanımlarının azalmıştır.
- %1, %3 ve %5 oranında kolemanitin çimento ikame malzemesi olarak kullanılabilmesi tespit edilmiştir.

5. Kaynaklar

1. T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Dokuzuncu Kalkınma Planı 2007-2013, Kimya Sanayii Özel İhtisas Komisyonu, (2008). "Bor-Soda Külü, Krom Kimyasalları Çalışma Grubu Raporu", Ankara, 15-16.
2. Yenmez, N. (2009). Stratejik Bir Maden Olarak Bor Minerallerinin Türkiye İçin Önemi. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, Coğrafya Dergisi, **19**, İstanbul, 59-94.
3. http://www.etimaden.gov.tr/files/files/2016_%20Bor_%20Sek_t%C3%B6r_Raporu_%2030_05_2017.pdf. Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Bor Sektör Raporu, Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, 2017.
4. http://www.etimaden.gov.tr/files/files/document/files/Stratejik_plan_2015_2019.pdf Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2015-2019 Dönemi Stratejik Planı
5. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2012/mcs2012.pdf>

6. Bilgiç, M., Dayık, M. (2013). Borun Özellikleri ve Tekstil Endüstrisinde Kullanımıyla Sağladığı Avantajlar. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*. Cilt: 7. No: 2. 27-37.
7. Volkman, D.E., Bussolini, P.L. (1992). Comparison of Fine Particle Colomanite and Boron Frit in Concrete for Time-Strength Relationship. *Journal of Testing and Evaluation*, Vol:20. No:1.
8. Yalçın, S. (1996). Kolemanitli Çimentoların Betonarme Demirlerinin Korozyonu Üzerine İnhibitif Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
9. Demir, İ., Orhan, M. (2002). Bor Atıklarının Yapı Malzemesi Üretiminde Değerlendirilmesi. *I. Uluslararası Bor Sempozyumu*, Kütahya, 235-239.
10. Targan, Ş., Erdoğan, Y., Olgun, A., Zeybek, B., Sevinç, V. (2002). Kula Cürufu, Bentonit ve Kolemanit Atıklarının Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi. *I. Uluslararası Bor Sempozyumu*, Kütahya, 259-265.
11. Topçu, İ.B., Boğa, A.R., Demir, A. (2006). Bor Atıklı Çimento Harçlarında Yüksek Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi. *III. Uluslararası Bor Sempozyumu (2-4 Kasım)*. Ankara, 117-121.
12. Sağlık, A., Sümer, O., Tunç, E., Kocabeyler, M.F., Çelik, R.S. (2008). Borlu aktif Belit (BAB) Çimentosunun Özellikleri ve Kütle Betonu İle Klasik Betonda Kullanılabilirliği. *II. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı (17-18 Nisan)*. Ankara, 21-24.
13. Sağlık, A., Sümer, O., Tunç, E., Kocabeyler, M., F., Çelik, R., S. (2009). Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosu ve DSİ Projelerinde Uygulanabilirliği. *DSİ Teknik Bülteni*, Sayı:105.
14. Gencel, O., Brostow, W., Özel, C., Filiz, M. (2010). An Investigation on The Concrete Properties Containing Colemanite. *International Journal of Physical Sciences*, 5(3), 216-225.
15. Çelik, A.G., Depci, T., Kılıç, A.M. (2014). New Lightweight Colemanite-Added Perlite Brick and Comparison of Its Physicomechanical Properties With Other Commercial Lightweight Materials. *Construction and Building Materials*, 62, 59-66.
16. Sallı Bideci, Ö., Bideci A., Oymael, S., Gültekin A.H., Yıldırım, H. (2015). Permeability Features of Concretes Produced with Aggregates Coated with Colemanite. *Computers and Concrete*, 15, 5, 833-845.
17. Sallı Bideci, Ö. (2016). The Effect Of High Temperature On Lightweight Concretes Produced With Colemanite Coated Pumice Aggregates. *Construction and Building Materials*. 113, 631-640.
18. Beycioğlu, A., Arslan, M.E., Sallı Bideci, Ö., Bideci A., Emiroğlu, M. (2015). Bond Behavior of Lightweight Concretes Containing Coated Pumice Aggregate: Hinged Beam Approach. *Computers and Concrete*, 16, 6, 911-920.
19. Eti Maden Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü (2011). Kolemanit Analiz Raporu, Balıkesir.
20. TS 25 (2008). Doğal Puzolan (Tras)-Çimento ve Betonda Kullanılan-Tarifler, Gereklere ve Uygunluk Kriterler. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
21. TS EN 196-6 (2010). Çimento Deney Yöntemleri - Bölüm 6: İncelik Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
22. TS EN 196-2 (2013). Çimento Deney Yöntemleri - Bölüm 2: Çimentonun Kimyasal Analizi. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
23. TS EN 196-3 (2002). Çimento Deney Metotları - Bölüm 3: Priz Süresi ve Genleşme Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
24. Demirörs, N. (2009). Suudi Arabistan Damad Barajında Uçucu Kül Yerine Puzolanik Madde Olarak Taş Unu Kullanımı ve Proje Ekonomisine Etkisi. *ARCEA-Association of Turkish Consulting Engineers and Architects 7th Engineering Consultancy Congress*, Ankara.
25. Şengül, Ö., Taşdemir, M.A., Sönmez, R. (2003). Yüksek Oranda Uçucu Kül İçeren Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Klor Geçirirliği, *5. Ulusal Beton Kongresi*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul, 75-85.
26. Erdoğan, K., Tokyay, M., Türker, P. (2007). Traslar ve Traslı Çimentolar. *TÇMB/AR-GE/Y99-2*.
27. Özdemir, M., Uğurlu, A. (2007). Boraks Üretiminde Ortaya Çıkan Atık Malzemenin Çimentoda Değerlendirilmesi, II. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Ankara.
28. Pehlivanoğlu E., Davraz, M., Kılınçarslan, S. (2013). Bor Bileşiklerinin Çimento Priz Süresine Etkisi ve Denetlenebilirliği. *SDU International Technologic Science*. 5, 3, 39-48.

Kompozit Boru Kesitlerinin Çarpma Etkisi Altında Deneysel ve Nümerik Olarak İncelenmesi

Engin GÜCÜYEN¹, R. Tuğrul ERDEM^{1*}, Erkan KANTAR¹

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa
*tugrul.erdem@cbu.edu.tr

(Geliş/Received: 31.07.2017; Kabul/Accepted: 16.10.2017)

Özet

Boru hatları, kullanım ömürleri boyunca statik ve dinamik kuvvetlerin etkisi altındadır. Statik kuvvetler altında verilen tepki kolayca belirlenebilmektedir. Dinamik etkiler ise, ani olarak ortaya çıkar ve kısa aralıklarla etkilerini gösterir. Teknolojik gelişmeler ile birlikte, ani dinamik kuvvetlerin oluşturacağı etkileri belirlemek için yapılan çalışmalar önem kazanmıştır. Araştırmacılar, deprem, ani rüzgâr, çarpma, patlama, kaya düşmesi ve araç kazası gibi dinamik etkiler altında çeşitli malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çalışmalar yapmaktadırlar. Üretilen deney elemanlarının darbe kuvvetleri altında davranışlarını belirlemek için deney düzenekleri geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan kompozit boru deney elemanları, laboratuvarda üretilmiştir. Deney elemanlarının davranışları, ani darbe kuvvetleri altında serbest ağırlık düşürücü deney aleti ile belirlenmiştir. Deney düzeneğinde, ivmeölçer, halka kuvvet algılayıcı, lvd't ve veri kaydedici gibi ölçüm cihazları kullanılmıştır. Deney elemanlarında oluşan ivme, deplasman, çarpma kuvveti değerleri belirlenmiş ve hasar gelişimleri takip edilmiştir. Nümerik analiz kısmında ise, deney elemanları ve deney düzeneği Abaqus sonlu elemanlar analiz programında modellenmiştir. Malzeme özellikleri ve mesnet koşulları programda tanımlandıktan sonra, analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen değerler, deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kompozit boru, Darbe kuvveti, Deney düzeneği, Sonlu elemanlar analizi

Experimental and Numerical Investigation of Composite Pipe Sections under Impact Effect

Abstract

Pipelines are under the effect of static and dynamic forces during their useful lives. Reaction is easily determined under static forces. On the other hand, dynamic effects occur suddenly and show their effects in short ranges. With technological developments, studies investigating the effects due to sudden dynamic forces become important. Researchers perform studies to determine mechanical properties of several materials under dynamic effects such as earthquake, sudden wind, impact, blasting, rock fall and vehicle crash. Test setups have been developed to determine the behavior of test members under impact forces. Composite pipe test members that are used in the scope of this study are produced in the laboratory. Behaviors of test members under impact forces are determined by free weight falling testing apparatus. Measurement devices as accelerometer, ring force sensor, lvd't and data-logger are used in the test setup. Acceleration, displacement and impact force values of test members are determined and failure developments are followed. In the numerical analysis section, test members and test setup are modeled by Abaqus finite elements analysis program. Analyses are performed after defining material properties and support conditions in the program. Obtained values after analyses are compared with test results.

Keywords: Composite pipe, Impact force, Test setup, Finite elements analysis

1. Giriş

Boru sistemleri, bir noktadan başka bir noktaya gerekli malzemelerin taşınması için kullanılan önemli yapı sistemlerindedir.

Boruların oluşturduğu sistemler, uzun yapı sistemleridir ve farklı coğrafik yerlerden geçmek durumundadırlar. Boru sistemleri; yalnızca içme suyu ya da atık suların taşınmasında kullanılmaz. Buna ilave olarak, petrol ve doğalgaz gibi enerji

üretiminde kullanılan malzemelerin taşınmasında da önemli rol almaktadırlar.

Farklı boru tiplerinin birleşimiyle oluşturulan kompozit borular, yüksek verimlilik ve kullanım avantajları sağlayarak; kanalizasyon hatları, su taşıma kanalları ve drenaj hatları gibi boru sistemlerinin tasarımında kullanılmaktadır. Ayrıca, kompozit borular kimyasal maddelere karşı yüksek direnç göstermesi, kireçlenme ve paslanmaya karşı dayanıklı olması, montaj firesinin az olması, hızlı ve seri montajlama olanağı sağlaması nedeniyle sıklıkla kullanılmaktadır.

Boru hattı tasarımının amacı, hattın kullanım ömrü içerisinde işletme ve bakım masrafını minimum kılacak şekilde, izin verilen dayanma sınırını aşmayarak, en uygun kesit boyutlarını seçmektir. Bunu gerçekleştirirken, çevresel koşullar, inşaat-işletme-bakım yöntemleri ve teknolojik gelişmeler göz önünde bulundurulmalıdır. Böylelikle, boru hatlarının stabilizasyonu sağlanacak şekilde uygun malzeme miktarları belirlenerek, optimum tasarım gerçekleştirilmektedir.

Rüzgâr, dalga, akıntı, deprem, jeolojik koşullar, sıcaklık ve suyun kimyasal bileşenleri gibi çevresel unsurlar, boru sistemlerinin fonksiyonları üzerinde olumsuz etki yaratabilmektedir. Boru sistemleri, vadi geçişlerinde ve dağlık alanlarda meydana gelebilecek heyelanlar ve kaya düşmesi nedeniyle oluşabilecek hasar tehditleriyle karşı karşıyadır. Geçmişte yapılan çalışmalar incelendiğinde, deneysel çalışmaların gerektirdiği bazı zorluklardan dolayı, araştırmacıların kompozit malzemeleri daha çok sonlu elemanlar yazılımlarıyla analiz ederek, davranışları hakkında fikir sahibi olmaya çalıştıkları görülmüştür.

Mühendislik alanındaki yaşanan gelişmeler, kullanılan malzemelerin çeşitliliğine göre değişmektedir. Kullanılacak malzemelerin avantajlarının, kusurlarının, farklı yükleme koşulları etkisindeki dayanımlarının ve davranışları ile şekil değiştirmelerinin bilinmesi, deneysel ve teorik çalışmalarda fayda sağlamaktadır.

Yapısal elemanlar, kullanım ömürleri boyunca farklı yüklemelerin etkisi altındadırlar. Yapıya etkiyen yükler, statik ve dinamik olarak iki ana başlık altında incelenmektedir. Statik

yükler, kalıcı yüklerdendir. Dinamik yükler ise, aniden ortaya çıkan ve belli bir süre devam ederek yapıları etkileyen yüklerdir. Deprem yükleri, ani oluşan rüzgârlar ve makine titreşimleri, dinamik yüklere örnek olarak verilebilir. Dinamik yüklerin vereceği hasarlar büyük olabileceğinden dolayı, bu yüklerin meydana geldiği durumlarda yapısal elemanların vereceği cevap doğru tahmin edilmelidir.

Çarpma etkisi, nesnelere arasında çarpışma anında oluşan dinamik etkiler sonucunda ortaya çıkan gerilmelerin, elemanların mekanik özellikleri üzerinde oluşturduğu değişimlerdir. Yapısal elemanlarda, çarpma etkisi sonucunda oluşan dinamik etkilerin oluşturduğu belirsizlikleri gidermek amacıyla tasarlanan deney düzenekleri ile deneysel çalışmalar yapılmıştır [1-3].

Literatürdeki çalışmalarda, farklı malzemelerden üretilen boru elemanlar, hem deney düzenekleri hem de sonlu elemanlar analizi ile incelenmiştir [4-12]. Bu çalışmada, farklı çaplardaki kompozit deney elemanlarının çarpma etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Deneylerde kullanılan ölçüm cihazları yardımıyla elde edilen sonuçlar ile deney elemanlarının davranışları hakkında fikir sahibi olunmuştur [13].

Bu çalışma kapsamında yürütülen deneysel çalışmalarda, serbest düşmeye bırakılan ağırlık düşürme yöntemi kullanılmıştır. Kompozit boru kesitlerinden oluşan deney elemanları, laboratuvarında üretilmiştir. Üretilen boru elemanlar darbe kuvvetleri altında test edilmiştir. Deneylerde serbest düşen çekiçli deney aleti, ivmeölçer, halka kuvvet algılayıcı, lvd't ve veri kaydedici kullanılmıştır. İvme değerleri ivmeölçerler ile, deplasman değerleri lvd't ile, çarpma kuvveti değerleri ise kuvvet algılayıcı ile kayıt altına alınmıştır. Bu değerler ile, ivme-zaman, deplasman-zaman ve kuvvet-zaman grafikleri elde edilmiştir. Ayrıca, deney elemanlarında oluşan hasar gelişimleri izlenmiştir. Çalışmanın analiz kısmında ise, Abaqus sonlu elemanlar programı kullanılarak [14], deney elemanları ve deney düzeneği modellenmiştir. Analizler sonucunda elde edilen sayısal değerler, deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Üretilen kompozit boru deney elemanlarında dinamik çarpma kuvvetleri sonucunda oluşan etkileri incelemek amacıyla, serbest ağırlık düşürücü deney aleti, ivmeölçer, kuvvet algılayıcı, lıvdt ve veri toplayıcı kullanılmıştır.

Deney aleti kullanılarak, deney elemanları istenilen düşme yüksekliği ve çekiç kütlesi altında test edilebilmektedir. Serbest düşme hareketi tamamlanmaya kadar geçen süre ve yapılan düşme sayıları, bağlantı kulesi üzerinden okunabilmektedir. Deney aletinde yer alan kilitlenme mekanizması ile, çarpma kuvveti deney elemanına aktarıldıktan sonra, sıçrama hareketleri engellenebilmektedir. Böylelikle, deney elemanları tek serbest düşme hareketi için incelenebilmektedir.

Deney aleti, 2500 mm yükseklikten farklı kütleleri düşürebilecek kapasitededir. Tabanda deney elemanlarının yerleştirileceği platform, 1000x1000x200 mm boyutlarında ve çelik levhadan yapılmıştır.

Serbest ağırlık düşürücü deney aletinde, deney elemanlarına çarpma kuvveti uygulandığı anda potansiyel enerji, kinetik enerjiye dönüşmektedir. Serbest düşme hareketi esnasında kaybedilen enerji, deney elemanı tarafından kazanılan enerjiye eşit olmaktadır. Deney aleti Şekil 1’de sunulmuştur.

İvmeölçerler, mutlak hareket ölçümlerinin yanı sıra, titreşim ve şok ölçümlerinde de kullanılmaktadır. Deneylerde oluşan ivme değerlerini ölçmek için şok ivmeölçerler kullanılmıştır. Bu ivmeölçerler, piezoelektrik malzeme kullanılarak üretilmektedir. Şok ivmeölçerler, kısa süreli ve çok yüksek değerlere ulaşabilen ivme değerlerine karşı koymak ve ölçmek üzere özel olarak tasarlanmışlardır.

Şok ivmeölçerler, çeşitli malzemelerin çarpma davranışlarının belirlenmesinde, mermi ve roket çarpmaları sonucu oluşan etkilerde ve kazık çakma işlemlerinin izlenmesi gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Deneylerde, Şekil 2’de sunulan PCB Group firmasına ait ICP tipi 350B03 model ivmeölçer kullanılmıştır.



Şekil 1. Deney aleti



Şekil 2. İvmeölçerin görünüşü

Kuvvet algılayıcıları, uygulanan kuvveti elastik bir elemanın deformasyonuna çevirirler. Halka kuvvet algılayıcılar, dinamik basınç ölçümleri için tasarlanmışlardır. Yüksek doğrusalık ve tekrar edilebilirlik özellikleri oldukça iyidir. Malzeme ve dayanım testi alanlarında birçok uygulama için kullanılabilirler.

Deneylerde, PCB Group firmasına ait olan 203B model ICP türü halka kuvvet algılayıcı

kullanılmıştır. Ölçümlerin doğruluğu açısından, kuvvet algılayıcının montajı önemlidir. Montajda, berilyum-bakır karışımı malzemeden yapılan vida yardımıyla kuvvet algılayıcı monte edilmiştir. Halka kuvvet algılayıcının görünüşü, Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Kuvvet algılayıcının görünüşü

Lvdt (doğrusal değişken fark transformatörü), rvdt (döner değişken fark transformatörü) ve ortak indüktanslı yakınlık sensörlerinin çalışmasının temelidir. Lvdt, mekanik olarak hareketlendirilmiş nüvesi ile bir transformatördür. Lvdt'nin ani yer değişimlerini ölçebilmesi için, osilatör frekansının hareketin en yüksek frekansından en azından 10 kat daha büyük olması gerekir. Yavaş yer değişim işleri için kararlı osilatör yerine, 50-60 Hz'lik besleme kaynağı frekansı kullanılabilir.

Lvdt, bir objenin doğrusal olan mekanik hareketini, elektrik sinyallerine dönüştüren elektromekanik bir dönüştürücüdür. Lvdt yer değişimi algılayıcıları, 0.01µ seviyelerindeki yer değişimlerini belirleyebilecek kapasitededir. Lvdt, yer değişiminin büyüklüğü yanında yönünü de verebilmektedir.

Lvdt dayanıklı bir yapıya sahip olduğundan dolayı, çeşitli çevre koşullarında kullanılabilir. Sürtünmeye dair kayıplar olmadığından, herhangi bir bakım yapılmadan çalışma süresi uzun olabilmektedir. Yapılan deneylerde, Testart firmasına ait SDVB-50 model yaylı lvdt kullanılmıştır. Kullanılan lvdt'nin görünüşü Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Lvdt'nin görünüşü

Veri toplayıcılar, elektronik kartın üzerindeki sensörler veya harici sensörler nedeniyle, zamana göre bilgileri kaydeden elektronik cihazlardır. Özel yazılımları sayesinde, programlanabilme özelliğine sahiptirler. Standart veya yapılacak çalışmalara göre üretilebilen ve birçok çeşidi olan veri toplayıcılar, deneylerde kullanılan ölçüm cihazlarından elde edilen ölçümleri toplayıp, bilgisayar verilerine çevirmektedir.

Deneylerde, Testart firmasına ait Testbox2010 dinamik veri toplama cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz, özellikle yapısal sağlık takibi, inşaat mühendisliği, deprem mühendisliği ve diğer dinamik karakterdeki uygulamalar için geliştirilmiştir. Kanal girişlerinde sinyal yükselticilere sahip olan cihaz; FBA, MEMS, ICP ve diğer tip ivmeölçerlere ek olarak strain gauge, yük hücresi gibi testlerde tercih edilen sensörlerin çoğunluğuna uyumluluk gösterir. Cihazın görünüşü Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Veri toplama cihazının görünüşü

Deneysel çalışmada kullanılan kompozit deney elemanları, farklı boyutlardaki galvanizli borular ve pvc borular ile harç karma makinesinde üretilen beton kullanılarak, laboratuvar ortamında elde edilmiştir.

Darbe kuvvetleri etkisi altındaki deney elemanının sağ ve sol uçlarında oluşacak dönme ve yanal ötelenme hareketlerine karşı koymak amacıyla, 50x50x500 mm ölçülerinde bağlantı aparatları kullanılmıştır. Çarpma etkilerine karşı dayanıklı çelik malzeme kullanılarak üretilen bu aparatlar ile mesnet koşulları sağlanmıştır.

Kompozit deney elemanlarının üretiminde kullanılan galvanizli borular, 4 mm kalınlığındadır. Deney elemanları, galvanizli borular ve pvc borularının arasına beton

yerleştirilerek elde edilmiştir. Deney elemanlarının üretilme aşamasına ait bir fotoğraf, Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Deney elemanlarının üretilmesi

Harç karma makinesi ile hazırlanan karışım, el arabası yardımıyla taşınarak, galvanizli boru ve pvc boru arasına yerleştirilmiştir. Beton kuruduktan sonra, pvc boru çıkarılarak, kompozit boru deney elemanı elde edilmiştir. 1 m³ beton üretimi için kullanılan malzeme oranları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. 1 m³ beton üretimi için gerekli malzeme miktarları

Malzeme	Miktar (kg)
Çimento (32.5R)	430
Çakıl	1030
Kum	725
Su	200
Kimyasal Katkı	5

Deney elemanları uygun mesnet koşulları sağlanarak, deney düzeneğine yerleştirilmişlerdir. İvmeölçerler, çarpma noktasından sağa ve sola simetrik olacak şekilde, 25 cm’lik mesafeye monte edilmiştir. Kuvvet algılayıcı, çekiçle birlikte hareket etmektedir. Lvdt ise, çita yardımıyla deney elemanına monte edilmiştir.

Deneylerde oluşan ivme değerleri ivmeölçerler ile, çarpma kuvveti değerleri kuvvet algılayıcı ile, deplasmanlar ise lvdt ile ölçülerek, veri kaydediciye gönderilmiştir. Toplam düşme

sayısı ve düşme zamanları ise, optik fotoseller ile belirlenerek, deney düzeneğinde yer alan elektronik ekrandan okunmuştur.

Deneylerde serbest düşme yüksekliği 100 cm, çekiç kütlesi ise 12 kg olarak alınmıştır. Üretilen her bir deney elemanı, çekiç tarafından uygulanan çarpma kuvveti altında test edilmiştir. Kaydedilen ölçüm değerleri, veri kaydedici tarafından bağlantı kabloları yoluyla bilgisayara gönderilmiştir. Deney düzeneğine ait fotoğraf Şekil 7’de sunulmuştur.



Şekil 7. Deney düzeneği

Bilgisayardaki yazılım kullanılarak, veri kaydedici tarafından gönderilen ivme, çarpma kuvveti ve deplasman değerleri, zamana bağlı olarak grafiklere dönüştürülmüştür. Böylece, belli zaman dilimleri içerisinde deney elemanlarında oluşan etkiler elde edilmiştir.

3. Deney Sonuçları

Deneylere, boru elemanlarda maksimum deplasmanların olduğu göçme durumuna ulaşıncaya kadar devam edilmiştir. Deneyler sonucunda, deney elemanlarında oluşan zamana bağlı ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri kullanılarak, ivme-zaman, deplasman-zaman ve çarpma kuvveti-zaman grafikleri elde edilmiştir.

Uygulanan çarpma kuvveti etkisi altında oluşan ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri ile göçme hasar durumunun olduğu toplam düşme adetleri kayıt altına alınmıştır. 3"

çaplı kompozit boruda, IvdT tarafından kaydedilen maksimum deplasmanın olduğu, göçme hasar durumu Şekil 8'de görülmektedir.



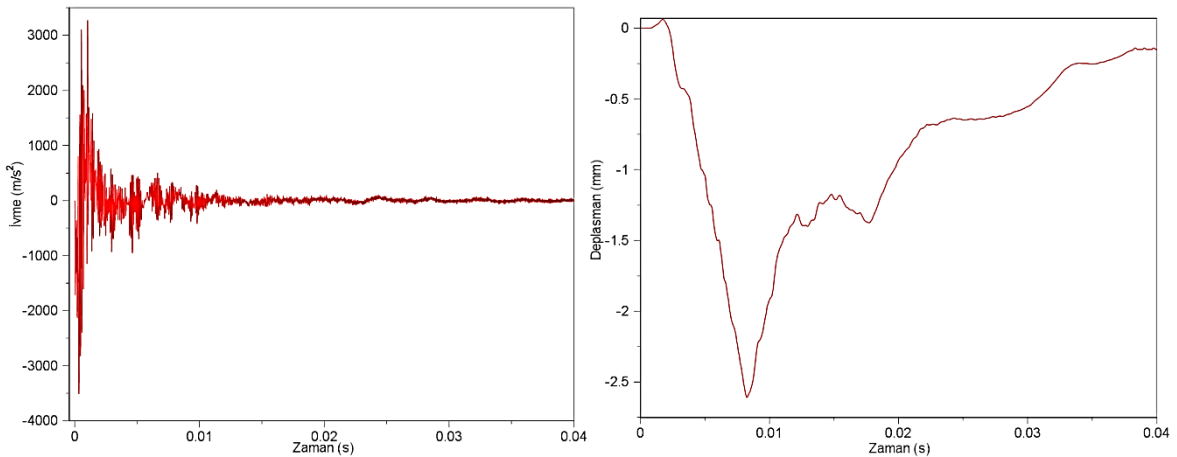
Şekil 8. Göçme hasar durumu

Deneylerde, serbest ağırlık düşürücü deney aletinde yer alan kilitlenme mekanizması devreye sokularak, çekicinin yaptığı ilk serbest düşme hareketinin ardından oluşan sıçrama hareketleri engellenmiştir. Böylece, deney sonuçları çekicinin yaptığı tek bir düşme hareketi için elde edilmiştir.

İvmeölçerler deney elemanlarına simetrik olacak şekilde yerleştirildiği için, iki ivmeölçerden elde edilen değerler birbirine yakın ölçülmüştür. Deney elemanları üzerinden alınan

2 adet ivme ölçümünden büyük olan ivme değeri kullanılarak, ivme-zaman grafikleri oluşturulmuştur. Deplasman-zaman ve çarpma kuvveti-zaman grafikleri yardımıyla, çarpma kuvveti-deplasman grafiği elde edilmiştir.

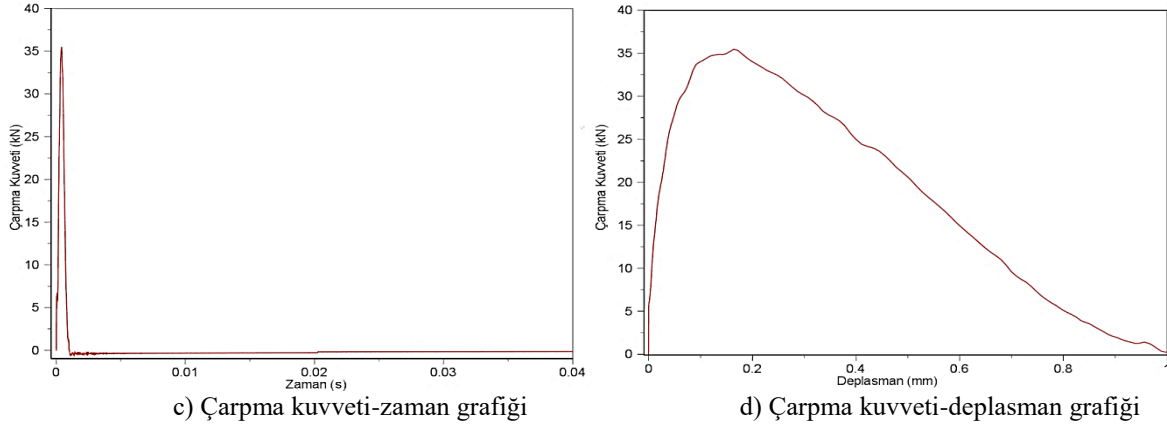
2" çaplı kompozit boru için çizilen ivme-zaman, deplasman-zaman, çarpma kuvveti-zaman ve çarpma kuvveti-deplasman grafikleri Şekil 9'da sunulmuştur.



a) İvme-zaman grafiği

b) Deplasman-zaman grafiği

Şekil 9. 2" çaplı kompozit boru için elde edilen grafikler (devam)



Şekil 9. 2" çaplı kompozit boru için elde edilen grafikler

Deney elemanları, oluşturulan deney düzeneğinde göçme durumuna gelinceye kadar deneylere devam edilmiştir. Deney elemanlarında, ilk serbest düşme hareketi sonucunda elde edilen değerler hasarsız durum

olarak ele alınmıştır. Lvdt tarafından maksimum deplasmanın ölçüldüğü serbest düşme hareketi ise, göçme hasar durumu olarak belirlenmiştir. Deney elemanlarında hasar durumlarına göre ölçülen değerler, Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Deney elemanları için elde edilen değerler

Deney Elemanı	Hasar Durumu	İvme (m/s^2)		Mak. Deplasman (mm)	Mak. Çarpma Kuvveti (kN)
		Min.	Mak.		
2" Çaplı Kompozit Boru	Hasarsız Durum	-3508	3267	2.61	35.46
	Göçme Durumu	-2917	3004		
3" Çaplı Kompozit Boru	Hasarsız Durum	-3761	3986	2.17	42.12
	Göçme Durumu	-3425	3173		
4" Çaplı Kompozit Boru	Hasarsız Durum	-4251	4428	1.34	46.26
	Göçme Durumu	-3529	3752		

Deney elemanlarında maksimum deplasmanın ölçüldüğü göçme hasar durumuna ulaşıncaya kadar, serbest düşme hareketine devam edilmiştir. Her bir eleman için yapılan toplam düşme sayısı, deney düzeneğindeki elektronik ekrandan okunabilmektedir. Deney elemanları için yapılan toplam düşme sayısı Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Toplam düşme sayıları

Deney Elemanı	Toplam Düşme Sayısı
2" Çaplı Kompozit Boru	14
3" Çaplı Kompozit Boru	25
4" Çaplı Kompozit Boru	37

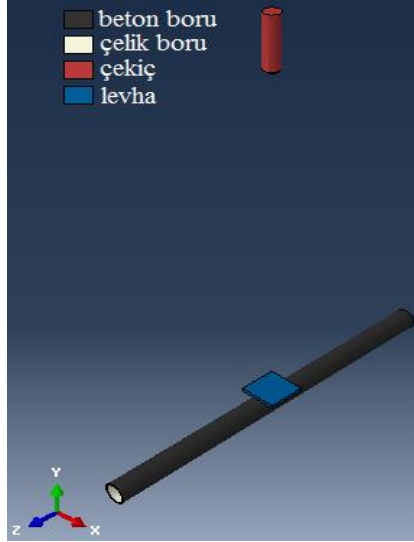
4. Nümerik Analiz

Bu kısımda, deney elemanları ve deney düzeneği Abaqus sonlu elemanlar analiz

programı ile modellenerek analizler gerçekleştirilmiştir. Program, farklı malzeme modellerini bünyesinde barındırmakta ve doğrusal olmayan, artımsal dinamik analizlere olanak sağlamaktadır. Programın Explicit modülü ile zamana bağlı dinamik problemlerin modellenmesi ve çözülmesi gerçekleştirilmektedir. Explicit modülü, düşürme testleri ve çarpışma (kaza) gibi yüksek derecede doğrusalsızlığın bulunduğu problemlerin çözümü için uygundur.

Programda üç boyutlu modeller oluşturulduktan sonra, 12 kg kütledeki çekiç, 1 m yükseklikten düşürülerek, deney elemanları çarpma etkisi altında analiz edilmiştir. Mesnet koşulları deneysel çalışmaya uygun şekilde tanımlanmış, çelik levha deney elemanlarının

üzerine sabitlenmiştir. 2" çaplı kompozit boruya ait oluşturulan sonlu elemanlar modeli Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 10. Sonlu elemanlar modeli

Deney elemanlarına ait sonlu elemanlar modelleri oluşturulurken, malzeme özellikleri programa girilmiştir. Beton ve çelik için belirlenen malzeme özellikleri, ilgili kesitlere atanmıştır. Programda tanımlanan malzemelere ait değerler, Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Malzeme özellikleri

Özellik	Beton	Çelik Levha ve Çekiç
Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	2400	7850
Elastisite Modülü (MPa)	30000	200000
Poisson Oranı	0.20	0.30
Kayma Modülü (MPa)	12000	76923

Deneylerde herhangi bir dış kuvvet uygulanmadığından, analizlerde sadece yer çekim ivmesi tanımlanmıştır. Analizlerde, çekicinin sıçrama hareketi engellenmiş ve tek bir serbest düşme hareketi uygulanmıştır. Ayrıca, analizlerdeki zaman aralıkları ile zaman adımları belirlenmiştir. Analizlerde, çekicinin deney elemanına temas ettiği andan itibaren, zaman

artım aralığı 2×10^{-8} saniye, zaman adımı ise 20000 adım olarak ele alınmıştır.

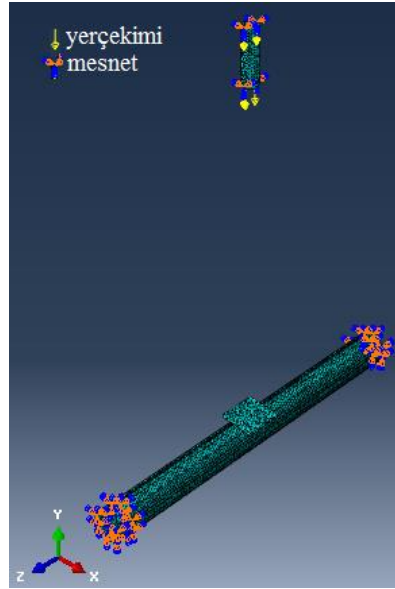
Programda oluşturulan sonlu elemanlar modelleri, daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için, analizlerden önce belli parçalara bölünmüştür. Analizlerin uygun çözüm sürelerinde tamamlanabilmesi amacıyla, sonlu eleman boyutu belirlenmiştir. Sonlu elemanlar modellerinde, mesh aralıkları 4 mm olarak programa girilmiştir.

Modelleme aşamasında, tetrahedron (dört yüzlü) eleman seçilmiştir. Çarpma problemlerinde kullanılan C3D10M (10-node modified tetrahedron) tipindeki eleman, analizlerde kullanılmıştır. Farklı boyutlardaki deney elemanları için hazırlanan modellerde, kullanılan nokta ve eleman sayıları değişmektedir. 2" çaplı kompozit borunun analizi için toplam 43423 nokta ve 32000 C3D10M tipi eleman, 3" çaplı kompozit boru için 59989 nokta ve 43000 C3D10M tipi eleman, 4" çaplı kompozit boru için ise 70033 nokta ve 49500 C3D10M tipi eleman kullanılmıştır.

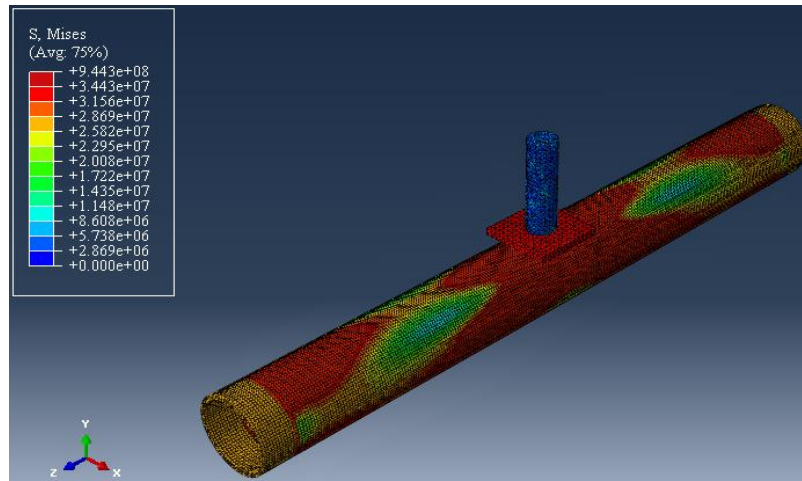
Programda çarpma davranışını gerçekçi bir şekilde tanımlayabilmek için, çekiç ile çelik levha arasındaki temasın doğru modellenmesi gerekir. Bunun için Interaction bölümünde, çekiç yüzeyi esas (master), levha yüzeyi ise bağımlı (slave) seçilmiştir.

Deney düzeneğinde yer alan ve çekicinin düşey yönde hareket etmesini sağlayan kızaklar, işlem hacmini azaltmak amacıyla sonlu elemanlar modelinde kullanılmamıştır. Bu nedenle, çekiç yalnızca düşey yönde hareket yapacak şekilde modellenmiştir. 3" çaplı kompozit boru için, alt geometrilere bölündükten sonra oluşturulan sonlu elemanlar modeli Şekil 11'de görülmektedir.

Analizler, çekicinin yaptığı ilk serbest düşme hareketi için yapılmıştır. İlk düşme hareketi sonucunda 4" çaplı kompozit boru için elde edilen gerilme dağılımı Şekil 12'de verilmiştir. Maksimum gerilmelerin, çarpma kuvvetinin uygulandığı bölgede yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 11. Mesh işleminin ardından oluşturulan model



Şekil 12. Gerilme dağılımı

Analizler sonucunda, her bir deney elemanında oluşan ivme, deplasman, çarpma kuvveti değerleri, Abaqus programı ile

belirlenmiştir. Elde edilen değerler ve deneysel sonuçlar ile aralarındaki ilişki Tablo 5'te ve Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 5. İlk düşme hareketi için ivme değerlerinin karşılaştırılması

Deney Elemanı		Mak. İvme (m/s ²)		
		Deney	Analiz	Deney/Analiz
2" Çaplı Kompozit Boru	Min.	-3508	-3286	1.07
	Mak.	3267	3424	0.95
3" Çaplı Kompozit Boru	Min.	-3761	-3657	1.03
	Mak.	3986	3492	1.14
4" Çaplı Kompozit Boru	Min.	-4251	-3708	1.15
	Mak.	4428	4027	1.10

Tablo 6. Maksimum deplasman ve çarpma kuvveti değerlerinin karşılaştırılması

Deney Elemanı	Mak. Deplasman (mm)			Mak. Çarpma Kuvveti (kN)		
	Deney	Analiz	Deney/Analiz	Deney	Analiz	Deney/Analiz
2" Çaplı Kompozit Boru	2.61	2.27	1.15	35.46	36.91	0.96
3" Çaplı Kompozit Boru	2.17	1.83	1.18	42.12	38.79	1.08
4" Çaplı Kompozit Boru	1.34	1.59	0.84	46.26	42.17	1.10

5. Sonuçlar ve Öneriler

Boru hatları, doğalgaz, petrol ve su gibi malzemelerin, bir noktadan başka bir noktaya taşınması için kullanılan yapı sistemleridir. Boru hatları, içsel gaz veya sıvı basıncı gibi işletme yükleri ile statik ve dinamik yüklere göre tasarlanmaktadır. Bunun yanında, boru hatları heyelanlar ve kaya düşmesi gibi ani çarpma etkilerine maruz kalmaktadır. Bu ani etkileri modellemek amacıyla, deney düzenekleri kullanılmaktadır.

Kompozit borular, farklı boru tiplerinin birleşmesi ile elde edilmektedir. Uygulamadaki avantajları nedeniyle, boru hatlarının tasarımında kompozit borular yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, farklı çaplara sahip kompozit boru deney elemanlar çarpma etkisi altında test edilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçları değerlendirmek amacıyla, deney elemanı ve deney düzeneği Abaqus sonlu elemanlar programında modellenerek, analizler gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmadan elde edilen ivme değerleri, çarpma kuvvetinin uygulandığı noktadan her iki yana 25 cm mesafede simetrik olarak yerleştirilen ivmeölçerler tarafından kayıt altına alınmıştır. En büyük ivme değerleri, 4" çapındaki kompozit boru için ölçülürken, tüm deney elemanlarında ivme değerlerinin göçme hasar durumuna doğru giderek azaldığı gözlemlenmiştir.

Kompozit boru elemanlarda oluşan deplasman değerleri, lvd'te yardımıyla ölçülmüştür. Deney elemanlarında oluşan hasar ilerledikçe, deplasman değerlerinin arttığı görülmüştür. Deney elemanları arasında oluşan maksimum deplasman değeri, 2" çapındaki kompozit boruda elde edilmiştir.

Çekicinin uç kısmına monte edilen kuvvet algılayıcı ile, her bir serbest düşme hareketi sonucunda oluşan çarpma kuvveti değerleri

ölçülmüştür. İlk düşme hareketinden, göçme hasar durumuna doğru ölçülen çarpma kuvveti değerlerinde azalma görülmüştür. Maksimum çarpma kuvveti değeri, 4" çapındaki kompozit boru için elde edilmiştir. Çarpma kuvveti-deplasman grafiklerinin altında kalan alan ile, deney elemanlarının enerji yutma kapasiteleri hakkında fikir sahibi olunmuştur. Deney elemanlarında, ilk düşme hareketinden göçme hasar durumuna doğru gidildikçe, enerji yutma kapasiteleri azalmıştır.

Deney elemanlarının çarpma dirençleri, göçme durumuna ulaşmaya kadar yapılan toplam serbest düşme sayıları ile belirlenmiştir. Toplam serbest düşme sayıları incelendiğinde, en fazla düşme sayısı, 4" çapındaki kompozit boruda ölçülmüştür. Kesit çapı arttıkça, deney elemanları daha geç göçme durumuna ulaştığı için, daha fazla serbest düşme hareketi yapılmıştır.

Deneysel çalışmanın ardından, deney elemanları oluşturulan deney düzeneği ile birlikte Abaqus sonlu elemanlar programında modellenerek analizler gerçekleştirilmiştir. Deney elemanlarında oluşan ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri, deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, çarpma kuvveti deney elemanına aktarıldığı anda, deney elemanında oluşan gerilme durumu, sonlu elemanlar analizi ile izlenmiştir. Böylece, hem deneysel hem de analiz çalışması ile kompozit boruların çarpma kuvveti altındaki davranışı hakkında fikir sahibi olunmuştur.

6. Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan malzemelerin ve deney aletlerinin alınması için gerekli olanaklar, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından sağlanmıştır.

7. Kaynaklar

1. Nataraja, M.C., Dhang, N., Gupta, A.B. (1999). Statistical variations in impact resistance of steel fiber-reinforced concrete subjected to drop weight test. *Cement and Concrete Research*, **29(7)**: 989-995.
2. Banthia, N.P. (1987). Impact resistance of concrete. PhD Thesis, The University of British Columbia, 335s.
3. Erdem, R.T. (2013). Farklı kesit boyutlarına sahip beton ve betonarme kesitlerin çarpma etkisi altında incelenmesi. Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 304s.
4. Pichler, B., Hellmich, C., Mang, H.A., Eberhardsteiner, J. (2006). Loading of a gravel-buried steel pipe subjected to rockfall. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **132(11)**: 1465-1473.
5. Yang, J.L., Lu, G.Y., Yu, T.X., Reid, S.R. (2009). Experimental study and numerical simulation of pipe-on-pipe impact. *International Journal of Impact Engineering*, **36**: 1259-1268.
6. Tafreshi, S.N.M., Khalaj, O. (2011). Analysis of repeated-load laboratory tests on buried plastic pipes in sand. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **31**: 1-15.
7. Jones, N., Birch, R.S. (2010). Low-velocity impact of pressurised pipelines. *International Journal of Impact Engineering*, **37**: 207-219.
8. Kristoffersen, M., Børvik, T., Westermann, I., Langseth, M., Hopperstad, O.S. (2013). Impact against X65 steel pipes – an experimental investigation. *International Journal of Solids and Structures*, **50**: 3430–3445.
9. Anil, Ö., Erdem, R.T, Kantar, E. (2015). Improving the impact behavior of pipes using geofoam layer for protection. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, **132-133**: 52-64.
10. Shah, Q.H. (2011). Experimental and numerical study on the orthogonal and oblique impact on water filled pipes. *International Journal of Impact Engineering*, **38**: 330-338.
11. Guades, E., Aravinthan, T., Manalo, A., Islam, M. (2013). Experimental investigation on the behaviour of square FRP composite tubes under repeated axial impact. *Composite Structures*, **97**: 211-221.
12. Gezeri O. (2012). Çelik ve kompozit boruların çarpma davranışı ve koruyucu yapıların etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 108s.
13. Gücüyen, E., Erdem, R.T., Kantar E. (2017). Yerüstü boru hatlarında dinamik kuvvetlerin oluşturduğu etkilerin deneysel olarak incelenmesi. Bilimsel Araştırma Projesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi.
14. ABAQUS User's Manual, Version 6.12, SIMULIA. (2015). Dassault Systèmes Simulia Corp.

Goldbach Sanısı Tabanlı Yeni Bir Matematiksel Sayısal İmge Damgalama Yöntemi

Türker TUNCER

Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Adli Bilişim Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye
turkertuncer@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 15.08.2017; Kabul/Accepted: 08.01.2018)

Özet

Bu makalede Goldbach sanısı kullanılarak yeni bir sayısal damgalama yöntemi önerilmiştir. Goldbach sanısına göre 2'den büyük tüm çift sayılar iki asal sayının toplamından oluşmaktadır. Bu makalede elde edilen asal sayıların oranları kullanılarak sayısal damgalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde imge bloklara ayrılmış ve veri gizlenecek piksel rastgele sayı üretici kullanılarak seçilmiştir. Önerilen yöntemi test etmek için görsel kalite, dayanıklılık ve çalışma zamanı kullanılmıştır. Bu yöntem Çin Kalan Teoremi tabanlı sayısal damgalama algoritmalarıyla karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, goldbach sanısı tabanlı sayısal damgalama yöntemini doküman, video ve imge içeriğini korumak için kullanılacak pratik ve başarılı bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Goldbach Sanısı; Sayısal Damgalama; Telif Hakkı Koruma; Bilgi Güvenliği.

A New Mathematical Digital Image Watermarking Method Based on Goldbach Conjecture

Abstract

In this paper, a new digital watermarking method is proposed by using Goldbach conjecture. All even numbers which are greater than 2 are consist of sum of two primes numbers according to Golbach conjecture. We used rate of the used prime numbers to implement digital watermarking in this paper. In this method, image is divided into blocks and the proposed method is selected embeddable pixel by using pseudo random number generator. Visual quality, robustness and execution time are used to evaluate the proposed method. The proposed method is compared to Chinese remainder theorem based digital watermarking methods. The experimental results showed that, Goldbach based digital watermarking method can be used to protect document, video and images contents. This method is successful and practically.

Keywords: Collatz Conjecture; Digital Watermarking; Copyright Protection; Information Security.

1. Giriş

Bilgi teknolojileri ve multimedya teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte imge paylaşımı çok kolay ve hızlı bir hale gelmiştir ancak aynı teknoloji imgelerin bilgi güvenliğinin sağlanmasını zorunlu bir hale getirmiştir [1-3]. Günümüzde çok gelişmiş multimedya düzenleme araçları bulunmaktadır. Bu araçlar kullanılarak imgeler bireylerin fark edemeyeceği şekilde değiştirilebilmektedir. Bu durumda imgelerin sahipliği ispat edilememekte ve çok büyük maddi ve manevi kayıplar yaşanmaktadır [1-4] İmgelerin sahipliğini doğrulayabilmek için kriptolojik özet fonksiyonları ve sayısal damgalama teknikleri kullanılmaktadır. Sayısal damgalama tekniklerinin temel amacı imgede

minimum bozulma oluşturarak sahiplik doğrulaması yapabilmektir. İmgelerin sahipliğini belirlemek için genellikle görünmez damgalama teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler uzaysal alanı kullanabildikleri gibi, sayısal dönüşümleri de kullanabilmektedirler. Sayısal damgalamada genellikle, Ayrık Kosinüs Dönüşümü (AKD), Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) ve Tekil Değer Ayrışımı (TDA) gibi dönüşümler kullanılmaktadır [5-9]. Sayısal damgalama yöntemini oluşturan bileşenler aşağıda verilmiştir.

- Örtü imge
- Damga
- Anahtar
- Veri gömme fonksiyonu

- Damgalanmış imge
- Veri çıkarma fonksiyonu

Örtü imge, damganın gömüleceği imgedir. Damga, telif hakkı koruması otomatik üretilen veya kullanıcı tarafından oluşturulan gizli mesajdır. Anahtar kullanımı kullanıcının tercihine bırakılmıştır. Genellikle anahtarlar güvenliği sağlamak için kullanılmaktadır. Anahtar, damganın gömüleceği indisleri belirlemekle beraber damgayı veya örtü nesnesini şifrelemede de kullanılabilirler. Veri gömme fonksiyonu kullanılarak damga örtü nesnesinin içerisine gömülür ve böylece damgalanmış imge elde edilir. Veri çıkarma fonksiyonu kullanılarak damgalanmış imgeden damga elde edilir. Literatürde yer alan bazı sayısal damgalama yöntemleri aşağıda verilmiştir [1-9].

Mir [10] web içeriklerinin telif hakkını korumak için sayısal damgalama tabanlı bir yöntem önermiştir. Önerdiği yöntemde HTML kodlarını örtü nesnesi olarak kullanmaktadır. Damga semantik ve sentetik kurallar kullanılarak HTML kodlarına şifrelenmiş bir şekilde gömülmekte ve böylece telif hakkını koruma amaçlanmaktadır. Zheng vd. [11] TDA ve en küçük kareler destek vektör makinesi kullanarak hem sayısal damga gömme hem de sayısal damgayı tespit etmek için bir algoritma önermişlerdir. Bu yöntem TDA alt bloklara uygulanarak katsayılar elde edilir. Elde edilen katsayılara damga gömülür. İmgenin içerisinde damganın olup olmadığını tespit edebilmek için en küçük kareler destek vektör makinesi kullanılmıştır. Hu ve Hsu [12] ADD, TDA ve AKS kullanarak dayanıklı bir sayısal damgalama yöntemi önermiştir. Damga gömme aşamasında basamaklandırılmış indis modülasyonu ve Arnold dönüşümü kullanılmıştır. Abdallah vd. [13] TDA tabanlı homomorfik imge damgalama yöntemi önermiştir. Xiang-yang vd. [14] geometrik ataklardan korunmak için yerel kutupsal harmonik dönüşüm tabanlı bir sayısal damgalama yöntemi önermiştir. Önerilen yöntemin SURF yönteminden daha dayanıklı olduğunu göstermişlerdir. Damga, gizli anahtar kullanılarak üretilmiştir. Khalili [15] AKD ve Arnold kaotik dönüşümünü tabanlı bir sayısal damgalama yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntemde JPEG-YCbCr kanalları kullanılarak sayısal damgalama yöntemi dayanıklı hale getirilmiştir. Mehto ve Mehra [16] AKD ve ADD tabanlı uyarlanabilir

kayıpsız bir sayısal damgalama yöntemi önermişlerdir. Bu yöntem medikal imgelerde uygulanmıştır. Botta vd. [17] renkli imgeler için kırılğan bir sayısal damgalama çerçevesi oluşturmuştur. Bu çerçevede kayıpsız dönüşümler, genetik algoritma, sendrom kodlama gibi yöntemler kullanılmıştır. Nguyen vd. [18] imgelerin kimlik doğrulamasını gerçekleştirmek için ADD tabanlı bir kırılğan damgalama yöntemi sunmuşlardır. Bu yöntemde gizli anahtar kullanılarak damga üretilmiş belirlenen kurallara göre ADD katsayılarına gizlenmiştir. Teorik olarak mükemmel görsel kalite sağlasa da pratik uygulanması zordur çünkü piksel değerleri ondalıklı sayılardan oluşmaktadır. Shih ve Zhong [19] medikal imgeler için yüksek kapasiteli bir sayısal damgalama yöntemi sunmuşlardır. Önerilen yöntemde medikal imgenin teşhisle ilgili alanlar ve ilgili olmayan alanları kullanılmıştır. Patra vd. [20] çin kalan teoremi tabanlı bir sayısal damgalama yöntemi geliştirmiştir. Yazarlar bu yöntemin imge kimlik doğrulama yöntemi olarak kullanılabilirliğini söylemiştir. Yöntem kırılğan bir yapıya sahiptir ancak kimlik doğrulama yöntemi olarak pratikte kullanılamayacağı görülmektedir. Patra vd. [21] çin kalan teoremi tabanlı sayısal damgalama yönteminin JPEG sıkıştırılmalarına karşı dayanıklı olabilmesi için AKD katsayılarına damga gömmüştür. Thlasidharan ve Nair [22] QR kod tabanlı kör bir sayısal damgalama yöntemi sunmuştur. Bu yöntemde saldırı tespiti yapmak için özellik çıkarma ve QR oluşturma aşamaları kullanılmıştır. Gizliliği sağlamak için Arnold dönüşümü kullanılmıştır. QR kod ADD katsayılarına gömülmüştür.

Bu makalede Goldbach sanısı tabanlı yeni bir imge damgalama yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemin karakteristiği aşağıdaki gibi verilmiştir.

- Goldbach sanısına göre tüm çift sayılar en az iki asal sayının toplamından oluşmaktadır ancak bu sanı tüm doğal sayılar için ispatlanamamaktadır. Bu makalede, piksel değerleri 8 bitten oluşan imgeler kullanılmıştır. Bu piksellerin alabileceği değerler 0 ile 255 arasında değişmektedir. Bu sonlu uzayda Goldbach sanısı ispatlanmış bir sanıdır. Tek değerler için -1 operatörü kullanılarak, tek değerler çifte dönüştürülmüştür. Bu sayede Goldbach sanısı 8 bitlik imgede uygulanabilir hale

dönüştürülmüştür. Bu makale, başka matematiksel kullanılarak damgalama yöntemlerinin elde edilebileceğini göstermektedir ve bu makalede literatürde ilk kez Goldbach sanısı tabanlı bir imge damgalama yöntemi önerilmiştir.

- Goldbach sanısı sonucu elde edilen asal sayıların oranı elde edilerek piksel değerleri normalize edilir. Normalize edilmiş değerler bir sabitle çarpılarak oranın tam kısmı elde edilir ve mod operatörü kullanılarak damga gizleme ve damga çıkarma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sabitle çarpma ve mod operatörü kullanılması sayesinde eşit (uniform) dağılım elde edilmiştir. Bu durumda önerilen yöntemin güvenilir damgalama için uygun olduğunu göstermektedir.
- Önerilen yöntem blok tabanlı bir yöntemdir. İmge öncelikle bloklara bölünür. Her bir blokta sadece bir piksele damga gömülmektedir. Damga gömülecek pikseli seçmek rastgele sayı üreteçler kullanılmaktadır. Rastgele sayı üreteçleri sayesinde önerilen damgalama yönteminin güvenilirliği sağlanmaktadır.
- Önerilen yöntem yüksek görsel kalitede ve yüksek kapasitede damgalama imkânı sağlamaktadır. Ayrıca deneysel sonuçlar önerilen yöntemin fonksiyonel programlama sayesinde, hızlı bir algoritma olduğunu göstermektedir. Önerilen yöntem kırılğan bir yöntemdir ve bu yöntem kullanılarak imge damgalama yöntemlerinin geliştirilebileceği gösterilmiştir.

Bu makalenin organizasyonu şu şekildedir. Makalenin 2. Bölümünde Goldbach Sanısı, 3. Bölümde önerilen sayısal damgalama yöntemi, 4. bölümde deneysel sonuçlar ve 5. bölümde sonuç ve önerilerden bahsedilmiştir.

2. Goldbach Sanısı

Bu sanı 1742 yılında Christian Goldbach'ın Leonhard Euler'e yazdığı mektupla ortaya çıkmıştır. Goldbach sanısına göre 2'den büyük tüm çift sayılar 2 asal sayının toplamından oluşmaktadır. Bu sanı günümüzde hala ispatlanamamıştır. Goldbach sanısı kolay

anlaşılan ancak 274 yıldır çözülemeyen mileniyum problemleri arasında yerini almaktadır [23].

3. Goldbach Sanısı Tabanlı İmge Damgalama Yöntemi

Bu çalışmada, imgelere veri gizlemek için Goldbach sanısı kullanılmıştır. Goldbach sanısına göre 2'den büyük tüm doğal sayılar 2 asal sayının toplamı şeklinde ifade edilebilmektedir. Goldbach sanısı sadece çift sayılar için önerilmiştir. Bu makalede Goldbach sanısının tüm sayılarda kullanılabilmesi için yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemde elde edilen asal sayıların oranı alınmaktadır ve damga gömme işlemi için bu oranlar kullanılmaktadır. Goldbach sanısına göre, bir çift sayı birden fazla asal çiftinden oluşabilmektedir. Goldbach sanısını kullanarak çift sayıyı oluşturan tüm asal sayıları bulmak algoritmanın karmaşıklığını arttıracak için önerilen yöntemde sayıyı oluşturan ilk asal sayı çifti kullanılmıştır. Bu işlemi gerçekleştirmek için 2 adet algoritma çalışmaktadır. İlk algoritma asal sayıyı bulan algoritma ikincisi ise asal sayıların oranlarını bulan algoritmadır. Hassasiyeti arttırmak için elde edilen oranların virgülden sonraki iki hanesi kullanılarak sayısal damgalama işlemi gerçekleştirilmektedir. Asal sayıların oranlarını bulan fonksiyonun sözde kodu Algoritma 1' de verilmiştir.

Algoritma 1. Goldbach sayılarının oranlarını bulan algoritmanın sözde kodu.

Giriş: Piksel değeri p.
Çıkış: Oran değeri
<pre> 1: if p<8 then 2: r=0.5; 3: return r; 4: else 5: if p (mod 2)=1 then 6: p=p-1; 7: endif 8: for k=2 to p-2 do 9: if asal(k)=true and asal(p-k)=true then 10: r=k/(p-k); 11: return r; 12: break; 13: endif 14: endfor 15: endif </pre>

Algoritma 1’de verilen r değeri kullanılarak sayısal damgalama işlemi gerçekleştirilecektir. Bu algoritma Goldbach oranlarını verdiği için GO adında bir fonksiyon olarak tanımlanmaktadır. Önerilen damga gömme yönteminin algoritması aşağıdaki gibidir.

Adım 1: Örtü imge m x n boyutunda örtüşmeyen alt bloklara ayrılır. Blok sayısı veya veri gizleme kapasitesi Eşitlik 1’de verilmiştir.

$$BS = \left\lfloor \frac{W}{m} \right\rfloor \left\lfloor \frac{H}{n} \right\rfloor \quad (1)$$

Eşitlik 1’de W imgenin genişliği, H imgenin uzunluğunu temsil etmektedir.

Adım 2: Rastgele sayı üretici kullanılarak P adındaki piksel seçilir.

Adım 3: Goldbach oranını elde etmek için GO fonksiyonu kullanılır.

$$r = GO(P) \quad (2)$$

Eşitlik 2’de kullanılan r değişkeni Golbach oranını ifade etmektedir.

Adım 4: r değerinin virgülden sonraki iki basamağını elde etmek için T değeri Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanır.

$$T = \lfloor 100 \cdot r \rfloor \quad (3)$$

Adım 5: Veri gizleme değeri E’yi elde etmek için Eşitlik 4 kullanılır.

$$E = T \pmod{2} \quad (4)$$

Adım 6: Eğer damga değeri D=0 ve E=1 ise P değeri değiştirme prosedürü kullanılarak P değeri değiştirilir.

Adım 7: Eğer damga değeri D=1 ve E=0 ise P değeri değiştirme prosedürü kullanılarak P değeri değiştirilir.

Adım 8: Damga boyutunca Adım 2-7 tekrarlanır.

Adım 6 ve 7’de kullanılan değiştirme prosedürünün sözde kodu Algoritma 2’de verilmiştir.

Algoritma 2. Değiştirme prosedürünün sözde kodu.

Giriş: Piksel değeri P, Damga değeri D, Veri gizleme değeri E.

Çıkış: Değiştirilmiş piksel değeri P’

```

1: if D=0 and E=1 then
2:   for i=1 to 255 do
3:     if P+k<256 then
4:       P=P+k;
5:       if GO(P)=0 then
6:         P'=P;
7:         break;
8:       endif
9:     elseif P-k≥0 then
10:      P=P-k;
11:      if GO(P)=0 then
12:        P'=P;
13:        break;
14:      endif
15:    endif
16:  endfor
17: elseif D=1 and E=0 then
18:   for i=1 to 255 do
19:     if P+k<256 then
20:       P=P+k;
21:       if GO(P)=1 then
22:         P'=P;
23:         break;
24:       endif
25:     elseif P-k≥0 then
26:       P=P-k;
27:       if GO(P)=1 then
28:         P'=P;
29:         break;
30:       endif
31:     endif
32:   endfor
33: endif

```

Önerilen sayısal damgalama yönteminin veri çıkarma adımları aşağıdaki gibi verilmiştir.

Adım 1: İmge m x n boyutundaki bloklara ayrılır.

Adım 2: Tohum değerleri kullanılarak rastgele sayı dizisi oluşturulur.

Adım 3: Rastgele sayı dizisi kullanılarak P’ değeri elde edilir.

Adım 4: Eşitlik 5 kullanılarak damga verisi D elde edilir.

$$D = \lfloor GO(P') \times 100 \rfloor \pmod{2} \quad (5)$$

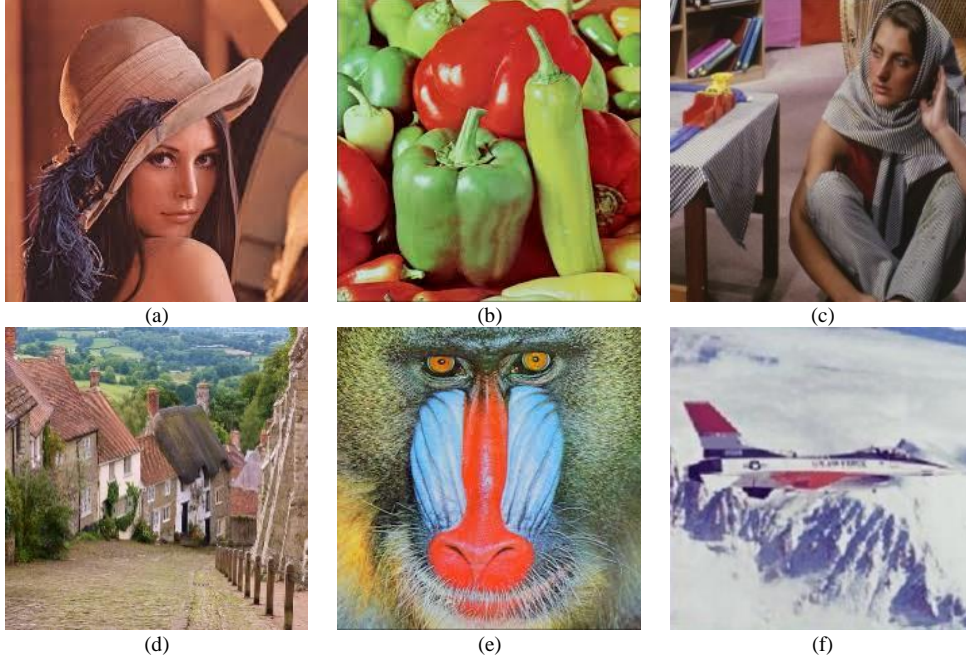
Adım 5: Damga boyutunca adım 3-4 tekrarlanır.

Önerilen sayısal damgalama algoritmasının kapasitesini arttırmak için Eşitlik 4, 5 ve değiştirme prosedüründe kullanılan mod değerleri değiştirilebilmektedir. Örneğin Örneğin 2 bit veri gizlenecek ise mod 4, 3 bit veri gizlenecek ise mod 8 değeri kullanılabilir.

4. Deneysel Sonuçlar

Önerilen sayısal damgalama yöntemini test etmek için; Kapasite, Görsel Kalite, Dayanıklılık, Çalışma zamanı, Güvenilirlik değerlendirme ölçümleri kullanılarak önerilen yöntemin performansı test edilmiştir.

Bu parametreleri sayısal olarak ifade edebilmek için Tepe Sinyal Gürültü Oranı (TSGO, PSNR), bit, Bit Hata Oranı (BHO, BER) ve milisaniye ölçüm birimleri kullanılmıştır. Bu sayısal değerleri elde edebilmek için literatürde sıklıkla kullanılan 512 x 512 boyutundaki renkli test imgeleri kullanılmıştır [25].



Şekil 1. Test imgeleri [25]. (a) Lena (b) Peppers (c) Barbara (d) Goldhill (e) Baboon (f) Jet

Kapasite: Önerilen yöntem, kapasite açısından esnek bir yöntemdir. Bu makalede 8 x 8 bloklara 1 bitlik veri gizlenmiştir. Kullanılan imgeler 512 x 512 x 3 boyutunda olduğu için veri gizleme kapasitesi $\frac{512}{8} \cdot \frac{512}{8} \cdot 3$ bit elde edilir. Önerilen yöntemin kapasitesi genel olarak Eşitlik 6'da verilmiştir.

$$Kapasite = \left\lfloor \frac{M}{w} \right\rfloor \cdot \left\lfloor \frac{N}{h} \right\rfloor \cdot katman.bit \quad (6)$$

Eşitlik 5'te M örtü imgesinin satır sayısı, N örtü imgesinin sütun sayısı, w kullanılan alt bloğun satır sayısı, h kullanılan alt bloğun sütun sayısı ve bit değer seçilen piksele kaç bit veri gizlendiğini göstermektedir. Katman değişkeni gri seviyeli imgeler 1, RGB imgeler için 3 değerini almaktadır.

Görsel Kalite: Önerilen yöntemin performansını test edebilmek için kullanılan en önemli başarımlar parametrelerinde birisi de görsel kalitedir. Görsel

kaliteyi test edebilmek için ise MSE (mean square error, ortalama karesel hata) ve PSNR ölçütleri kullanılmaktadır. Algoritmanın başarımını test etmek için rastgele üretilmiş veriler kullanılmıştır. MSE ve PSNR'nin denklemleri formül 7 ve 8'de verilmiştir.

$$MSE = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (CI_{i,j} - WI_{i,j})^2 / (M \times N) \quad (7)$$

$$PSNR = 10 \times \log_{10}(1/MSE) \quad (8)$$

Eşitlik 3'te kullanılan CI örtü imgesi, WI damgalı imgedir.

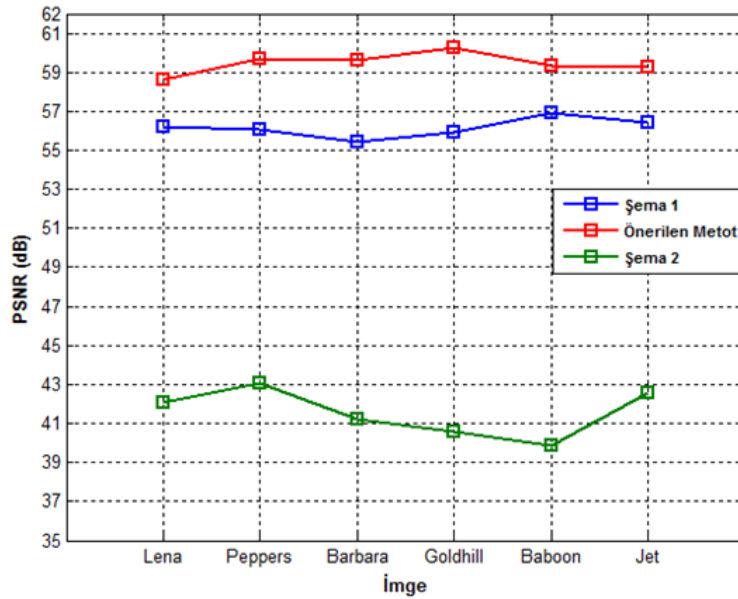
Aşağıdaki tabloda blok boyutuna göre elde edilen PSNR değerleri verilmiştir. Bu karşılaştırmada seçilen piksele bir bit veri gizlenmiştir.

Tablo 1. Blok boyutlarına göre elde edilen PSNR değerleri.

İmge	2 x 2	3 x 3	4 x 4	5 x 5	6 x 6	7 x 7	8 x 8
Lena	45.78	49.30	51.82	53.84	55.09	57.09	58.63
Peppers	47.36	50.84	53.31	55.46	57.03	58.25	59.69
Barbara	46.63	50.62	53.03	55.13	56.48	57.80	59.62
Goldhill	48.02	50.89	53.42	55.69	57.03	58.61	60.24
Baboon	47.38	50.01	52.78	54.64	56.17	57.45	59.35
Jet	46.41	50.18	52.34	55.01	56.19	58.21	59.24

Önerilen yöntem ile literatürde daha önceden önerilmiş Şema 1[20] ve Şema 2[21]'nin PSNR değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma

sonuçları Şekil 2'de verilmiştir. Bu karşılaştırma için 8 x 8 boyutundaki bloklar kullanılmıştır.

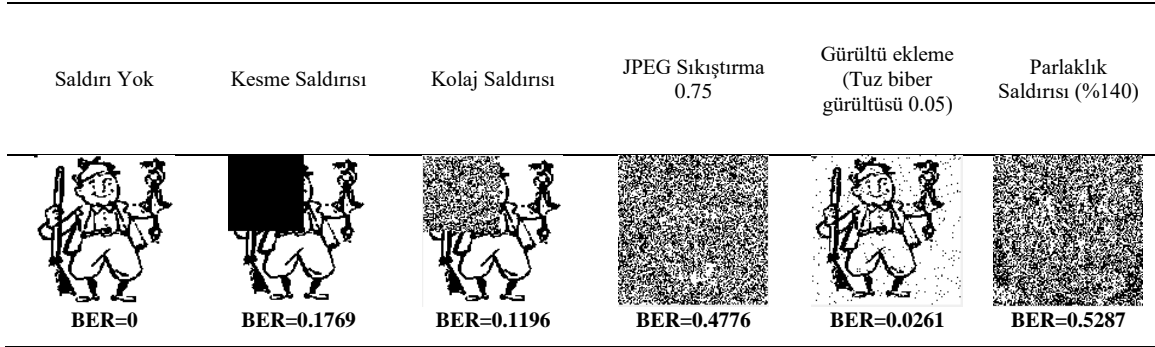
**Şekil 2.** PSNR değerlerinin karşılaştırılması.

Dayanıklılık: Önerilen yöntemin dayanıklılığını ölçmek için damgalı imgeye çeşitli saldırılar yapılmıştır. Önerilen yöntem uzaysal alanı kullandığı için imgelerde kimlik doğrulama amacıyla kullanılabilir. Kesme, kolaj, gürültü ekleme, JPEG sıkıştırma ve parlaklık atakları gibi ataklar uygulanarak yöntemin dayanıklılığı test edilmiştir. Dayanıklılık testi yapılırken 8 x 8 boyutunda bloklar kullanılarak damga gömülmüştür. 512 x 512 boyutundaki imgeye 64 x 64 boyutundaki damga gömülmüştür. Damgadaki değişimi ölçmek için BER kullanılmıştır. BER' in eşitliği Eşitlik 9'da verilmiştir.

$$BER = \sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^H \frac{D_{i,j} \oplus D'_{i,j}}{W * H} \quad (9)$$

Yukarıdaki denklemde D orijinal damga, D' saldırıdan sonra elde edilen damga, W damganın genişliği ve H damganın yüksekliğini temsil etmektedir.

Saldırı yapılmış imgeden elde edilen damgalar ve BER değerleri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Saldırı yapılmış Baboon imgesinden damganın çıkarılması ve elde edilen BER değerleri.

Çalışma Zamanı: Önerilen yöntemin çalışma zamanını hesaplamak için farklı boyutlarda at bloklar kullanılmıştır. Testler Intel Pentium i5-4570 3.20 GHz işlemci, 8 GB RAM'e sahip bir masaüstü bilgisayarda MATLAB 2015a yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örtü nesnesi olarak kullanılan imgeler 256 x 256 boyutunda gri seviyeli imgelerdir. Bu imgelerin kullanılmasının temel sebebi, literatürdeki diğer yöntemlerle

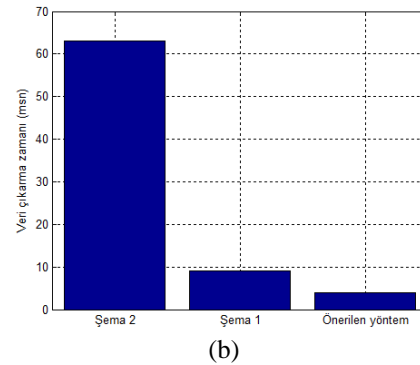
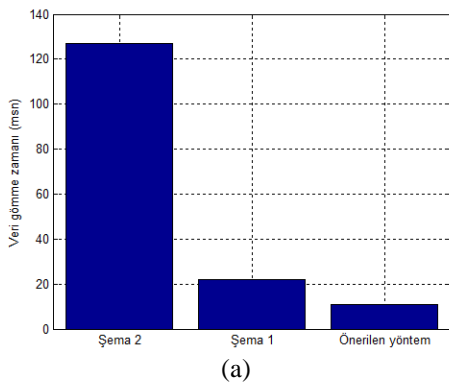
karşılaştırmanın yapılabilmesidir. [20] ve [21]'de sunulan yöntemlerin çalışma zamanını ölçmek için 256 x 256 boyutunda gri seviyeli imgeler kullanılmıştır. Bu sonuçları elde etmek için [25]'te verilen veritabanındaki gri seviyeli imgeler 256 x 256 olarak boyutlandırılmıştır ve elde edilen ortalama damga gömme ve damga çıkarma süreleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Blok boyutlarına göre elde çalışma süreleri (ms)

2 x 2		3 x 3		4 x 4		5 x 5		6 x 6		7 x 7		8 x 8	
GZ	ÇZ	GZ	ÇZ	GZ	ÇZ	GZ	ÇZ	GZ	ÇZ	GZ	ÇZ	GZ	ÇZ
147	54	66	24	36	15	28	9	19	6	14	5	11	4

Tablo 2'de GZ veri gizleme zamanını, ÇZ veri çıkarma zamanını temsil etmektedir. Şekil 4'de önerilen yöntemin literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırılması verilmiştir.

Bu karşılaştırmada 8 x 8 boyutundaki örtüşmeyen bloklar kullanılarak 256 x 256 boyutundaki gri seviyeli imgeye tam kapasitede damga gömülmüştür.



Şekil 4. Önerilen yöntem ve diğer yöntemlerin çalışma zamanlarının karşılaştırılması (a) ortalama veri gömme zamanları (b) ortalama veri çıkarma zamanları.

Güvenilirlik: Önerilen yöntem blok tabanlı bir yöntemdir. Damga gömmek için bloktan rastgele bir piksel seçilmektedir. Damga gömülecek pikseli seçmek için rastgele sayı üreteçleri kullanılmaktadır. Yöntemin güvenilir bir yöntem olması için kriptolojik rastgele sayı üreteçleri kullanılması gerekmektedir. Bu rastgele sayı üreteçlerinin özellikleri [26]' da sunulan makalede net bir şekilde açıklanmıştır. Kriptolojik özellik taşıyan rastgele sayı üreteçlerinin herhangi biri kullanılarak önerilen yöntemin güvenilirliği sağlanabilmektedir [27]. Yöntem bu yönüyle genişletilebilir bir yöntemdir. Örneğin 256 x 256 boyutunda bir imgeye 8 x 8 boyutunda bloklar kullanarak damga gömmek için $\frac{256}{8} \cdot \frac{256}{8} = 1024$ bit uzunluğunda bir anahtarın kullanılması gerekmektedir. Kullanılan rastgele sayı üreteci kriptolojik özelliklere sahip ise saldırganın bu büyüklükteki anahtarı elde edebilmesi için 2^{1024} saldırı gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bu durumda yöntemin güvenilir bir yöntem olduğunu doğrulamaktadır. Özetle, önerilen yöntem anahtar tabanlı bir damgalama yöntemidir ve damgalama anahtarı üretmek için kriptolojik rastgele sayı üreteçleri kullanılmaktadır. Kullanılan anahtar boyutu, imgenin boyutuna ve kullanılan blok boyutuna bağlıdır. Rastgele sayı üreteci kullanılarak üretilen anahtarın boyutu Eşitlik 10' da gösterilmiştir.

$$anahtar_{boyutu} = \left\lfloor \frac{M}{w} \right\rfloor \cdot \left\lfloor \frac{N}{h} \right\rfloor \cdot katman \quad (10)$$

Yeterli büyüklükte anahtar kullanılarak önerilen yöntemin güvenilirliği sağlanmaktadır.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Goldbach samsı tabanlı yeni bir sayısal damgalama yöntemi önerilmiştir. Goldbach samsı kullanılarak yeni bir dönüşüm elde edilmiştir. Elde edilen dönüşüm kullanılarak uzaysal alanda yeni bir damgalama yöntemi geliştirilmiştir. Önerilen damgalama yönteminin başarımını ölçmek için kapasite, görsel kalite, dayanıklılık ve çalışma zamanı kullanılmıştır. Önerilen yöntemin kapasitesinin esnek olduğu ve yüksek kapasitede damgalama imkanı verdiği matematiksel olarak gösterilmiştir. 8 x 8 blok

boyutunda 60 dB civarında PSNR değeri elde edilmiştir. Dayanıklılık testinde önerilen algoritmanın parlaklık saldırısı ve JPEG ataklarına karşı dayanıklı olmadığı ancak gürültü ekleme saldırısına karşı dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir. Önerilen sayısal damgalama yöntemi kırılabilir bir yapıya sahiptir ve bu yöntemin imge kimlik doğrulama yöntemi olarak kullanılabilirliği gösterilmiştir. Bu yöntemin çalışma zamanı ölçülmüş ve hızlı çalıştığı görülmüştür. Bloktaki veri gizlenecek piksel rastgele sayı üreteci kullanılarak seçilmektedir. Güvenilir rastgele sayı üreteçleri sayesinde veri güvenliği de sağlanmıştır.

Gelecekteki çalışmalarda bu yöntem AKD ve ADD gibi dönüşümlerle birlikte kullanılarak daha dayanıklı sayısal damgalama yöntemleri ve imge kimlik doğrulama yöntemlerinin önerilebileceği gösterilmiştir.

6. Kaynaklar

1. Doğan, Ş. (2016). A new data hiding method based on chaos embedded genetic algorithm for color image. *Artificial Intelligence Review*, 46(1), 129-143.
2. Akter, A., E-Tajrina, N., Ullah, M.A. (2014). Digital image watermarking based on DWT-DCT: evaluate for a new embedding algorithm, in: Third Int. Conf. On Informatics, Electronics & Vision, May 2014, Dhaka, Bangladesh, pp. 1-6.
3. Su, Q., Niu, Y., Wang, Q., Sheng, G. (2013). A blind color image watermarking based on DC component in the spatial domain, *Optik* 124 (23), 6255-6260.
4. Lang, J., Zhang, Z.-G. (2014). Blind digital watermarking method in the fractional Fourier transform domain, *Opt. Lasers Eng.* 53, 112-123.
5. Musrrat, A., Ahn, C.W., Pant, M. (2014). A robust image watermarking technique using SVD and differential evolution in DCT domain, *Optik* 125 (1), 428-434.
6. Tuncer, T., Avcı, E. (2016). Göktürk Alfabesi Tabanlı Görsel Sır Paylaşımı Metodu ile Veri Gizleme Uygulaması, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31, 3, 781-789.
7. Dogan, S. (2017). A reversible data hiding scheme based on graph neighbourhood degree. *Journal of Experimental &*

- Theoretical Artificial Intelligence, 29(4), 741-753.
8. Elibaşı E., Özdemir S. (2013). Kablosuz Çoklu Ortam Algılayıcı Ağlarında Damgalama İle Güvenli Veri Kümeleme, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University Cilt 28, No 3, 587-594, Vol 28, No 3, pp. 587-594.
 9. Dogan, S., Tuncer, T., Avci, E., Gulten, A. (2011). A robust color image watermarking with Singular Value Decomposition method. *Advances in Engineering Software*, 42(6), 336-346.
 10. Mir, N. (2014). Copyright for web content using invisible text watermarking, *Computers in Human Behavior*, 30, 648–653.
 11. Zheng, P.-P., Feng, J., Li, Z., Zhou, M.-Q. (2014). A novel SVD and LS-SVM combination algorithm for blind watermarking, *Neurocomputing*, 142, 520–528.
 12. Hu, H.-T., Hsu, L.-Y. (2015). Exploring DWT–SVD–DCT feature parameters for robust multiple watermarking against JPEG and JPEG2000 compression, *Computers and Electrical Engineering*, 41, 52–63.
 13. Abdallah, H. A., Ghazy, R. A., Kasban, H., Faragallah, O. S., Shaalan, A. A., Hadhoud, M. M., Dessouky, M. I., El-Fishawy, N. A., Alshebeili, S. A., Abd El-samie, F. E. (2014). Homomorphic image watermarking with a singular value decomposition algorithm, *Information Processing and Management*, 50, pp. 909–923.
 14. Xiang-yang, W., Yu-nan, L., Shuo, L., Hong-ying, Y., Pan-pan, N., Yan, Z. (2015). A new robust digital watermarking using local polar harmonic transform, *Computers and Electrical Engineering*, 46, 403–418.
 15. Khalili, M. (2015). DCT-Arnold chaotic based watermarking using JPEG-YCbCr, *Optik*, 126, 4367–4371.
 16. Mehto, A., Mehra, N. (2016). Adaptive Lossless Medical Image Watermarking Algorithm Based on DCT & DWT, *International Conference on Information Security & Privacy (ICISP2015)*, 78, 88-94.
 17. Botta, M., Cavagnino, D., Pomponiu, V. (2016). A modular framework for color image watermarking, *Signal Processing*, 119, 102–114.
 18. Nguyen, T.-S., Chang, C.-C., Yang, X.-Q. (2016). A reversible image authentication scheme based on fragile watermarking in discrete wavelet transform domain, *Int. J. Electron. Commun. (AEÜ)*, 70, 1055–1061.
 19. Shih, F. Y., Zhong, X. (2016). High-capacity multiple regions of interest watermarking for medical images, *Information Sciences*, 367–368, 648–659.
 20. Patra, J. C., Karthik, A., Bornand, C. (2010). A novel CRT-based watermarking technique for authentication of multimedia contents, *Digital Signal Processing*, 20, 442-453.
 21. Patra, J. C., Karthik A., Bornand, C. (2010). A novel DCT domain CRT-based watermarking scheme for image authentication surviving JPEG compression, *Digital Signal Processing*, 20, 1597-1611.
 22. Thulasidharan, P. P., Nair, M. S. (2015). QR code based blind digital image watermarking with attack detection code, *Int. J. Electron. Commun. (AEÜ)*, 69, pp. 1074–1084.
 23. Idowu, M. A. (2015). A Novel Theoretical Framework Formulated for Information Discovery from Number System and Collatz Conjecture Data, *Procedia Computer Science*, 61, pp. 105 – 111.
 24. Copot, M. (2016). Collatz Conjecture reverse-tree, <https://codepen.io/towc/pen/mEaJjq>, (Son Erişim Tarihi: 29/09/2016).
 25. SIPI Image Dataset (2017). University of Southern California, Signal and Image Processing Institute, <http://sipi.usc.edu/database/>, (Son Erişim Tarihi: 16/10/2017)
 26. Özkaynak, F. (2015). Kriptolojik Rasgele Sayı Üreteçleri. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri Ve Mühendisliği Dergisi*, 8(2).
 27. Özkaynak, F. (2014). Cryptographically secure random number generator with chaotic additional input. *Nonlinear Dynamics*, 78(3), 2015-2020.

Fotovoltaik - Termal (PV / T) Sistemin Sayısal (CFD) ve Deneysel Analizi

Gökhan Ömeroğlu

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 25070,Erzurum
gomeroglu@atauni.edu.tr

(Geliş/Received: 20.08.2017; Kabul/Accepted: 30.01.2018)

Özet

Yenilenebilir enerji kaynakları; rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, biokütle enerjisi, hidrolik enerji ve jeotermal enerji olarak genelleştirilebilir. Ancak güneş enerjisi bu enerji türlerinin dolaylı olarak tetikleyicisidir. Aynı zamanda güneş sisteminde enerjinin temel kaynağı olarak kabul edilmektedir. Güneş enerjisi konusundaki çalışmalar ısı ve fotovoltaik olarak iki genel gruba ayrılabilir. Fotovoltaik sistemler üzerine yapılan verim artırma çalışmaları da hücrelerin kristal yapısı ve fotovoltaik sistemlerle termal sistemlerin birleştirilmesi sonucu ortaya çıkan PVT (Photovoltaic/Thermal) sistemleri olarak iki grupta incelenebilir. Bu çalışmada güneş enerjisi uygulamaları içerisinde en dikkat çeken sistem olan fotovoltaik sistemlerin, yapay güneş ışınımı akısı altında (900 W/m²), PVT sistemi olarak dizayn edilerek, çalışma rejimi sırasındaki ısı ve elektriksel performansı incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) analizleri sonucu ortaya çıkan veriler ile kıyaslanarak doğruluğu teyit edilmiştir. 3 farklı hava hızında (3 m/s, 4 m/s, 5 m/s) ve 2 farklı yüzey konfigürasyonunda deneyler yapılmıştır. Isı transfer elemanı olarak bakır kanatçıklar kullanılmıştır. Sonuç olarak fotovoltaik panelin elektriksel ve termal veriminin aktif soğutma yapılarak nasıl iyileştirildiği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: PV/T, Isı Transferi, Verimlilik, Kanatçık, Bakır

Numerical (CFD) and Experimental Analysis of Photovoltaic - Thermal (PV / T) System

Abstract

Renewable energy sources can be generalized as wind energy, solar energy, biomass energy, hydraulic energy and geothermal energy. However, solar energy is an indirect trigger of these types of energy. At the same time, the sun is regarded as the main source of energy in the environment. The work on solar energy can be divided into two general groups as thermal and photovoltaic. Efficiency enhancement studies on photovoltaic systems can be examined in two groups as the crystal structure of the cells and the PVT systems resulting from the combination of photovoltaic systems and thermal systems. In this study, photovoltaic systems, which are the most prominent systems in solar energy applications, were designed as PVT system under artificial solar radiation (900 W / m²) and the thermal and electrical performance of the working regime was investigated. Experimental results obtained Computational Fluid Dynamics (CFD) analyzes confirmed the correctness of the results compared with the resulting data. Experiments were carried out at 3 different air velocities (3 m / s, 4 m / s, 5 m / s) and 2 different surface configurations. Copper fins were used as heat transfer element. As a result, it has been demonstrated how the electrical and thermal efficiency of the photovoltaic panel is improved by active cooling.

Keywords: PV/T, Heat Transfer, Efficiency, Fins, Copper

1.Giriş

Konvansiyonel enerji kaynakları olarak nitelendirilen fosil kökenli kaynakların sonunun hızla yaklaşmakta olduğu gerçeği, endüstriyi enerjiyi daha verimli kullanmaya veya yeni kaynak arayışlarına girmeye itmektedir. Yeni kaynak arayışları ise ülkemizde rüzgâr, güneş ve hidroelektrik enerji üretimi üzerine yoğunlaşmış durumdadır. Fakat bu kaynaklar içerisinde

üzerine en çok araştırma yapılanı güneş enerjisidir [1].

Bilindiği gibi güneş enerjisi ışınım yoluyla yayılmaktadır. Güneşten gelen bu ışınımı (foton) doğrudan elektriksel (voltaik) bir enerji elde etmek için kullanan sistemlere fotovoltaik (PV) sistemler adı verilmiştir.

Literatürde güneş hücreleri, güneş gözeleri, güneş pilleri ve güneş panelleri gibi birçok şekilde adı geçmektedir. Fotovoltaik sistemlerin tarihi 19. yüzyılın ilk dönemine kadar dayanmaktadır.

Fotovoltaik etki 1839 yılında Fransız fizikçi Edmond Becquerel (1820-1891) tarafından keşfedilmiş ve günümüzde kullanılan fotovoltaik güneş enerji sistemlerinin temelini oluşturmuştur [2].

Güneş, enerjisini foton denilen enerji yüklü tanecikler vasıtasıyla yayar ve bir fotonun enerjisi Planck Sabiti ($h = 6,625 \times 10^{-34}$ J.s) ve fotonun frekansı (Hz) ile bağıntılı olarak hesaplanmaktadır [3]. Güneşin enerjisini etrafına nasıl transfer ettiğini anlayabilmek için yüzey sıcaklığını bilmek gerekir. Güneşin yüzey sıcaklığının bir takım ışınım hesaplamaları vasıtasıyla 5770-5800 K ve yaydığı ışınım akısının da 1377 W/m^2 olduğu belirlenmiştir [4].

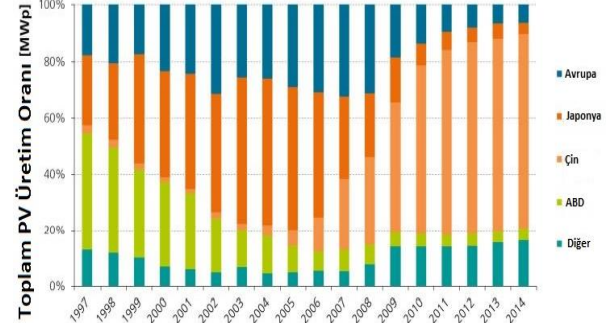
Güneşten yeryüzüne olan ısı transferi güneşten gelen akının ölçülen noktaya ne kadarının ulaştığına bağlıdır. Bu değer ise hava yoğunluğu (Air Mass, $AM=1/\cos\theta$) adı verilen sabit ile belirlenir. Fotovoltaik sistemler zenit açısı (θ)'nın 0° ve 45° olduğu durumlarda sıklıkla kullanılmaktadır [5].

11 Aralık 1997 tarihinde küresel ısınma ve iklim değişiklikleri konusunda yasal bir sınırlama olarak Kyoto Protokolü'nü imzalayan ülkeler karbondioksit ve sera gazı etkisi yapan gazların salınımını azaltmayı veya en azından karbon ticareti yoluyla haklarını arttırmak üzere anlaşmışlardır. Bu protokolün imzalanmasının akabinde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi bir hayli artmış ve özellikle fotovoltaik güneş enerji sistemlerinin gelişimi hız kazanmıştır [5].

Bu konuda hem deneysel hem de teorik olarak yapılan bilimsel çalışmaların artmasıyla birlikte 2000 ve 2014 yılları arasında PV sistemi kurulum oranı da %44 artmıştır. Örneğin 2014 yılında Almanya'da 1,5 milyon PV sistemi kurulmuştur. Dünyada üretilen PV modüllerin, toplam PV üretim oranına göre en çok kullanılan ülkelerdeki değişimi Şekil 1'de gösterildiği gibidir.

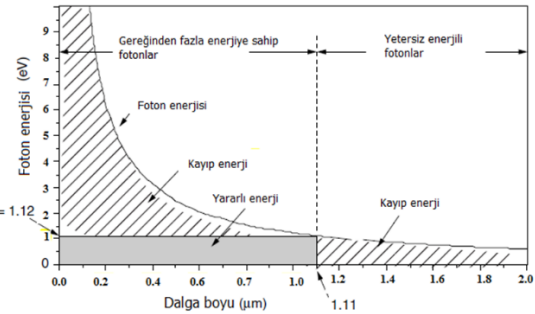
Güneş hücreleri, herhangi bir dönel elemana ihtiyaç duymadan güneşten aldığı enerjiyi direkt olarak elektriksel enerjiye çevirirken bir takım fizik kuralları çerçevesinde çalışırlar. Bu hücrelerdeki fotovoltaik etkiyi anlayabilmek için periyodik cetvelin 4A grubu elementleri olan yarıiletken materyallerin bazı temel özellikleri bilinmelidir. Bu gruptaki elementler içerisinde fotovoltaik malzeme olarak en çok kullanılan silisyumdur. Yarıiletken materyallerden

yararlanmak için bunları farklı tiplerde karıştırılarak (n veya p-tipi) eklemler oluşturulur.



Şekil 1. Dünyada toplam üretilen PV modül oranı [6]

Bu tip eklemlerin aynı tip (homojunction) ve farklı tip (heterojunction) olmak üzere iki farklı çeşidi vardır. Aynı tip eklemlerin üretimleri kolay ve maliyetleri azdır fakat çok verimli devre elemanları değildirler. Farklı tip eklemlerin ise üretimleri zor ve pahalıdır ancak bu malzemelerle verimli ve hızlı elektronik devre elemanları yapmak mümkündür. Fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan materyaller farklı tipte (hetero) eklemlerden elde edilirler.



Şekil 2. Foton ile elektron koparmak için gerekli olan enerji [7].

Şekil 2'den görüldüğü gibi fotovoltaik hücre üzerine düşen güneş ışınımının elektron kopararak gerilim üretmesi için gerekli olan enerji aralığı 0-1,12 eV değerindedir [7]. Bu enerji aralığının üzerinde bir foton fotovoltaik hücre üzerine düşerse sistemde ısı olarak depo edilecektir [8]. Böylelikle fotovoltaik sistemin verimi düşecektir.

Bu çalışmada, deneylerde kullanılan kanatçık elemanlarının boyutları ve yüzey konfigürasyonları başka çalışmalarda olmadığı gibi, sistemin zorlanmış taşınımına maruz kalması için gerekli olan fan gücünde sistemin ürettiği

elektrikten beslenmiştir. Yapılan bu tasarım sayesinde ek bir elektrik tüketimine gerek kalmadan sistemin verimliliğinde ki düşüşün önüne geçilmiştir. Ayrıca kontrol hacminin boyutu, hava hızları ve fan yerleşim yeri de bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayırmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Deney düzeneği

Fotovoltaik-Termal (PVT) sisteminin tasarımı ve imalatı Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarlarında yapılmıştır. Yapılan deneylerin ölçüm değerleri gerçek zamanlı olarak kaydedilmiştir.

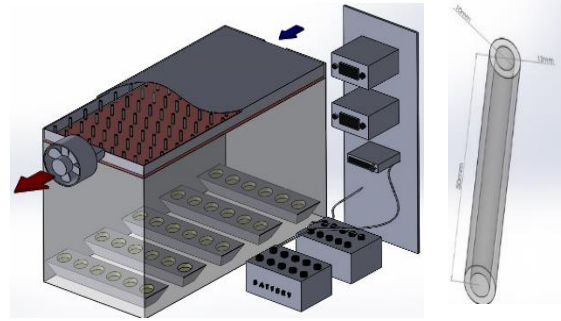
Çalışmanın amacı sürekli olarak güneş ışınımına maruz kalan ve çalışma rejimi sırasında yüzey sıcaklığı yükselen fotovoltaik hücrelerin verim düşüşlerini minimize etmekle birlikte farklı malzemelerde ve ebatlardaki soğutucu kanatçıkların termal performansını inceleyerek sistemin optimum çalışma sıcaklığını tayin etmektir.



Şekil 3. PV/T hibrid sistemi test görüntüsü.

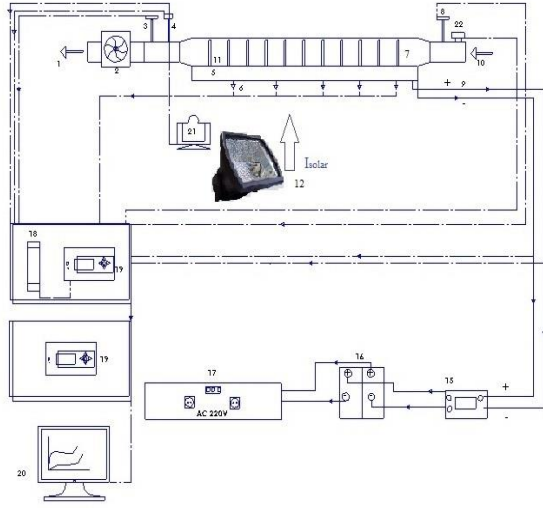
Kurulan düzenekte fotovoltaik panel yüzeyi yere doğru çevrilerek konumlandırılmıştır ve alt kısmına $900\text{W}/\text{m}^2$ gücünde ışınım sağlayan ışık kaynağı takılmıştır. Işınımın saçılmadan fotovoltaik yüzeye düşüşünü sağlamak için çevreden bağımsız bir şekilde yansıtıcılarla yalıtımı sağlanmıştır. Fotovoltaik panel profil elemanlar birleştirilerek sabitlenmiştir ve arka yüzeyinde soğutucu kanatçıkların yerleştirilmesine kolaylık sağlayacak şekilde bir kontrol hacmi tasarlanmıştır. Kontrol hacminde yalıtım malzemesi olarak polistren köpük levha kullanılmıştır. Sistemden yapılması gereken

gerçek zamanlı ölçümler için çeşitli sensör elemanları yerleştirilmiştir. Bu yerleştirilen sensörler ile kanal girişi hava hızı, panel yüzey sıcaklıkları, ortam ve kontrol hacmi nem değerleri, giriş çıkış basınç farkları ölçülmüştür. Fotovoltaik sistem için dizayn edilen kontrol hacmi içerisine Şekil 3'te görüldüğü gibi farklı sayılarda (54 ve 108 adet) silindirik bakır kanatçıklar yerleştirilerek performansları incelenmiştir. Bakır kanatçık elemanları 5 cm boyunda, silindirik(boru) elemanlardır. İç çapları 10mm ve dış çapları 12 mm'dir. Fan ısındıkça kontrol hacmi içerisine kendi ısısını vermemesi için emiş tarafına bağlanmıştır. Sistemde kullanılan kanatçık elemanları fotovoltaik hücrenin arkasına termal macun ile sabitlenmiş, kanatçık elemanlarının deneyler esnasında yer çekimi etkisi ile hücreden ayrılmaması için sistem ters çevrilmiştir. Yani ışınım, fotovoltaik hücreye Şekil 4'te görüldüğü gibi alttan yukarı doğru verilmiştir. Kanatçıklar panelin arka yüzeyine 54'lü dizilimde dikey ekseninde 13 cm yatay ekseninde 9 cm aralıklarla, 108'li dizilimde dikey ekseninde 11 yatay ekseninde 7 cm aralıklarla yerleştirilmiştir.



Şekil 4. Deney düzeneğinin ve ısı transfer elemanının şematik görünümü.

Şekil 5'te deney düzeneğinin 2 boyutlu şematik görünümü verilmiştir. Tüm sistem elemanlarının yerleşimi numaralandırılmıştır.

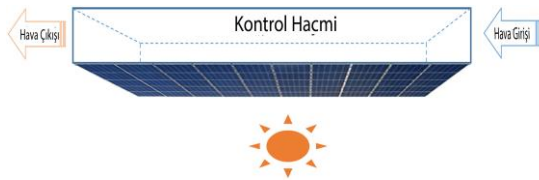


Test Bölümü	Ölçüm ve Kavıt Bölümü
1-Hava Çıkışı	10,22-Hava Girişi, Giriş sıcaklık ölçümü
2-Fan	11-Soğutucu Kanatçıklar
3-Sıcaklık-Nem Transmitteri	12,21-Yapay Güneş Işınımı, Piranometre
4-Giriş Hızı Anemometresi	15-Solar Şarj Regülatörü
5-Fotovoltaik Panel	16-Asidik Jel Batarya
6- Termoeleman	17-DC-AC İnvörtör
7-Kontrol Hacmi	18-Voltaj Ve Akım Transmitteri
8-Giriş Hızı Anemometresi	19-Veri Kaydedici (Data Logger)
9-Fotovoltaik Güç İletimi	20-Bilgisayar

Şekil 5. Deney düzeneğinin ayrıntılı 2 boyutlu şematik gösterimi.

2.2. Matematiksel metot

Termodinamiğin birinci ve en temel yasası olan kütle korunumu yasası (süreklilik denklemi) bütün termodinamik hesaplamalarda geçerlidir. PV/T sistemi bir kontrol hacmi olarak tasarlandığı için sürekli akışlı açık sistem denklemleri geçerlidir. Kontrol hacmi sınırından hem kütle hem de enerji giriş çıkışı olabilir [9, 10]. Deney sisteminin kontrol hacim şeması Şekil 6'da gösterildiği gibidir.



Şekil 6. Deney sistemi kontrol hacmi.

Güneşten gelen toplam solar güç ise ısı güç kazancı ile elektriksel güç üretiminin ($\dot{Q}_e = I \cdot V$) toplamıdır.

$$\dot{Q}_g = \dot{m} \left[c_p (T_c - T_g) + \left(\frac{V_c^2 - V_g^2}{2} \right) \right] + I \cdot V \quad [kW] \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilir ve genel olarak birinci yasa verimi:

$$\eta_U = \frac{\dot{Q}_e + \dot{Q}_h - W_{fan}}{\dot{Q}_g} \quad (2)$$

Sistemde havanın akışı söz konusudur ve bu akışın sıkıştırılabilir veya sıkıştırılmaz oluşunu belirlemek hesaplamalarda önemlidir. Bir akışta sıkıştırılabilirlik etkisinin önemli olup olmadığına Mach sayısı hesaplanarak karar verilir. Mach sayısı 0.3'ten küçük bir değerde ise veya 1 atmosfer basınç ve yaklaşık 25°C sıcaklıkta akış hızı 100 m/s'nin altında ise akış sıkıştırılmaz olarak kabul edilir.

$$Ma = \frac{V}{c} \quad (3)$$

burada c ($c = 299\,792\,458$ m/s) ışık hızı, V ise akışkanın hızını ifade etmektedir. Buradan akışın Newtonian akış olduğu sonucuna varılır.

$$Q = h \cdot A_{pv} \cdot (\Delta T_{air} - T_{pv}) \quad [kW] \quad (4)$$

PV/T sisteminde havanın kazandığı enerji yardımıyla sistemin toplam ısı taşınım katsayısı hesaplanabilir. Toplam ısı transfer katsayısı sistemden çekilen toplam ısının bir fonksiyonudur.

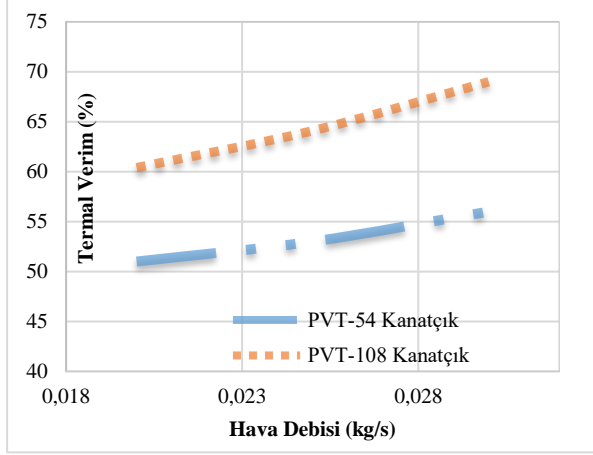
$$Nu = \frac{h \cdot D_h}{k_{air}} \quad (5)$$

Sistemde soğutucu akışkan olarak çalışan havanın farklı hızlarındaki her bir Reynolds değeri için farklı bir Nusselt katsayısı çıkacaktır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

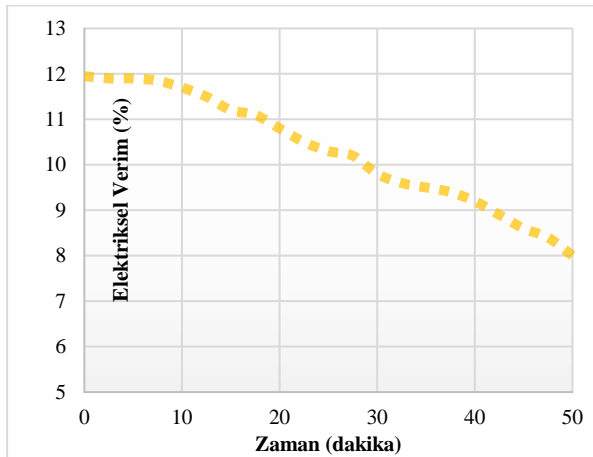
Deney sistemindeki kontrol hacmi içerisine yerleştirilen ve panel ile tam teması sağlanan kanatçık bölümü deney sisteminde ölçümlerinin yapıldığı kısımdır. Kontrol hacminde bakır silindirik kanatçıklar 108 adet sık konfigürasyon, 54 adet ise seyrek

konfigürasyonda kullanılmıştır. Deneyler yapay güneş ışınımı ile 900 W/m^2 ışınım akısı altında yapılmıştır.



Şekil 7. PV/T deney düzeneğinde kullanılan kanatçıkların termal verimi

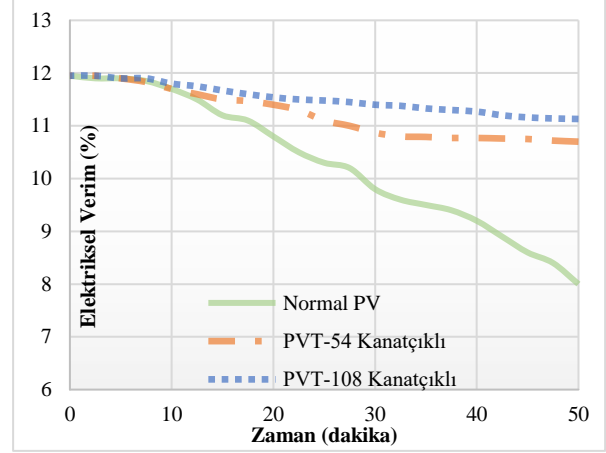
PV/T sistemindeki kontrol hacmi içerisine yerleştirilen kanatçıklar yardımıyla Şekil 7'de verilen grafikte görüldüğü gibi sisteme gönderilen 900 W/m^2 ışınım akısının belirli bir miktarı termal enerji olarak geri kazanılmıştır. Grafikte 54 adet bakır kanatçığın en yüksek termal verimi %56 civarında iken kanatçık sayısı 108 adet olduğu durumda en düşük hava debisinde bile bu değer %60 civarında olmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda en yüksek termal verim ise $0,03 \text{ kg/s}$ hava debisinde %69 civarında olmaktadır.



Şekil 8: Soğutma yapılmadığı durumda fotovoltaik sistemin elektriksel veriminin düşüşü

Yukarıda Şekil 8'de görüldüğü gibi fotovoltaik panelde soğutma yapılmadan yapılan deneyde panelin ürettiği elektriksel verim

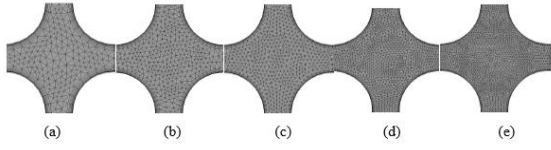
zamanla düşmektedir. Yüzey sıcaklığının yükselişinin bir sonucu olarak meydana gelen bu düşüş elektriksel verimi %11,9 seviyelerinden %8 seviyelerine düşürmektedir. Yaklaşık olarak 50 dakika sonunda fotovoltaik yüzey sıcaklığı 80°C değerinin üzerine çıkmıştır.



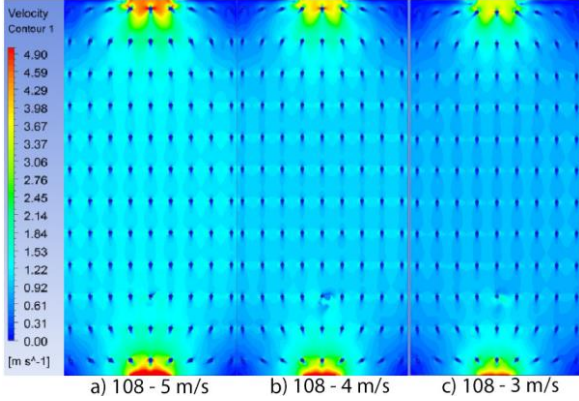
Şekil 9. Farklı sayıda bakır kanatçıkların elektriksel verime etkisi

Fotovoltaik sistemde Şekil 5 ile verilen deney sistemi görüntüsünde 7 numaralı eleman olan kontrol hacmi içerisine yerleştirilen bakır kanatçıklar, zorlanmış taşınım maruz bırakıldıklarında Şekil 9'dan görüldüğü gibi elektriksel verimdeki düşüşün dikkat çekici bir ölçüde önüne geçmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi sisteme 108 adet bakır kanatçık eklendiğinde elektriksel verim % 11 seviyelerinin üzerinde seyretmektedir. Aynı şekilde 54 adet bakır kanatçık kullanıldığında da elektriksel verim % 10,7 civarındadır. Belirtilen ışınım altında sistem kanatçık kullanılmadığı durumda ise % 8 civarında bir verime sahiptir. Kanatçıkların olmadığı bölümlerdeki mesh görüntüleri Şekil 10'da gösterilmiştir. PVT sisteminde yapılan deneyler aynı şekilde CFD (Computational Fluid Dynamics) analizi yöntemiyle de çözümlenmiştir. CFD analiz sonuçları hız ve sıcaklık kontörleri (Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14'te) derlenerek sunulmuştur. Şekil-11 ve Şekil-12 de 108 adet bakır kanatçık için 3 farklı hava hızında sıcaklık ve hız dağılımları incelendiğinde artan hız değerine karşılık yüzey sıcaklıkları açısından en iyi yüzey soğumanın sırasıyla 5-4-3 m/s hız değerlerinde olduğu açıkça görülebilir.

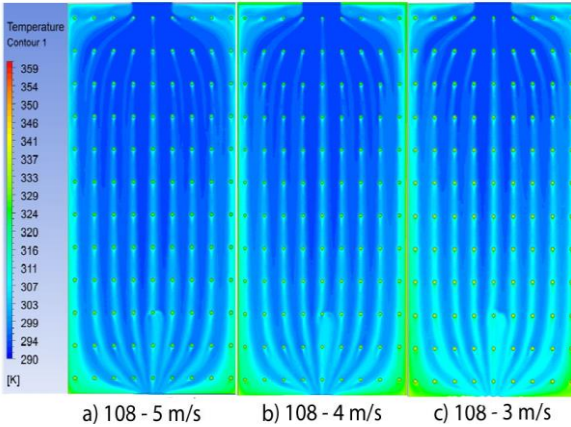
$$h_i = (\text{hacim} / i\text{-mesh sayısı})^{1/3}$$



Şekil 10. Kanatçıkların olmadığı bölümlerdeki mesh görüntüleri (h_1 değerleri $a=0.34$ $b=0.25$ $c=0.22$ $d=0.18$ $e=0.12$)

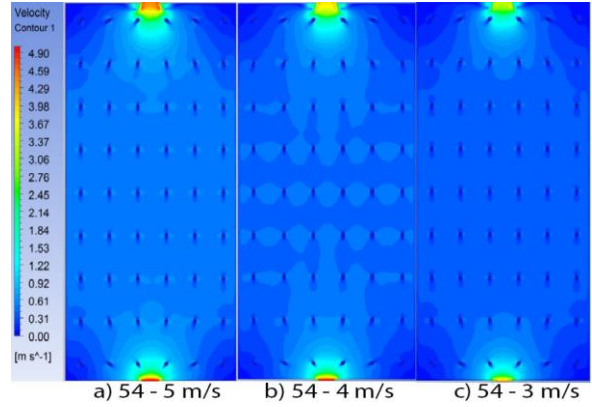


Şekil 11. 108 adet kanatçıkta hız vektörleri dağılımı

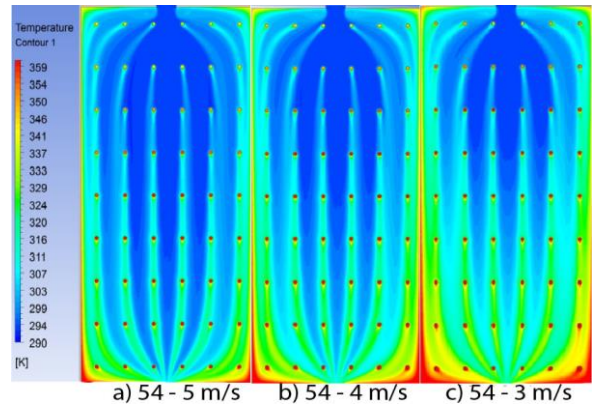


Şekil 12. 108 adet kanatçıkta sıcaklık vektörleri

Şekil-13 ve Şekil-14 de 54 adet bakır kanatçık için 3 farklı hava hızında sıcaklık ve hız dağılımları incelendiğinde artan hız değerine karşılık yüzey sıcaklıkları açısından en iyi yüzey soğutmanın 108'li dizilime benzer olarak sırasıyla 5-4-3 m/s hız değerlerinde olduğu görülmüştür. Ortaya çıkan bu sonuçlar çerçevesinde yüzey soğutmada artan hava hızının yüzeyi daha iyi soğuttuğu, kanatçık sayısına bağlı olarak artan yüzey alanı ile ısı transferinin daha verimli gerçekleştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 13. 54 adet kanatçıkta hız vektörleri dağılımı.



Şekil 14. 54 adet kanatçıkta sıcaklık vektörleri.

Yapılan bu çalışmada termal verimleri ihmal edilen fotovoltaik sistemler için bir PVT sistemi imal edilerek termal bir yaklaşım ele alınmıştır. Yapılan deneyler sonucunda iş akışkanı olarak hava kullanılan PVT sistemlerinde ısı iletim katsayısı yüksek olan metaller kullanılırsa geleneksel PV sistemlerine göre daha verimli olacaktır. PV sistemleri termal açıdan incelenmek istenirse PVT sistemlerine en uygun dönüşümü sağlanarak bu yüksek verimler elde edilebilir.

Ayrıca PVT sistemlerin sıcaklığa bağlı elektriksel verimlerdeki azalmayı engellemeye yönelik sonraki çalışmalarda panel yüzeyine mikro kanal yapılması, ısı transferini artırma etkisi oldukça yüksek yeni malzemelerden alüminyum veya Bakır köpük malzemelerin kullanılması ve farklı dizilimlerinin etkilerinin incelenmesi gerekliliği sonucuna varılmıştır.

4. Kaynaklar

1. Messenger R, Abtahi A. (2017). Photovoltaic systems engineering, CRC press.

2. Web sitesi, Anonim. Son erişim tarihi: 22.12.2017 <http://www.gunessistemleri.com/fotovoltaiktarihce.php> p. 2008.
3. Green, M. A. (1982). Solar cells: operating principles, technology, and system applications.
4. Kuhn, J. R., Libbrecht, K. G., & Dicke, R. H. (1988). The surface temperature of the sun and changes in the solar constant. *Science*, 242(4880), 908-911.
5. Kropp, R. (2009). Solar expected to maintain its status as the world's fastest-growing energy technology. *Sustainability Investment News*.
6. Koç, E., & Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye'de enerji durumu-genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 54(639), 32-44.
7. Masters, G. M. (2004). Photovoltaic materials and electrical characteristics. *Renewable and Efficient Electric Power Systems*, 445-504.
8. Cuce, E., & Riffat, S. B. (2017). A smart building material for low/zero carbon applications: heat insulation solar glass—characteristic results from laboratory and in situ tests. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 12(2), 126-135.
9. Radziemska, E. (2003). The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells. *Renewable Energy*, 28(1), 1-12.
10. Rahman, M. M., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2015). Effects of various parameters on PV-module power and efficiency. *Energy Conversion and Management*, 103, 348-358.

Anlamsal Web Kullanılarak İlaç Ontolojisi Çıkarılması

Osman ALTAY¹, Mustafa ULAŞ^{1*}

Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yazılım Mühendisliği, Elazığ ve Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Yazılım Mühendisliği, Elazığ
*mustafaulas@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 22.08.2017; Kabul/Accepted: 14.01.2018)

Özet

Web sitelerinde bulunan veriler insanlar için okunması ve anlaşılması çok kolay olacak şekilde hazırlanmaktadır. Anlamsal web ile beraber web siteleri içerisinde bulunan verilere anlamlar yüklenerek insan-bilgisayar etkileşimi ileri seviyeye taşınması amaçlanmıştır. Anlamsal web, kullanıcılar tarafından anlaşılabilir bilgileri, makineler tarafından da anlaşılabilir hale getirmektedir. Ontoloji ile ilişkilendirilen verilerden çıkarım yapılması daha kolay olmaktadır. Makinenin anlayacağı bir formata dönüştürülen veriler birçok alanda işlenerek kullanılmaktadır. Anlamsal web ve ontoloji bilimi sağlık, eğitim ve iktisat gibi birçok alanda bilgi çıkarım için uygulanabilmektedir. Bu çalışmada hastaların kullandığı ilaçları azaltmaya yönelik bir ontoloji geliştirilmiştir. Semptomlara uygun ilaçların tercih edilmesinde kullanılan ilaçların sayısı, hasta sağlığı açısından büyük bir önem arz etmektedir. Bu sayıyı azaltmaya yönelik yapılacak olan çalışmalar hastanın maruz kaldığı yabancı madde oranını düşürecektir. En çok rastlanan 6 farklı semptom için kullanılan 25 farklı etken madde üzerinden bir ontoloji modeli ortaya koyulmuştur. Çalışma ile önerilen model, Protege ortamında geliştirilerek hastalara uygulanan ilaç sayısını azaltılması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Anlamsal Web, Ontoloji, Protege, OWL, Kişiselleştirilmiş Sağlık

Build a Drug Ontology Using Semantic Web

Abstract

The data on the web sites are prepared for people to read and understand very easily. Along with the semantic web, it is aimed to move forward the human-computer interaction to the advanced level by loading the meanings data containing in the web sites. The semantic web makes the information understood by users understandable by machines. It is easier to deduce from the data associated with ontology. The data converted into a form that the machine understands is used by processing many areas. The semantic web and ontology can be applied to information retrieval many fields such as health, education and economics. In this study, an ontology was developed to reduce the drugs used by patients. The number of medicines used in accordance with symptoms is of great importance in terms of patient health. The work to reduce this number will reduce the rate of foreign matter the patient is exposed to. An ontology model has been developed based on 25 different active agents used for the 6 most common symptoms. The model proposed in this study aims to reduce the number of medicines applied in the disease by being developed in Protege environment.

Keywords: Semantic Web, Ontology, Protege, OWL, Personalized Health

1. Giriş

Bilginin küreselleşmesi ile üretilen verinin yoğunluğu artmıştır. İnternet ortamında üretilen bilgiler normal yöntemlerle incelenemeyecek kadar yüksek bir hacimdedir. Bu ise işlenecek verilerin anlamsız ve düzensiz bir yapıdan ontolojik açıdan ilişkilendirilmesi mecburiyetini ortaya koymaktadır. Bu verilerin hızlı bir şekilde

bilgiye dönüştürülmesini sağlamak adına insan-bilgisayar etkileşiminin etkinliğinin artırılması gerekmektedir. Bu etkinlik artışını sağlayacak olan yöntemlerden biri de anlamsal web sistemleridir. Anlamsal web sistemleri eğitim, sosyal bilimler, ekonomi ve sağlık gibi birçok alanda var olan yoğun ve düzensiz verinin tasnifi ile bilgisayar tarafından anlaşılabilir hale gelmesini sağlamaktadır. İlaçlar ile hastalık semptomları

arasındaki ilişki uzman doktorlar tarafından belirlenebilmektedir. Anlamsal web sistemler ile uzmanların oluşturduğu tecrübe, bilgisayarların karar destek mekanizmalarına aktarılabilir.

Anlamsal web kavramı 2001 yılında Tim Berners-Lee tarafından bulunmuştur. Tim Berners-Lee'ye göre anlamsal web ayrı bir yapı olarak değil günlük kullandığımız web'in bir uzantısı şeklindedir. Anlamsal web sayesinde siteler üzerindeki verilere anlamlar yüklenerek insan bilgisayar etkileşiminin daha ileri seviye gitmesi amaçlanmıştır.

Web üzerinde oluşturulan sistemler kullanıcı tabanlı oluşturulmaktadır. Bu sistemler kullanıcıların kolayca anlayabileceği, hızlı kullanabileceği ve rahat okuyabileceği şekilde tasarlanmaktadır. Bu sistemlerin bilgisayar tarafından anlaşılabilir olması için anlamsal web, web sayfalarının içeriğinin anlamlı bir yapıya dönüştürülerek ve yazılım ajanlarının web sayfaları içerisinde dolaşması sağlanarak, kullanıcılar için gelişmiş görevleri yerine getirebileceği bir ortam sunmaktadır [1].

Yazılım ajanları, internet ortamındaki herhangi bir sitede bulunan bilgileri kendisine verilen nitelikler aracılığı ile anlamlı bir hale gelmesini sağlayabilmektedir. Örneğin bir sitede bulunan kitabın fiyatı "fiyat", başka bir sitede ise "ücret", bir diğerinde ise "bedel" olarak etiketlenmiş ise, yazılım ajanı bu üçünün aynı olduğunu ve fiyatlar arasında karşılaştırma yapabileceğini bilmemektedir. Anlamsal web, bu gibi durumlarda yazılım ajanlarının anlayabileceği bir algoritma kurmayı sağlayarak, web üzerindeki bilgilerin yazılımlar içinde anlamlı hale gelmesini sağlamaktadır.

Ontoloji sözlükte varlık bilimi olarak geçmektedir. Ontoloji kavramının felsefede varoluş konusuna kadar giden uzun bir geçmişi vardır. Ontoloji kavramı ilk olarak Aristo tarafından ortaya atılmıştır. Aristo, bilgilerin sistematik şekilde saklanmasıyla, bu bilgilerin daha verimli şekilde kullanılacağını düşünmüştür [2]. Ontoloji ile oluşturulan bilgilerin işlenmesi için mantık kullanılmaktadır. Ontoloji, mantık kullanılarak sistematik olarak oluşturulan kurallardaki değişkenlere karşılık gelen kavramları içermektedir. Ontoloji ve mantık beraber kullanılarak eldeki bilgiler üzerinden yeni

bilgilerin oluşturulması için bir sistem oluşturmaktadır [2].

Web ontoloji dili OWL; terimler, grup halindeki terimler ve terimler arasındaki ilişkiler hakkındaki karmaşık ve zengin bilgileri temsil etmek için tasarlanmış anlamsal bir web dilidir.

Bansal ve Chawla tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada bilgisayar bilimleri için anlamsal web tabanlı bir sistem tasarlanarak etki alanına özgü bilgi alma sistemi yapılmıştır [3]. Zenuni ve arkadaşları 2015 yılında sağlık alanında anlamsal webin kullanılmasını incelemişlerdir [4]. Tao ve arkadaşları ise 2013 yılında anlamsal web gösteriminde biyomedikal ontoloji için terminolojik gösterim kuralları tasarlamışlardır [5]. Yapılan çalışmada RDF, OWL ve SKOS kullanılmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmada 6 farklı semptom için 25 farklı etken madde kullanımı üzerinden bir ontoloji modeli çıkarılmıştır. Bu model ile hastaların kullanacağı ilaçların belirlenmesi aşamasında doktorlara karar destek sistemi olarak sunulabilecektir. Model önermiş olduğu ilaçlar ile hastanın gereğinden fazla ilaç kullanımını önlemeyi amaçlamaktadır. Geliştirilen ontolojik anlamsal web sistemi, tam olarak tüm semptom ve etken maddeler üzerinde irdelendiğinde oluşturulan model doktorların hastaya uygulayacağı ilaç ya da ilaçların tespiti konusunda önemli bir karar destek sistemi olacaktır.

3. Ontoloji

Bilgisayar terimi olarak ontoloji, bir ajanı veya bir ajan topluluğu için var olabilecek kavram ve ilişkilerin özel olarak tanımlanmasıdır. Gruber'e göre ontoloji, "kavramsallaştırmanın doğrudan tanımı" şeklinde ifade edilmiştir [6]. Ontoloji kavramının anlamsal web'deki kullanımının tanımlanması 2002 yılında ilk kez yapılmıştır. Bu makalede ontoloji kavramının neleri barındırması ve nasıl tanımlandıklarında ontoloji sayılacağı açıklanmıştır [7].

Ontolojilerin birinci özelliği; ontoloji içerisinde yer alan her terimin tanımlanmış olmasıdır. Bu terimler sonlu sayıda olmak zorundadır. Bir diğer özellik ise; bu terimlerin ilişkili anlamlar içermesidir. Üçüncü özellik ise terimlerin sistematik olması gerekmektedir. Yani

bir sınıfın, alt sınıfındaki örnekler kendisi için de birer örnek olmalıdır.

XML dilinde, veriler sadece sınıflandırılabilir. XML dilinde sınıflandırılmış olan veriler insanlar tarafından anlamlı halde bulunurken bilgisayar için herhangi bir anlam ifade etmemektedir. Verilerin makineler için anlamlı hale gelmesi için XML ve RDF schema gibi diller kullanılmış fakat bu diller ile kısmen anlaşılabilir hale gelerek içerik çıkarma ve metin özeti gibi yetenekler sağlanmıştır. Sınıflandırma işlemi zaman içerisinde gelişerek makinelerin yargılama ve çıkarım yapma yetenekleri geliştirilmiş ve bu sayede anlamsal web dilleri ortaya çıkmıştır.

4. Anlamsal Web Dilleri

4.1. Resource description framework (RDF)

Resource description framework (RDF) 1997 yılında W3C tarafından duyurulmuştur. RDF'in ortaya çıkışında anlamlı bir web'e duyulan ihtiyacın artması önemli bir rol oynamıştır. RDF'in ortaya çıkışında kullanıcı toplulukları, The Internet Engineering Task Force (IETF), World Wide Web Consortium (W3C) gibi bir çok kurum ve kullanıcı rol almıştır. 1999 yılında RDF web'in işlevi ve işbirliğini arttırmak amacıyla W3C'nin standartları arasına girmiştir. Web içerisinde yer alan kaynakların tanımlanabilmesi için geliştirilmiş bir dildir. Web kaynakları içerisinde yer alan bir metadatanın saklanabilmesine olanak sağlamış ve bu verilerin farklı uygulamalar arasında değiştirilmesi sırasında yaşanabilecek anlamsal kaybı engelleyen bir yapıya sahiptir. RDF dilinin farklı amaçlara yönelik çeşitleri bulunmaktadır. N3 yapısı; RDF dosyalarının insanlar içinde okunabilir halde olduğu yapıdır. RDF/XML yapısı ise XML ile uyumlu bir yazılımın anlayabileceği bir yapıdadır ve kullanıcı tarafından okunup anlaşılması çok zordur.

4.2. RDF schema

RDF schema, RDF modelinin ek ifadeler ve semantik model ile geliştirilmiş halidir [8]. RDF schema web kaynaklarını tanımlamak için kullanılan meta daların tanımlanması için kullanılmaktadır. RDF schema, bazı temel

sınıflardan ve özelliklerden oluşmaktadır. Bu yapı herhangi bir alana sığması için genişletilebilmektedir. Sınıflar hiyerarşik olarak düzenlenir ve özelliklerin kullanımı belirli sınıf üyeleri için sınırlandırılabilir. Sınıf hiyerarşisinin kökü rdfs: resource. rdfs: class ise RDFS kaynağın alt sınıfı olarak tanımlanmaktadır. Özellikler RDF: Property sınıfı ile tanımlanır ve kaynakları tanımlamak için onlara değer atayarak kullanılan öznelikler olarak görülmektedir. Özellikler kendilerinin kaynağıdır. RDF schema spesifikasyonu, diğer ön tanımlı veya kendinden tanımlı özelliklerin aksine bazı kısıtlamaları olan dört özelliği tanımlamaktadır. Bunlar rdfs:subClassOf, rdf:type, rdfs:range, rdfs:domain'dir. Bu dört özellik RDF schema yapısını ve önceden tanımlı olarak bulunan RDF schema yapılarını tanımlanması sağlamaktadır [9].

4.3. OWL 2

OWL hesaplama mantık-tabanlı bir dildir. Yani OWL ile ifade edilen bilgi, bilgisayar programları aracılığıyla, bilginin tutarlılığını doğrulamak veya üstü kapalı halde bulunan bilginin açıkça gösterilmesi için kullanılabilir. Ontoloji olarak bilinen OWL belgeleri web ortamında yayımlanabilir ve diğer OWL ontolojilerine atıfta bulunabilir ya da diğer OWL ontoloji tarafından atıf alabilir. OWL, RDF ve SPARQL'yi içeren W3C'nin Semantik Web teknolojisi yığınının bir parçasıdır [10].

OWL dilinin üç farklı türü bulunmaktadır. Birincisi; OWL Lite bu üç türün basit halidir. Sınıflandırma ve sınıflar üzerinden temel kısıtlama yapmaktadır. Bu sayede anlamsal web ile çıkarım yapma işlemini hızlı bir şekilde yapmaktadır. İkincisi OWL DL ise daha iyi bir anlatım gücüne sahiptir. Sonuncu OWL Full'de ise kısıtlamalar yoktur. Kısıtlamalar olmadığı için OWL Full'de çıkarım yapılmaktadır.

5. Ontolojinin Geliştirilmesi ve Tanımlanması

Belirli bir alandaki bilgilerin ve bu bilgi kümelerinin birbirleri ile olan ilişkilerinin bilgisayarın anlamlandırabileceği bir hale getirilerek tanımlanması ve gösterilmesi işlemine

ontolojinin geliştirilmesi ve tanımlanması denilmektedir [11].

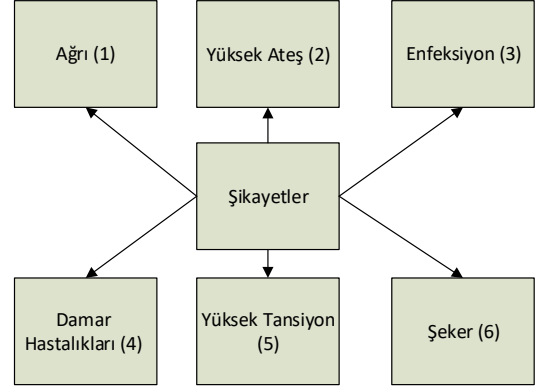
Bu sayede belirli bir alandaki ortak ve paylaşılan terimlerden bir model oluşturulabilmektedir. Model oluşturulması sırasında terimlerin; nesnelere ve ilişkilerle gösterilmesi gerekmektedir [12]. Ontoloji;

- Kavram ve varlık sınıflarının gösterilmesi
- Sınıfların hiyerarşik yapılarının gösterilmesi
- Varlıklara ait özelliklerin ilişkilerinin tanımlanması ile ortaya çıkmaktadır.

6.Uygulama

Günümüzde birçok alanda kullanılan ontoloji, bilgi yönetimi için en önemli araçtır. Bu çalışmada yapılan uygulamadaki amaç sağlık alanında bilgi yönetimini en uygun şekilde ontoloji ile uygulamaktır. Yapılan uygulama ile

belirtilen hasta şikâyetlerine göre kullanabilecekleri ilaçlar ve bu ilaçların eşdeğerleri ve aynı zamanda etken maddeleri Tablo 1’de gösterilmiştir. Kullanıldığı şikâyetler bölümünde yer alan hasta şikâyetlerin numaralandırılması ve ilişkilendirilmesi Şekil 1’de gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Şikâyetler

Tablo 1. Eşdeğerleri ile birlikte ilaç tespitinin ve bu ilaçların etken maddelerinin ilişkileri

Ana İlaçlar	Eşdeğerleri	Etken Maddeleri	Kullanıldığı Şikâyetler
Minoset	Gripin, Vermidon, Calpal, Panadol, Tamol, Panalgine	Paracetamol, Propyphenazone, Caffeine	1-2-3
Brufen	Artril, Profen, Nurofen	İbuprofen	1-3
Apranax	Aleve, Apraljin, Aproz Fort, A-nox Fort	Naproxen Sodium	1
Endol	Endostatin, İndemet	İndomethacin	1-2-3
İbufen	Pedifen, Dolven	Ibuprofen	1-2
Nolvagin	Seskoljin, GERALJİN, Devalgin, Novaprin,	Metamizol Sodyum	1-2
Cipro	Sifloks, Roxin, Iloxasid	Ciprofloksacin	3
Augmentin	Klawnat, Klamoks, Bioment, Amoklavın, Amoksilov	Amoxicilin trihidrate, Potassium clavulanate	3
Daflon		Diosmin, Hesperidin	4
Digoxin	Digoxin Nativelle, Lanaxin	Digoxine	4
Coumadin	Orfarin	Warfarin sodium	4
Desal	Lasix, Lizix, Furomid, Urex, Salfuron	Furosemide	5
Ayra Tablet	Atacond	Candesartan cilexetil	5
Diamigron	Betanorm, Oramikron, Glumicron	Gliclazide	6
Glimax	Amarly, Diameprid	Glimepiride	6
Vasoxxen		Nebivolol, HCL	4-5
Benexel		Vitamini B-12	4-5-6
Caodivan		Valsartan, Hydrochlorothiazide	4-5
Concor		Bisoprolol fumarat	4-5

Ontoloji oluşturmak için ilişkilerin belirlenmesinde hastalık şikâyetleri temel alınmıştır. Bazı ilaçların tek bir şikâyet için değil, farklı şikâyetlere de kullanılabilmesi için oluşturulan ontolojinin ana özelliği olarak

belirlenmiş ve seçilen ilaçlar bu kurala göre seçilmiştir. Örneğin baş ağrısı için kullanılan minoset ilacı Paracetamol, Propyphenazone, Caffeine isimli etken maddelere sahiptir. Bu etken maddeler ayrıca yüksek ateş ve enfeksiyon gibi

şikayetler için de kullanılmaktadır. Şikayetleri ağrı, yüksek ateş ve enfeksiyon olan bir kişinin, ağrı için apranax kullanması ve diğer şikayetler için ayrı ayrı ilaç kullanması kişinin fazla ilaç almasına sebep olacak ve hasta için belki geri dönüşü mümkün olmayan farklı hastalıklara sebep olabilecektir.

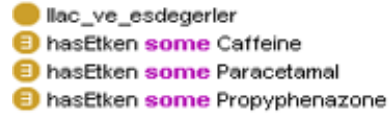
Oluşturulan ontoloji ile kişi şikâyetlerine göre kullanabileceği minimum ilacı tercih edebilecektir. Böylelikle hasta, daha az ilaç kullanarak, vücudunu daha az yabancı maddeye maruz bırakacaktır. Bu sayede fazla ilaç kullanmaktan kaynaklanan mide asidinin dengesinin bozulması, böbrek yetmezliği, karaciğer enzimlerinin etkilenmesi ve ilaçların çapraz kullanmasından kaynaklanan alerjik rahatsızlıklar gibi birçok hastanın kendisi için sorun oluşturabilecek yan etkilerden korunabilecektir.

Ontoloji oluşturulduktan sonra ontolojinin bilgisayar ortamında modellenmesi için protege 5.1.0 kullanılmıştır.

Protege, Stanford üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. Uzun yıllardır tıp ve imalat gibi alanlardaki uzmanlar, alan modellenmesi için Protege-2000 kullanmıştır. Protege ontoloji ile alan modelleri ve bilgi tabanlı uygulamalar oluşturmak için araçlar sunan açık kaynak kodlu bir yazılımdır. Tamamen özelleştirilebilen bir kullanıcı ara yüzü ile tek bir çalışma alanında bir veya daha fazla ontolojinin oluşturulması ve düzenlenmesine olanak sağlamaktadır. Görselleştirme araçları, ontoloji ilişkilerinin navigasyonuna izin vermektedir [13,14].

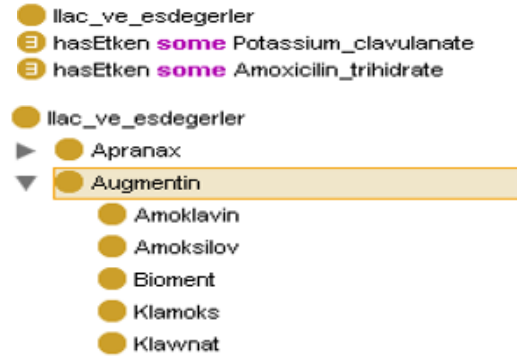
Ontolojinin oluşturulmasında editör olarak Protege'de ontoloji oluştururken süper sınıflar ve alt sınıflar oluşturulmuştur. Ontoloji oluştururken öncelikle yapılması gereken süper sınıflar ve alt sınıfların belirlenmesidir. Süper sınıflar etkin madde, ilaç ve eşdeğerleri ve şikayetler olarak belirlenmiştir.

Örneğin Minoset ilacının ve eşdeğerlerinin ilişkili olduğu etken maddeler Paracetamol, Propyphenazone ve Caffeine olarak gösterilmiştir ve aralarında sahiplik ilişkisi bulunmaktadır. Şekil 2'de Minoset ilacının ve eşdeğerlerinin ilişkili olduğu etken maddeler gösterilmiştir.



Şekil 2. Minoset ilacı eşdeğerleri

Şekil 3'te olduğu gibi burada da Augmentin ilacının eşdeğerleri ve ilişkili olduğu etken maddeler gösterilmiştir.



Şekil 3. Augmentin ilacı eşdeğerleri ve ilişkili olduğu etken maddeler

Tablo 2'de Augmentin ilacına ait protege kodlarının bir kısmı verilmiştir.

Tablo 2. Augmentin ilacına ait protege kod örneği

```
<owl:Class rdf:ID="Augmentin">
  <rdfs:subClassOf
rdf:resource="#ilac_ve_esdegerler"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty
rdf:resource="#hasEtken"/>
      <owl:someValuesFrom
rdf:resource="#Potassium_clavulanate"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty
rdf:resource="#hasEtken"/>
      <owl:someValuesFrom
rdf:resource="#Amoxicilin_trihidrate"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
```

7.Sonuçlar

Gün geçtikçe katlanarak büyüyen web ortamındaki bilgiler insanoğlu hakkında yaşamdan ölüme kadar birçok bilgiyi tutmaktadır. Bu bilgiler web ortamında dağınık ve anlamsız bir şekilde bulunmaktadır. Bilgilerin bilgisayar için anlamlandırılması ve insanoğluna göre çok daha hızlı veri işleme kapasitesine sahip bilgisayarlar tarafından işlenerek çıkarımlarda bulunulması büyük bir önem arz etmektedir. Bu yüzden bu çalışmada anlamsal web için bilgilerin ilişkilendirilmesinde geçmişten beri büyük önem arz eden ontoloji bilimi kullanılmıştır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada yapılan uygulamadaki ana amaç, sağlık alanında kullanılan ilaçların, eşdeğerlerinin ve bu ilaçların kullanılma sebeplerinin en uygun şekilde ilişkilendirilerek ontolojilerinin çıkarılmasıdır. Yapılan uygulama ile belirtilen hasta şikâyetlerine göre kullanabilecekleri ilaçlar, ilaçların eşdeğerleri ve aynı zamanda etken maddeleri gösterilmiştir.

Çalışmada hastalara verilen ilaçların tespiti ve ilaç sayısının optimum sayıya düşürülmesi için ontoloji çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile hastanın şikâyetlerinin giderilmesi için verilecek olan ilaçların sayısının minimum sayıda olması hedeflenmiştir. İlaç sayısının azalması kişilerin daha az yabancı maddeye maruz kalmasını ve gereksiz ilaç etkileşimini azaltmaktadır. Bu sayede mide asidinin dengesinin bozulması, karaciğer enzimlerinin etkilenmesi, böbrek yetmezliği ve ilaçların çaprazın etkileşiminden kaynaklanan alerjik rahatsızlıklar gibi farklı birçok yan etkiden hastalar korunmuş olacaktır.

8.Kaynaklar

1. Berners-Lee, T., Hendler, J., ve Lassila, O. (2001). The semantic web. *Scientific American*, cilt **284(5)**, pp. 28-37.
2. Öztürk, Ö. (2004). Anlamsal web için bir ontoloji ortamı tasarımı ve gerçekleştirimi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 114s.
3. Bansal, R., Chawla, S. (2016). Design and development of semantic web-based system for computer science domain-specific information retrieval. *Perspectives in Science*, **8**: 330-333.
4. Zenuni, X., Raufi, B., Ismaili, F., Ajdari, J. (2015). State of the Art of Semantic Web for Healthcare. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, **195**: 1990-1998.
5. Tao, C., Pathak, J., Solbrig, H.R., Wei, W.O., Chute, C.G. (2013). Terminology representation guidelines for biomedical ontologies in the semantic web notations. *Journal of biomedical informatics*. **46(1)**: 128-138.
6. <http://www-ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html>. 12.01.2017
7. Fensel, D. (2002). Spinning the Semantic Web: Bringing the World Wide Web to Its Full Potential. USA: *MIT Press*.
8. Broekstra, J., ve Kampman A. (2003). Inferencing and Truth Maintenance in RDF Schema. *PSSS*, cilt **8**.
9. Nejd, W., Wolpers M. Ve Capelle, C. (2000). The RDF schema specification revisited. *Workshop Modellierung 2000*
10. Hitzler, P., Krötzsch, M., Parsia, B., Patel-Schneider, P.F., Rudolph, S. (2009). OWL 2 Web Ontology Language: Primer. W3C recommendation **27.1**:123.
11. Daconta, M.C., Obrst, L.J. and Smith, K.T. (2003). The Semantic Web: A guide to the Future of XML, Web Services, and Knowledge Management. John Wiley & Sons. ISBN: 978-0-471-43257-9 312s.
12. Kurtel, K. (2008). Web'in Geleceği: Anlamsal Web. *Ege Academic Review* **8(1)**: 205-213.
13. Noy, N., Sintek, M., Decker S., Musen, M.A. (2001). Creating semantic web contents with protege-2000. *IEEE intelligent systems* **16(2)**: 60-71.
14. URL-1, <http://protege.stanford.edu/> 12.02.2017

Dizel Bir Aracın Elektrikli Araca Dönüşüm Performansının Değerlendirilmesi

Onur Özdal Mengi

Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Giresun Üniversitesi, Giresun, TÜRKİYE
onurmengi@yahoo.com

(Geliş/Received:23.08.2017;Kabul/Accepted:22.11.2017)

Özet

Bu çalışmada, dizel motora sahip 1,3 litrelik bir araç elektrikli araca dönüştürülmüş ve her iki aracın performansı kıyaslanmıştır. Günümüzde hızla artan çevresel problemler ve sera gazı salınımını azaltma çalışmalarının önemli bir ayağını oluşturan petrol temelli kaynaklar ile çalışan araçların elektrikli hale getirilmesi konusunda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Dizelden elektrikli bir forma dönüşüm olursa araçta bir performans kaybı olup olmayacağı önemli bir soru işaretidir. Çalışma bu noktaya odaklanmaktadır. Yapılan benzetim çalışmasında, AVL Cruise programı kullanılmış ve dizel aracın yerine elektrikli versiyonun yapılması ve kullanılması durumunda, bu versiyonların performansı incelenmiş ve kıyaslanmıştır. Her iki aracın motorlarındaki tork, güç ve hız değerleri irdelenmiştir. Bileşenlerin denetlenmesinde Oransal-İntegral-Türevsel kontrolörler kullanılmıştır. Kıyaslama sonucunda, dizel aracın elektrikli arabaya dönüştürülmesi durumunda herhangi bir performans kaybı olmadan daha çevreci bir araç elde edilebileceği gerçeği ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dizel Araç, Oransal-İntegral-Türevsel Kontrolör, Elektrikli Araç

Evaluation of the Conversion Performance of a Diesel Vehicle to Electrical Vehicle

Abstract

In the present paper, a 1,3 liter vehicle that has diesel motor was converted into an electrical vehicle and performances of both vehicle forms were compared. Significant advances have been made in the electrification of vehicles operating with oil-based resources, which nowadays are an important component of rapidly increasing environmental problems and reduction efforts of greenhouse gas emission. It is a serious question mark whether a loss of performance in the vehicle will be if it is converted from diesel to an electrical form. The paper is focused on this point. In the simulation work, AVL Cruise program was used, and when the electric version instead of the diesel vehicle was made and used, the performances of these versions were examined and compared. Torque, power and speed values in the both vehicles were examined. Proportional-Integral-Derivative controllers were used for inspecting components. As a result of comparison, it has been revealed that a more environmentally friendly vehicle can be obtained without any performance loss if diesel vehicle is converted into an electrical vehicle.

Keywords: Diesel Vehicle, Proportional-Integral-Derivative Controller, Electrical Vehicle

1. Giriş

İlk Elektrikli Araç (EA) modelini Profesör Stratingh 1835 yılında geliştirmiştir. Benzin fiyatlarının düşmesi EA'lara olan ilginin azalmasına ve İçten Yanmalı Motor (İYM) ile çalışan arabaların tekrardan ilgi odağı olmasına sebep olmuştur [1-3]. İYM'lerden egzoz gazlarının dışarıya salınımıyla hava kirliliğine

neden olduğu zamanla anlaşılmış ve bu nedenle hava kirliliğini önlemek için EA'ları tekrardan üretmeye başlamıştır [1, 4]. Böylece 1960'lı yıllarda EA'lara duyulan ilgi tekrardan artmaya başlamıştır. Son yıllarda kaydedilen ilerlemeler ile birlikte elektrikli araçların yeni çeşitleri ortaya çıkmıştır. Elektrikli araç çeşitleri altı ayrı başlıkta incelenmektedir. Bunlar tümü elektrikli araçlar, hibrid elektrikli araçlar, yakıt pilli elektrikli

araçlar, elektrik hatlarından beslenen elektrikli araçlar, güneş enerjisi ile çalışan elektrikli araçlar, volanlı ve süperkapasitörlü elektrikli araçlardır [5]. EA'lar, kullandıkları elektrik motorlarının yüksek verimleri sebebi ile içten yanmalı motorlu araçlara oranla %80'e varan enerji tasarrufu sağlarken petrolden bağımsız oluşu, CO₂ salınımının olmayışı ve sessiz çalışması gibi özelliklerinden dolayı geleneksel İYM'lara göre eşsiz bir avantaja sahiptir [6-8].

Literatürde EA'larla ilgili pekçok araştırma bulunmaktadır. Yapılan bir çalışmada EA'larda diferansiyel kaldırılıp her bir tekerere dört adet elektrik motoru bağlandığında bu araçlardan biri olan sabit mıknatıslı senkron motor'lu tekerlekler halinde aracın tork başlangıcında sistemin akım üzerindeki etkisi analiz edilmektedir [9]. Bir diğer araç sürekli mıknatıslı fırçasız doğru akım elektrik motorların ön ve arka tekerleklerindeki hız ve moment analizi yapılmıştır [10]. Bunun dışında elektrikli aracın tahrik motorunun parametreleri ve batarya gücünün belirlenmesiyle Yeni Avrupa Sürüş Döngüsü (YASD) ve Çin Tipik Kentsel Döngüsü ile motorun verimliliği, gücü ve hızı analiz edildiği ve kıyaslandığı araştırmalar da bulunmaktadır [7]. EA'larda çoğunlukla kullanılan Li-On bataryaların aksine LiFePO₄ bataryası, ultra kapasitör ve DC-DC çevirici kullanarak elektrikselsel güç ve batarya verimliliği de hesaplandığı çalışmalarda vardır [11].

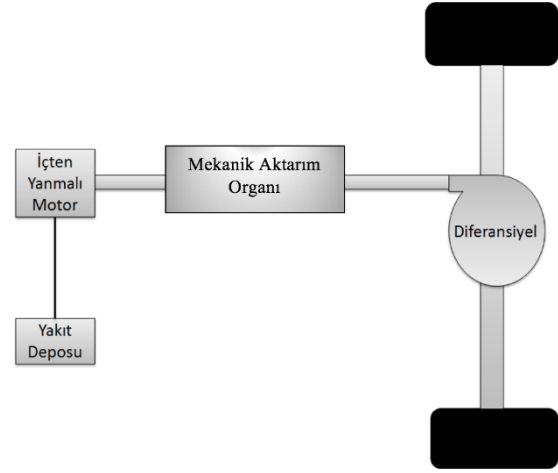
Bu çalışmada bir dizel İYM'li araç elektrikli araca çevirerek, bu modelin simülasyonu yapılmış ve dönüşümden sonra elektrik motorundaki hız, elektrikselsel güç, tork ile bu aracın İYM halinin tork ve mekanik güçlerini kıyaslanması amaçlanmıştır. Ayrıca dönüşümden sonra elektrikli aracı YASD çevriminde koşturulduğunda elektrik motorunun gerilim, akımı elektrikselsel güç ve verimliliği ve bataryanın da elektrikselsel güç ve güç kaybı hesaplanarak irdelenmiştir.

2. Materyal ve Metod

AVL CRUISE programı ile dizel araç modeli üzerinde değişiklikler yapılarak içten yanmalı motorlu araç elektrikli araca dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm için seçilen motor orta sınıfa hitap eden, motorin kullanan ve daha önce elektrikli araca çevrilmemiş bir motor olmasıdır.

2.1. 1,3 Litre Dizel İYM

1,3 litre dizel motora sahip araç modeli Şekil 1'de görülmektedir. Yakıtı motorin olan bu araç 4 silindirli motora sahip, yakıt deposu hacmi 0,047 m³, motor hacmi 1248 cm³, taşıtın kütlesi 1281 kg, maksimum hızı 159 km/saat olan bir araçta kullanılmaktadır. Kullanılan dişli kutusu 5 ileri vitesli mekanik bir dişli kutusudur.



Şekil 1. İçten yanmalı motorlu aracın geleneksel modeli

Motor gücü;

$$P = T * \frac{2 * \pi * n}{60} \quad (1)$$

formülü ile hesaplanır. Burada T tork (Nm) ve n devir sayısı (devir/dak)'dır. Kullanılan motorun özelliklerinde tam yük durumunda güç hesaplandığında tork 66.958 Nm $< T < 180$ Nm ve motor hızı 850 1/min $< n < 1750$ 1/min şeklinde ortaya çıkar. Tork 157,512 alındığında:

$$P = 157,912 * \frac{2 * \pi * 2744.9}{60} = 45,391 \text{ kW}$$

Motorun hızını bulurken, rölanti hızından ($\dot{\phi}_{E,idle}$) daha düşük bir motor devri için;

$$(\dot{\phi}_{E,out} < \dot{\phi}_{E,idle}):$$

$$k_{E,operate} = -1 \quad (2)$$

$\dot{\phi}_{E,idle}$ için $p_{E,vk,help}$ ve $p_{E,sk,help}$ 'in lineer enterpolasyonu:

$$\Delta p = p_{E,vk,help} - p_{E,sk,help}$$

$$p_{eff,sk} = -\frac{\Delta p}{\dot{\phi}_{E,idle}} \cdot f_{E,sk} \cdot \dot{\phi}_{E,out} + p_{E,sk,help} + \Delta p \cdot f_{E,sk} \quad (3)$$

$$p_{eff,vk} = p_{eff,sk} + \frac{\Delta p}{\dot{\phi}_{E,idle}^3} \cdot (f_{E,sk} - 1) \cdot \dot{\phi}_{E,out}^3 - \frac{\Delta p}{\dot{\phi}_{E,idle}^2} \cdot (f_{E,sk} - 2) \cdot \dot{\phi}_{E,out}^2 \quad (4)$$

$$f_{E,sk} = 1 \quad (5)$$

$$(f_{E,sk} = \text{otomatik yapı için} = 4)$$

maksimum hızdan daha yüksek bir motor hızı için;

$$(\dot{\phi}_{E,out} > \dot{\phi}_{E,max})$$

$$k_{E,operate} = 1, \quad (6)$$

$\dot{\phi}_{E,max}$ için $p_{E,vk,help}$ ve $p_{E,sk,help}$ 'in lineer enterpolasyonu:

$$p_{eff,vk} = p_{E,vk,help} - \left| \dot{\phi}_{E,max} - \dot{\phi}_{E,out} \right| \cdot \frac{N_{E,stroke} \cdot \pi}{V_{E,h}} \quad (7)$$

$$p_{eff,sk} = p_{E,sk,help} - \left| \dot{\phi}_{E,max} - \dot{\phi}_{E,out} \right| \cdot \frac{N_{E,stroke} \cdot \pi}{V_{E,h}} \cdot f_{E,sk} \quad (8)$$

$$f_{E,sk} = 1 \quad (9)$$

$$(f_{E,sk} = 0 \text{ otomatik yapı için})$$

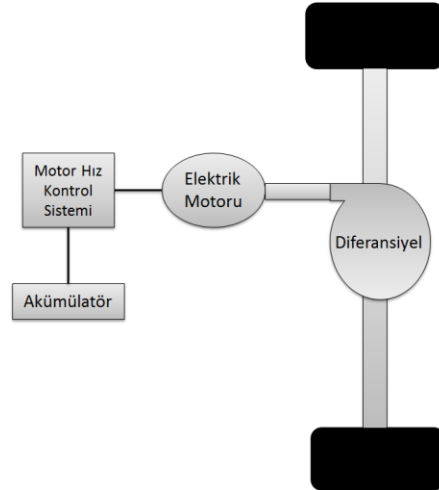
Normal çalışma koşulları için ($\dot{\phi}_{E,idle} < \dot{\phi}_{E,out} < \dot{\phi}_{E,max}$);

$$k_{E,operate} = 0 \quad (10)$$

$\dot{\phi}_{E,out}$ için $p_{eff,vk}$ ve $p_{eff,sk}$ 'nin lineer enterpolasyonu şeklinde hesaplanır [12]. Burada motor hacmi $V_{E,h}$, çap-strok sayısı $N_{E,stroke}$, maksimum hız $\dot{\phi}_{E,max}$, rölanti hızı $\dot{\phi}_{E,idle}$, güç başlangıcında motor açılma hızı $\dot{\phi}_{E,out}$, $\dot{\phi}_{E,out}$ için tam yük eğrisinde fren basıncı ortalaması $p_{eff,vk}$, $\dot{\phi}_{E,out}$ için motor eğrisinde fren basıncı ortalaması $p_{eff,sk}$, hareket kontrolü $k_{E,operate}$ ile gösterilmektedir. AVL Cruise programı bu denklemleri referans olarak gerekli hesaplamaları yapmaktadır.

2.2. 1,3 Litre Dizel İYM'nin EA'ya Dönüştürülmesi

1,3 litre dizel motolu aracın elektrikli araca dönüşmüş hali Şekil 2'de görülmektedir. Modelde Lityum iyon tipi batarya kullanılmıştır. Gerilimi minimum 220 V maksimum 420 V arasında bir değere sahiptir. Elektrik motoru asenkron motor olarak kullanılan gerilimi 320 V, atalet momenti $1,0e-4 \text{ kgm}^2$, hızı 500 rpm ile 7500 rpm arasında değişen ve buna bağlı olarak verimliliği de %65 ile %93 arasında olan bir motordur.



Şekil 2. Elektrikli araba modeli

Bu verilerden yola çıkarak elektrikli gücü hesaplırsak:

$$P_{elk} = V * I \quad (11)$$

Gerilimin değerleri $276,174 < V < 345,07$ ve akımın değerleri $15,827 < I < 303$ arasındadır.

Gerilimin en yüksek ve akımın en düşük değeri için güç hesaplanırsa:

$$P_{elk} = 345,047 * 15,8276A = 5,461 kW$$

Buradan verimlilik:

$$\eta = \frac{\text{faydalı güç}}{\text{toplam güç}} = \frac{P_{fay}}{P_{top}} \quad (12)$$

Güç kaybıda (P_{kay});

$$P_{fay} = P_{top} - P_{kay} \quad (13)$$

$5,461 < P_{top} < 83,764$ arasında ve $1,33 < P_{kay} < 8,5$ arasındadır.

$$P_{fay} = 5,46 - 1,33 = 4,13 kW$$

$$\eta = \frac{P_{fay}}{P_{top}} = \frac{4,13kW}{5,46kW} = \%75,6 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Güç aktarımının gerçek bir anı:

$$M_{EM;dt} = M_{EM} - \Theta_{EM,nom} \dot{\varphi}_{EM,out} \quad (14)$$

şeklindedir. Aşağıdaki hesaplama daimi alan makineleri için kullanılır:

$$M_{EM}(T_{EM}) = (1 + \beta_{EM,REM} (T_{EM} - T_{EM,L})) M_{EM}(T_{EM,L}) \quad (15)$$

Güç aktarma kapalı durumda:

$$M_{EM} = M_{EM,drag} (\dot{\varphi}_{EM} / \dot{\varphi}_{EM,max})^2 \quad (16)$$

Daimi alan makineler için demir kayıpları dikkate alınması gerekir.

Güç aktarma;

$$M_{EM} = k M_{EM,max,mot}, \text{ (eğer } k > 0 \text{ ise,)} \quad (17)$$

Aksi takdirde, $M_{EM} = (-k) M_{EM,max,gen}$
Elektriksel güç:

$$P_{EM,el} = P_{EM,mec} + P_{EM,loss} \quad (18)$$

şeklindedir. Güç kaybı ($P_{EM,loss}$), demir kaybını, bakır kaybını ve sürtünmeye göre kaybı içerir.

Tamamen ısıya dönüşür. Güç aktarma mekanik güç tarafından tanımlanan:

$$P_{EM,mec} = \dot{\varphi}_{EM} M_{EM} \quad (19)$$

ile ifade edilir. Maksimum tork için aşağıdaki güç kaybı kullanılarak tanımlanır:

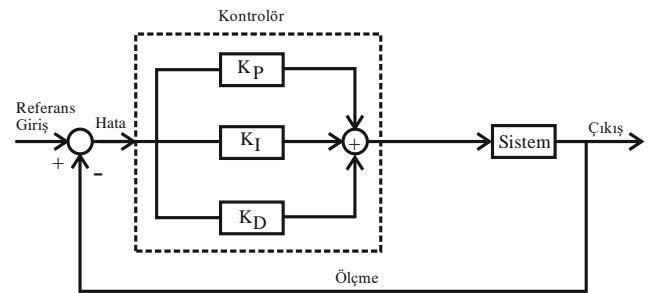
$$R_{th} = 1 / \alpha_{EM;th} \quad (20)$$

$$I_{EM} = P_{EM,el} / U_{EM,net} \quad (21)$$

Burada karakteristik haritalar ve eğriler (M_{EM}), atalet momenti ($\Theta_{EM,nom}$), drag torku ($M_{EM,drag}$), Mıknatıs İndüksiyon Sıcaklık katsayısı $\beta_{EM,REM}$, maksimum tork-motor ($M_{EM,max,mot}$), maksimum tork-jeneratör ($M_{EM,max,gen}$), güç kaybı ($P_{EM,loss}$), maksimum açılma hızı $\dot{\varphi}_{EM,max}$, fiili elektrik güç $P_{EM,el}$, net gerilim $U_{EM,net}$, akım I_{EM} , hareket k ile gösterilmektedir [12].

2.3. PID Kontrolör

Şekil 3'te PID kontrolör blok diyagramı gösterilmiştir. PID kontrolörün transfer fonksiyonu ise aşağıdaki denklemden gösterildiği gibidir [13].



Şekil 3. PID Kontrolör blok diyagramı

$$U(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D \cdot s E(s) \quad (22)$$

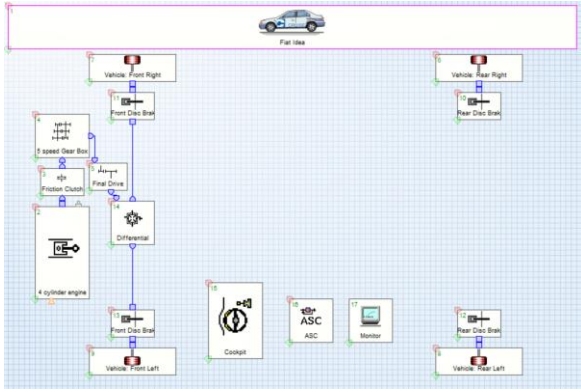
$$C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D \cdot s \quad (23)$$

Burada K_p , K_I , K_D sırasıyla oran, integral ve türev katsayılarını ifade etmektedir. Burada PID

kontrolör motor parametrelerinin ayarlanmasında kullanılmıştır.

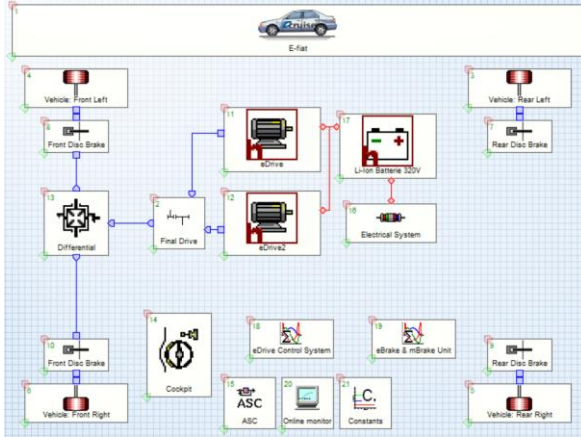
3. Benzetim

1,3 litre dizel araç modeli ve bu modelin elektrikli versiyonunun AVL CRUISE programı ile simülasyonu yapılmış, iki aracın motorlarındaki tork, güç ve hız performanslarını incelenmiş ve karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil 4’de 1,3 dizel IYM modeli gösterilmiştir.



Şekil 4. 1,3 litre dizel IYM modeli

Şekil 5’de 1,3 dizel İYM’nin elektrikli araca çevrilmiş hali gösterilmiştir.

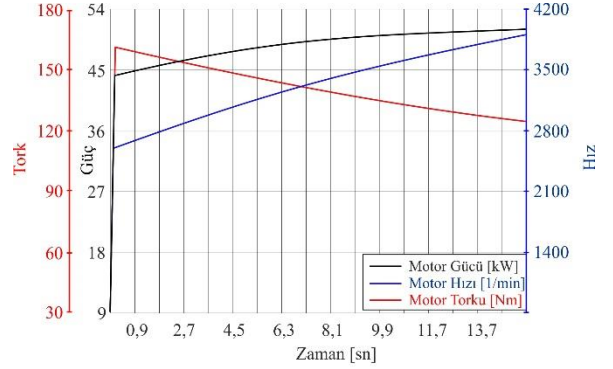


Şekil 5. 1,3 litre dizel aracın elektrikli arca dönüştürülmüş hali

4. Sonuçlar

Şekil 6’da 1,3 litre dizel aracın dönüşüm yapılmadan önceki performans grafiğini incelendiğinde motorun en yüksek tork 161,4 Nm olduğunda aracın çalışma zamanı 0,2 sn ve

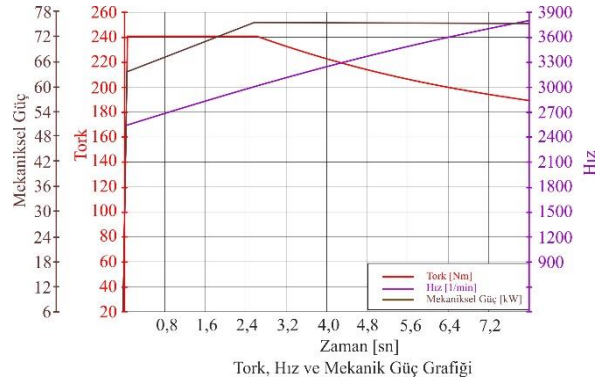
motorun gücü 44,24 kW ve motorun devir hızı 2616,79 1/min dir. Araç motorunun maksimum hızı 3905,65 1/min olduğunda motorun gücü 50,928 kW ve aracın çalışma zamanı 15,3 sn’dir. Grafikte motorun tork değeri araba çalıştığı anda en yüksek değerini alırken zaman ilerledikçe azalma ve motorun hızın ve gücünde artış görülmektedir.



Motor Torku, Motor Gücü ve Motor Hızı Grafiği

Şekil 6. 1,3 litre dizel IYM modelinin zamana göre motor torku, gücü ve hızı

Şekil 7’de 1,3 litre dizel IYM modelinin elektrikli araca çevrildikten sonraki performans grafiği incelendiğinde araç çalıştıktan 0,083 sn sonra elektrik motoru en yüksek torka ulaşmaktadır. Bu değer bir süre sabit kalıp azalmaya başlamaktadır ve torku 240 Nm’dir.

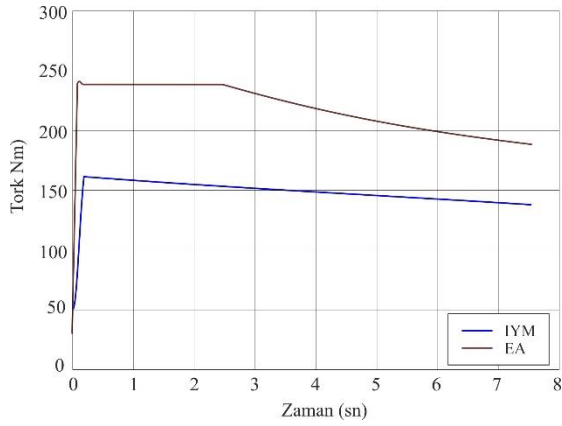


Şekil 7. 1,3 litre dizel IYM’nin EA’ya dönüşümden sonra elektrik motoruna ait zamana göre tork, güç ve hız değişimi

Elektrik motorunun torku en yüksek olduğunda, motorun hızı 2560,18 1/min den 2999,57 1/min e artmaktadır ve mekanik gücü 64,34 kW dan 75,38 kW’a yükselmektedir.

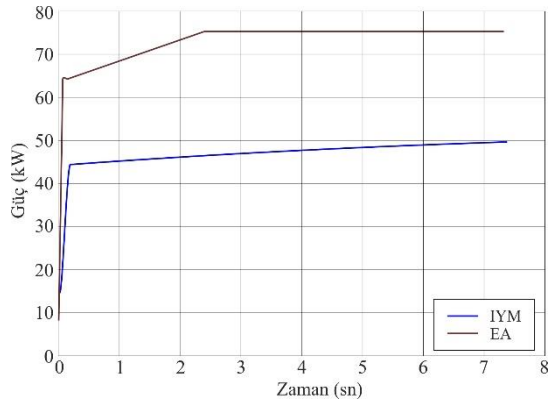
Motorun maksimum hızı 3806,31 1/min olduğunda motorun gücü 75,29 kW'dır.

Şekil 6 ve Şekil 7'den alınan veriler ayrı ayrı incelendiğinde aynı çalışma süreleri (0-7,98 sn) ele alındığında Şekil 8'de dizel araç elektrikli araca çevrildiğinde motor torku daha yüksektir ancak araç çalışmaya devam ettiğinde tork değerini bir süre korumuş ancak zamanla düşme meydana gelmiştir. Aracının dönüşüm yapılmadan önceki torku daha düşük olmasına rağmen zamanla torkunda azalmalar meydana gelmiştir.



Şekil 8. Dizel IYM ve elektrikli halinin torklarının karşılaştırılması

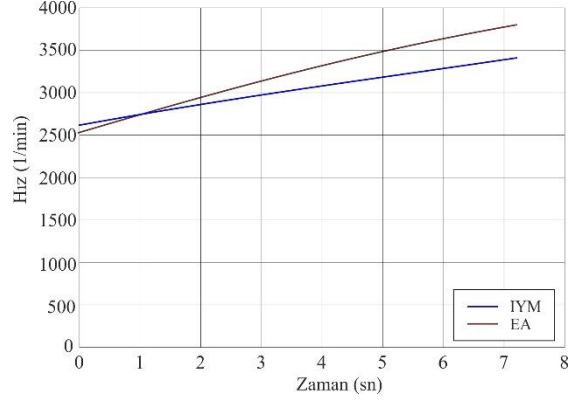
Şekil 9'da 1,3 litre dizel IYM elektrikli araca çevrildikten sonra motor gücü içten yanmalı araca göre daha yüksektir ancak zaman ilerledikçe elektrikli aracın gücü sabit kalırken içten yanmalı motorlu aracın gücü artmaktadır.



Şekil 9. 1,3 litre dizel IYM ve EA modelinin motor güçlerinin karşılaştırılması

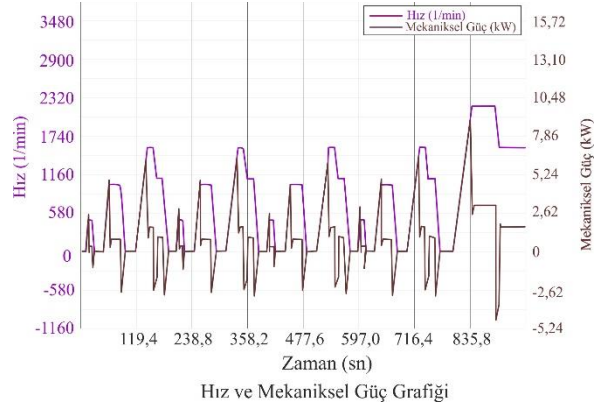
Şekil 10'da araç ilk çalıştırıldıkları andaki hızlarında içten yanmalı aracın hızı elektrikli

araca göre daha fazladır ancak araçlar çalıştırıldıktan sonra elektrikli aracın hızı içten yanmalı motorlu aracın hızını geçmesine rağmen aracın hızında dalgalanmalar meydana gelmiştir. Şekil 11'de bu durum görülmektedir.



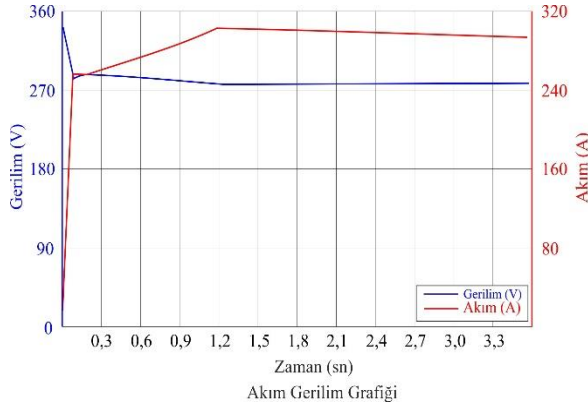
Şekil 10. Dizel motorlu ve elektrikli araca çevrilmiş halinin hızlarının karşılaştırılması

YASÇ'ne göre elektrikli araç test edildiğinde araç motorunun hızı Şekil 11'deki gibi görülmektedir. Bu çevrimde aracın hızlanma, ivmelenme ve sabit hızla yol alırken ki hız çevrimini görülmektedir. Aracın hızı arttıkça mekanik güçte artmakta ve araba yavaşladığında gücün azaldığı görülmektedir.



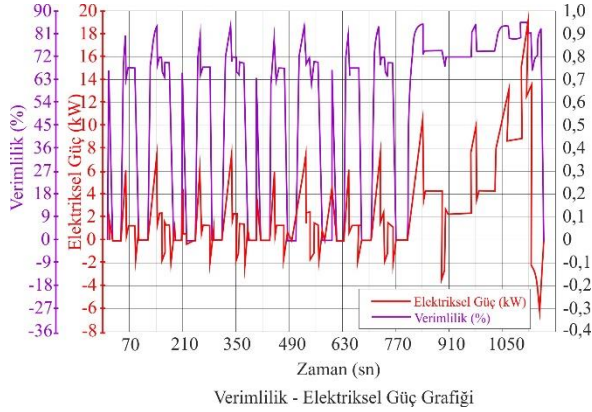
Şekil 11. YASÇ çevriminde elektrikli araç motorunun hız ve mekanik gücü

Şekil 12'de elektrikli araç motorunun akımı ve gerilimi arasındaki ilişki gösterilmiştir. Elektrik motorunun elektriksel gücünü denklem (11) de verildiği gibi çözülmektedir.



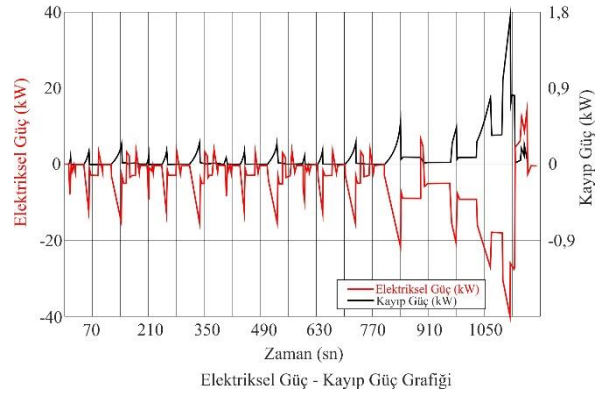
Şekil 12. Elektrikli araç motorunun akımı ve gerilimi

Şekil 13'de aracın elektriksel gücü ile verimliliği karşılaştırılmıştır. İçten yanmalı motorlu araçlarda olduğu gibi elde edilen gücün bir kısmı ısıya daha az dönüştüğünden verimlilik elektrikli araçlarda çok yüksektir ve elektriksel güç ile mekanik güç arasında çok büyük bir farklılık yoktur. Verimlilik denklem 12'deki gibi çözülmektedir.



Şekil 13. YASÇ çevriminde elektrikli araç motorunun elektriksel güç ve verimi

Şekil 14'de elektrikli aracın bataryasından istenilen güç kaybının az, elektriksel gücün yüksek olmasıdır. Elektrik motorları bataryada ki gücü kullanacağından elektriksel güç verilerde eksi olarak alınmış kayıplar artı olarak alınmıştır. Ayrıca elektriksel gücün arttığı kısımlar aracın durduğu anlardır.



Şekil 14. YASÇ çevriminde zamana göre elektrikli araç bataryasının elektriksel gücü ve güç kaybı

5. Tartışma

1,3 litre dizel İYM ile EA halinin simülasyonu gerçekleştirildikten sonra motorlarının torkları kıyaslandığında EA'nın torku İYM araca göre daha uygun olduğu anlaşılmaktadır. İki aracın motorlarının hızlarında fazla bir değişiklik olmaz iken güçleri kıyaslandığında İYM aracın gücü zamanla artarken EA'nın gücü zamanla artıp bir süre sonra sabit kalmıştır. EA'nın YASÇ çevriminde simülasyonu yapıldığında hız ve mekanik güç verilerinden birbirini karşıladığı motordan alınan gücün araca hız olarak döndüğü görülmektedir. Akım-Gerilim eğrisinden elde edilen elektriksel güç mekanik güç verileriyle örtüşmektedir. Verimin yüksek olmasının sebebi aracın kayıplarının yok denecek kadar az olmasıdır. Bu durum aracın gücüne ve hızına yansımaktadır. İYM'den EA'ya dönüştürülmesi durumunda aracın performansında bir kayıp oluşmazken daha çevreci bir araç elde edilebileceği ortaya çıkmaktadır. Farklı tipteki elektrik motorları ve bataryalar her arabada olduğu gibi bu arabada da performansı etkilemektedir.

6. Kaynaklar

- Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçarol, H., Özsu, E., Yazar, A., Turhan, L., Akgün, F., Tırıs, M. (2003). Elektrikli Araçlar. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Gebze.

2. İnternet Kaynağı: https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektrikli_otomobil
3. Sayın, A.A., Yüksel, İ. (2011). Elektrikli Renault Fluence Aracı, Lityum-iyon Bataryasının Modellenmesi ve Batarya Yönetimi, *Mühendis ve Makine*, **52(616)**, 75–82.
4. Leitman, S., Brant, B. (2008). Build Your Own Electric Vehicle, McGraw-Hill Companies, USA.
5. Keskin, F. (2014). Yakıt Pilli-Bataryalı Hibrid Bir Elektrikli Araçta Enerji Yönetiminin Sağlanması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
6. İnternet Kaynağı: <http://www.otovolt.com>
7. Meilan, Z., Liping, Z., Yu, Z., Zhaoming, G., Rongjie, P. (2015). Pure Electric Vehicle Power-Train Parameters Matching Based on Vehicle Performance, *International Journal of Control and Automation*, **8(9)**, 53-62.
8. Zeraoulia, M., Benbouzid, M.E.H., Diallo, D. (2006). Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems: A Comparative Study, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **55(6)**, 1756-1764.
9. Jin, L.Q., Cai, W.B. (2012). Study on Fuzzy Control for Starting Torque of Vehicle with Motorized Wheels, *IEEE 7th International Power Electronics and Motion Control Conference*, China.
10. Çınar, M.A., Gündoğan, Ç., Kuyumcu, F.E. (2004). Elektrik Tahrikli Taşıtlar İçin Çekiş Kontrol Sistemi Simülasyonu, *Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO2004)*, Bursa.
11. Zhiwei, W., Jianlong, Z., Lei, J., Hongjie, W., Chengliang, Y. (2012). The Energy Efficiency Evaluation of Hybrid Energy Storage System Based on Ultra-capacitor and LiFePO₄ Battery, National Engineering Laboratory for Automotive Electronic Control Technology, Shanghai Jiao Tong University, **11(3)**, China.
12. AVL Cruise. 2009. Theory manual, AVL list GmbH, Graz, Austria, document no. 04.0108.2009, **6**, 2009.
13. Katsuhiko, O. (1997). Modern Control Engineering 3e, Prentice Hall, USA.

Sabit Mıknatıslı Senkron Motorun Parametre Tespiti

Hüseyin Yüce KÜRÜM^{1*}, Erhan AKIN²

¹Nokia, İstanbul

²F.Ü. Müh. Fak. Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ

*hykurum@gmail.com

(Geliş/Received: 25.08.2017; Kabul/Accepted: 01.11.2017)

Özet

Sabit mıknatıslı senkron motorun (SMSM) motor modeli gerektiren kontrol yöntemlerinde motor parametrelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada manyetik doymayı göz önüne alarak sabit mıknatıslı senkron motorun online parametre tahmini incelendi. Önerilen yöntemde SMSM'nin parametreleri online (çevrimiçi) olarak tahmin edilir. Ayrıca, çevrimdışı parametre tahmin yöntemlerine göre doyma ve sıcaklığa bağlı değişen parametrelerin tahmini daha doğru yapılır. Sargı direnci, d-q eksen endüktansları ve rotor akısı gibi motor parametreleri tahmin etmek için akım enjeksiyon yöntemi kullanıldı. Bu yöntemle sıcaklığa bağlı olarak değişen direnç değerleri de akım enjeksiyonu ile anında ve yüksek doğrulukla tahmin edildi.

Anahtar Kelimeler: Sabit mıknatıslı senkron motor kontrolü, Doymaya bağlı endüktans değişimi ve tahmini, Sıcaklığa bağlı direnç değişimi ve tahmini

Estimation Of Parameters For Permanent Magnet Senkron Motors

Abstract

Online parameter estimation of the permanent magnet synchronous motor (PMSM) is important for motor control. In this study, the parameters of the motor are estimated correctly regardless of the reasons for the parameter changes. This method instantly estimates changing parameters depending on saturation or temperature. Thus, the control algorithm used by the method increases the efficiency of the motor drive to ensure much better performance in terms of speed range and dynamic response. In this study, the current injection method was used to estimate the winding resistance and dq inductance parameters. In this method, resistance values varying with temperature are estimated instantaneously and with high accuracy by current injection. In this study, considering the magnetic saturation, the inductance of the permanent magnet synchronous motor was calculated online regardless of any cause.

Keywords: Parameter estimation, Permanent magnet synchronous motor control, Saturation inductance change and estimation, Temperature-dependent resistance change and estimation.

1. Giriş

SMSM'ler yüksek güç yoğunluğu ve verim nedeniyle endüstrinin birçok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır[1-5]. Ancak yüksek motor akımı nedeniyle meydana gelen manyetik doymanın sonucu olarak motor sargı endüktansları değişmektedir. Motor sıcaklığının değişimi ile motor sargı dirençlerinde ve mıknatıs akısında da değişimler oluşmaktadır. Bu motor parametre değişimleri özellikle motor modelini kullanan yüksek performans sürücülerinde olumsuz sonuçlara sebep olmaktadır. Örneğin motor parametre değişimleri, algılayıcısız kontrol yöntemlerinde

rotor ve hız konumunun hatalı bulunmasına, doğrudan moment kontrolünde motor akısının hatalı bulunmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle motor parametre tahmini çalışmaları büyük önem taşımaktadır.

SMSM'nin parametrelerinin belirlenmesi geleneksel olarak termokupl, manyetometre, yük test yatağı gibi ölçüm aletleri ile yapılabilir. Ancak SMSM çalışırken bu ölçümlerin yapılması çok zordur. Direk ölçüm yapılması mümkün olsa bile kullanılacak aletlerin pahalı ve karmaşık sistemlerin kullanılmasını gerektirmektedir. Motor dururken yapılan ölçümlerle direnç ve endüktans değerleri belirlenebilir ancak mıknatıs akısı belirlenemez. Böylece SMSM parametrelerinin belirlenirken

ilave ölçme sistemlerinin kullanılması yerine, sistem tanımlama methotları ile parametre tahmininin yapılması ideal bir teknolojidir.

SMSM'nin parametre tahmini için literatürde, genişletilmiş kalman filtresi, özyinelemeli en küçük kareler yöntemi, model referans adaptif sistem, sonlu elemanlar yöntemi, yapay sinir ağları, adaptif tahmin yöntemleri önerilmiştir. Genişletilmiş kalman filtresi ile motor parametre tahmininde gürültü ve kararsızlık problemi nedeniyle motorun gerçek parametrelerini belirlemede hatalar oluşmaktadır[6,7]. Özyinelemeli en küçük kareler yönteminde de sistemin gürültü karakteristikleri etkili olmakta ve gürültülerden tahmin hataları oluşmaktadır [8,9]. Model referans adaptif sistem ile sargı direnci, endüktanslar ve mıknatıs akısı anlık olarak doğru tahmin edilebilmektedir. Ancak motor parametrelerinin doğru tahmini diğer motor parametrelerinin nominal değerlerine bağlıdır [10,11]. Sonlu elemanlar yöntemi ile SMSM'nin parametrelerinin tahmininde ise büyük bir hesaplama yükü mevcut olmaktadır [12,13]. Yapay sinir ağları ile motor parametreleri tahmininde büyük eğitim kümelerine ve ağırlık ayarlamaları için daha fazla bilgiye ihtiyaç duymaktadır [14, 15]. Sinyal enjeksiyon yöntemleri ile SMSM'nin çevrimiçi parametre tahminleri son yıllarda bir çok çalışma mevcuttur [16,17, 18, 19]. Bu yöntemlerin ortak özelliği motor çalışırken momentini değiştirmeden bir akım sinyali enjekte ederek motorun kalıcı durum d-q modelinden faydalanılmaktadır.

Bu çalışmada yüzey mıknatıslı SMSM'nin motor parametreleri id akımı enjekte ederek tahmini çevrimiçi yapılmıştır. Yapılan çalışmaların geçerliliği, Matlab/simulink benzetiminden alınan sonuçlarla ispat edilmiştir.

2. SMSM için Eşdeğer Devre ve Matematiksel Model

Elektronik sürücülü SMSM tahrik sistemlerinde, akım ve konum sensörleri, güç elektroniği devresi ve denetleyicisi bulunur. Sensörler geri besleme ve istenen işlem için güç elektroniği devresini kontrol etmek için kullanılır.

Üç fazlı alternatif akım makinalarının gerilim denklemleri elde edildiğinde denklem içinde endüktans ifadelerinin olduğu görülür.

Motorların endüktans değerleri, eğer rotor çıkıntılığı mevcutsa motorların davranışlarını tanımlayan bu diferansiyel denklemlerdeki endüktans katsayıları, rotor konumuna bağlı olarak değişim gösterir. Bu endüktans değişimleri motor denklemlerinin rotor düzleminde ifade edilmesiyle yok edilir.

Üç fazlı alternatif akım motorlarındaki modellemelerde kullanılan faz düzlemleri arasındaki dönüşümlerde motor dinamik eşitliklerinin daha kolay çözümü yapılabilmektedir. Faz dönüşüm işlemleri genellikle üç fazlı sabit düzlemden iki fazlı sabit düzleme (Clarke dönüşümü), iki fazlı sabit düzlemden üç faz sabit düzleme (Ters Clarke dönüşümü), iki veya üç fazlı sabit düzlemden iki fazlı rotor düzlemine (Park dönüşümü) ve iki fazlı rotor düzleminden iki ya da üç fazlı sabit düzleme (Ters Park) dönüşümü şeklinde gerçekleştirilir.

Modeli oluşturulacak makina, 3 fazlı yıldız bağlı stator sargıları ve sabit mıknatıslı bir rotora sahiptir. Stator sargıları 120° faz farklı yerleştirilmiş olup, hava aralığı alanının sinüzoidal dağıldığı kabul edilmiştir. Her sargının N_s sarım sayısı ve R_s sargı direncinin eşit olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca motora ait manyetik bozucu etkiler ihmal edilmiştir.

Motora uygulanan üç fazlı gerilimler arasında 120° dereceli açı bulunan sinüzoidal gerilimlerdir. Böylelikle stator gerilimleri;

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = R_s \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \psi_a \\ \psi_b \\ \psi_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

faz sargı akıları;

$$\begin{bmatrix} \psi_a \\ \psi_b \\ \psi_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{aa} & M_{ab} & M_{ac} \\ M_{ba} & L_{bb} & M_{bc} \\ M_{ca} & M_{cb} & L_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \psi_m \begin{bmatrix} \cos \theta_e \\ \cos(\theta_e - 2\pi/3) \\ \cos(\theta_e + 2\pi/3) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Denklem (2), Denklem (1)'de yerine yazılır ise;

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = R_s \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + L_s \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \omega_e \psi_m \begin{bmatrix} \cos \theta_e \\ \cos(\theta_e - 2\pi/3) \\ \cos(\theta_e + 2\pi/3) \end{bmatrix} \quad (3)$$

elde edilir. Burada v_a, v_b, v_c stator faz-nötr gerilimlerini, ψ_a, ψ_b, ψ_c faz sargılarının toplam akılarını, i_a, i_b, i_c stator akımlarını, ψ_m sabit mıknatısların oluşturduğu manyetik akının

statora indirgenmiş genliğini, r_s stator direncini, L_s ise senkron endüktansı temsil etmektedir. θ_e rotorun elektriksel açısını temsil etmektedir.

Motorun elektriksel çıkış gücü ve elektromanyetik moment ifadesi;

$$P_e = e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c \quad (4)$$

$$T_e = P_e / \omega_r \quad (5)$$

Burada θ_r mekanik rotor açısı, p ise motorun çift kutup sayısıdır. Hareket denklemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$T_e = T_y + J \frac{d\omega_r}{dt} + B_m \omega_r \quad (6)$$

Burada ω_r mekanik açısal hız, J atalet momenti, T_y yük momenti ve B motor ve dönen sistemin sürtünme katsayısıdır. θ_e elektriksel açı ile ω_e elektriksel açısal hız arasında bağıntılar aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\omega_e = \frac{d\theta_e}{dt} \quad (7)$$

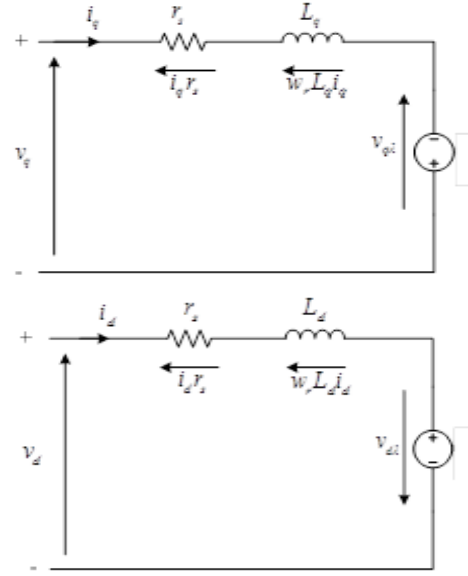
$$\theta_r = \frac{1}{p} \theta_e \quad (8)$$

$$\omega_r = \frac{1}{p} \omega_e \quad (9)$$

Stator senkron endüktans, öz endüktans ve sargıların ortak endüktanslarının toplamıdır. Bu değerler θ_r 'ye bağlı olarak değiştiğinden moment ve gerilim ifadelerinin çözümünü zorlaştırır. Bu nedenle denklemlerin çözümünü kolaylaştırmak için endüktans matrisi elemanlarının zamanla değişmediği bir eksen takımına geçirmek gerekir. Bu maksatla $dq0$ dönüşümü yapılır. Bu dönüşüm yapıldıktan sonra endüktans matrisi elemanları sabit katsayılar haline gelmektedir.

2.1. Sabit Mıknatıslı Senkron Motorun dq0 Eşdeğer Devresi ve Modeli

SMSM serbest DC uyarımlı senkron makineler gibi, genellikle $d-q$ referans düzlemi içinde ele alınır. Makinanın eşdeğer devresi yaklaşık olarak serbest uyarımlı senkron makina ile aynıdır. $d-q$ modelinde motor devresi Şekil 1'de gösterildiği gibi bağımsız iki devre gibi davranır.



Şekil 1. SMSM dq eşdeğer devresi

Denklem (3)'de verilen motorun gerilim denklemlerine Clarke ve Park dönüşümleri uygulanırsa aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$V_d = r_s \cdot i_d + \frac{d}{dt} \psi_d - \omega_r \psi_q \quad (10)$$

$$V_q = r_s \cdot i_q + \frac{d}{dt} \psi_q + \omega_r \psi_d \quad (11)$$

Burada V_d ve V_q d ve q eksen gerilimlerini, i_d ve i_q , d ve q eksen akımlarını, ψ_d ve ψ_q ise d ve q eksen akılarını göstermektedir. Buradaki akı ifadeleri, Denklem (12) ve (13)'de tanımlanmıştır.

$$\psi_q = L i_q \quad (12)$$

$$\psi_d = L i_d + \psi_m \quad (13)$$

Bu ifadeler yukarıda yerlerine yazılacak olursa;

$$V_d = r_s \cdot i_d + L_d \frac{d}{dt} i_d - \omega_e L_q i_q \quad (14)$$

$$V_q = r_s \cdot i_q + L_q \frac{d}{dt} i_q + \omega_e L_d i_d + \omega_e \psi_m \quad (15)$$

olarak elde edilir. Elektriksel moment ifadesi ise;

$$T_e = \frac{3}{2} p [\psi_m i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad (16)$$

şeklinde elde edilir. Denklem (16) 'te P, makina rotor kutup çifti sayısıdır. Denklem (16) 'da tork üreten iki terim vardır. Birincisi mıknatıs akısının ve q -ekseni akımının etkileşiminden meydana gelen motorun ana torkudur. İkincisi, d ve q eksenli endüktansları arasındaki farka dayanır ve bu nedenle relüktans torku olarak adlandırılır. Bu ikinci bileşen, yüzey montajlı SMSM'lerde yaklaşık sıfır değerindedir. Kolaylık sağlamak için makina modelinin durum uzayı gösterimi şu şekilde elde edilebilir:

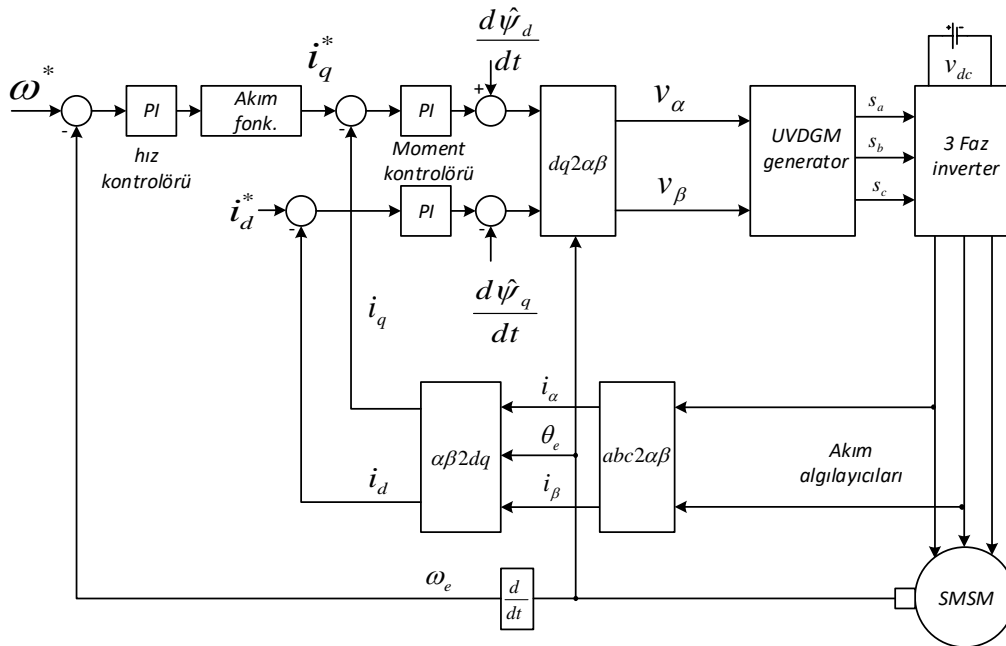
$$\begin{aligned} \frac{di_q}{dt} &= \frac{V_q - r_s \cdot i_q - \omega_e \cdot (L_d \cdot i_d + \psi_m)}{L_q} \\ \frac{di_d}{dt} &= \frac{V_d - r_s \cdot i_d + \omega_e \cdot L_q \cdot i_q}{L_d} \\ p \frac{d}{dt} \omega_r &= \frac{T_e - T_y}{J} \end{aligned} \quad (17)$$

Denklem (17)'deki model, bir SMSM için biraz basitleştirilmiş bir modeldir. Bu modelde demir kayıplarının (fuko ve histerezis kayıpları) ihmal edilmesi simülasyonla elde edilen

sonuçların doğruluğu üzerinde küçük bir hataya neden olur. Yapılan modellemelerde genellikle demir kayıpları ihmal edilir.

3. SMSM'nin Vektör Kontrolü

SMSM'lerin stator yapısı Asenkron Motorlar ile aynı olduğu için bu motorlara uygulanan kontrol yöntemlerinin tümü SMSM'lere de uygulanabilir. Bu çalışmada vektör kontrol yöntemi kullanılmıştır. Bu kontrol yönteminde motora uygulanacak olan değişken genlikli ve değişken frekanslı gerilimlerin elde edilmesi için darbe genişlik modülasyonu (DGM) kullanılmaktadır. DGM ile elde edilen sürme işaretleri, gerilim kaynaklı bir invertere uygulanmakta ve inverter çıkışında elde edilen değişken gerilim ve frekansa sahip gerilim SMSM'nin statoruna uygulanarak SMSM'nin kontrolü gerçekleştirilmektedir. DGM teknikleri ile çıkış akımının harmonikleri de kontrol edilebilmektedir [20,21]. SMSM'nin vektör kontrolü blok şeması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. SMSM'nin vektör kontrolü

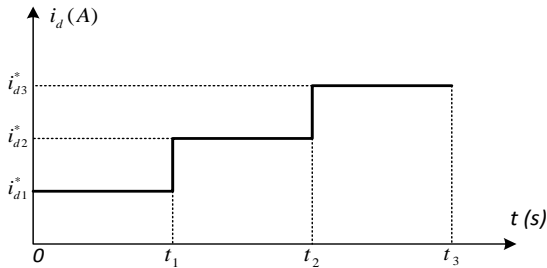
Motordan ölçülen hız ile referans hız arasındaki hata bir PI kontrolörüne girilerek, kontrolörün çıkışından motorun üretmesi gereken moment elde edilir. Yüzey montajlı

SMSM'lerde d ve q eksenli endüktansları eşit olduğu için ($L_d = L_q$), d eksenli akımı sıfıra ayarlanırsa, moment Denklem (18) elde edilir.

Motor eşdeğer devre parameterelerinin tahmininde SMSM'nin kalıcı durum denklemleri Denklem (22)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} v_{dk} &= R_s \cdot i_{dk} - \omega_k \cdot L_q \cdot i_{qk} \\ v_{qk} &= R_s \cdot i_{qk} + \omega_k \cdot L_d \cdot i_{qk} + \omega_k \cdot \psi_m \\ k &= 1, 2, 3 \end{aligned} \quad (22)$$

Buradaki k indiksi, enjekte edilen her bir i_d akımı için yapılan her bir ölçmeyi göstermektedir. Motor parametre tahmini için enjekte edilen i_d akımları Şekil 4. de gösterilmiştir.



Şekil 4. Parametre tahmini için enjekte edilen i_d akımları

Referans i_d akımlarının enjekte edilmesinden sonra motorun geçici rejiminin sona erdiği andan itibaren v_d , v_q , i_d , i_q ve ω değerleri ölçülür. Bu ölçülen değerlerin anlık değerlerini almak gürültülerden dolayı hatalı parametre tahminlerine sebep olur. Bu nedenle belirli bir zaman içinde alınan değerlerin ortalama değerlerini veya DC bileşenlerini hesaplamak parametre tahmininde daha doğru bir sonuç verir. i_d akımı için bu ortalama değer, Denklem (23) ile elde edilir.

$$\text{mean}(i_d) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N i_{dn} \quad (23)$$

Ölçmelerin yapılacağı Δt süresince, T_s anahtarlama periyoduna bağlı olarak Denklem (24)'de verildiği gibi N tane örnek alınarak ölçülen değerlerin ortalama değerleri bulunur.

$$N = \frac{\Delta t}{T_s} \quad (24)$$

Yüzey mıknatıslı silindir kutuplu SMSM'lerde L_d ve L_q değerleri birbirine eşit

olup r_s , L ve ψ_m olarak üç parametre tahmini yapılır.

Enjekte edilen akım değerlerine göre L_d ve L_q değerleri her bir ölçmede manyetik saçdaki doymadan dolayı farklı değerler alabilir. Bu nedenle her enjekte edilen i_d akım değerine göre L_d ve L_q için Denklem (25) yazılabilir.

$$\begin{aligned} L_d &= L_{d0} - \beta_d \cdot i_d - \alpha_q \cdot i_q \\ L_q &= L_{q0} - \beta_q \cdot i_q - \alpha_d \cdot i_d \end{aligned} \quad (25)$$

Burada β_d , β_q öz endüktans, α_q , α_d karşılıklı endüktans terimleridir. Karşılıklı endüktans çok küçük değerde olduklarından dolayı ihmal edilebilir. Denklem (25), Denklem (22)'de yerine konulduğunda Denklem (26) elde edilir.

$$\begin{aligned} v_{dk} &= r_s \cdot i_{dk} - \omega_{ek} \cdot (L_{q0} - \beta_q \cdot i_{qk}) \cdot i_{qk} \\ v_{qk} &= r_s \cdot i_{qk} + \omega_{ek} \cdot (L_{d0} - \beta_d \cdot i_{dk}) \cdot i_{dk} + \omega_{ek} \cdot \psi_m \quad k = 1, 2, 3 \end{aligned} \quad (26)$$

Denklem (26)'da altı tane bilinmeyen olduğuna göre altı denklem elde etmek gerekir. Bu durumda üç tane i_d akımı enjekte edilip motor parametrelerinin tahmini için kullanılan lineer denklem matrisi, Denklem (27)'de verildiği gibi elde edilebilir.

$$\begin{bmatrix} i_{d1} & -\omega_{e1} \cdot i_{q1} & \omega_{e1} \cdot i_{q1}^2 & 0 & 0 & 0 \\ i_{q1} & 0 & 0 & \omega_{e1} \cdot i_{d1} & -\omega_{e1} \cdot i_{d1}^2 & \omega_{e1} \\ i_{d2} & -\omega_{e2} \cdot i_{q2} & \omega_{e2} \cdot i_{q2}^2 & 0 & 0 & 0 \\ i_{q2} & 0 & 0 & \omega_{e2} \cdot i_{d2} & -\omega_{e2} \cdot i_{d2}^2 & \omega_{e2} \\ i_{d3} & -\omega_{e3} \cdot i_{q3} & \omega_{e3} \cdot i_{q3}^2 & 0 & 0 & 0 \\ i_{q3} & 0 & 0 & \omega_{e3} \cdot i_{d3} & -\omega_{e3} \cdot i_{d3}^2 & \omega_{e3} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r_s \\ L_{q0} \\ \beta_q \\ L_{d0} \\ \beta_d \\ \psi_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{d1} \\ v_{q1} \\ v_{d2} \\ v_{q2} \\ v_{d3} \\ v_{q3} \end{bmatrix} \quad (27)$$

v_d ve v_q gerilimleri, alan yönlendirmeli kontrol bloğunda hesaplanır. Inverter nonlineerliği v_d ve v_q gerilimleri hesaplanırken dikkate alınır.

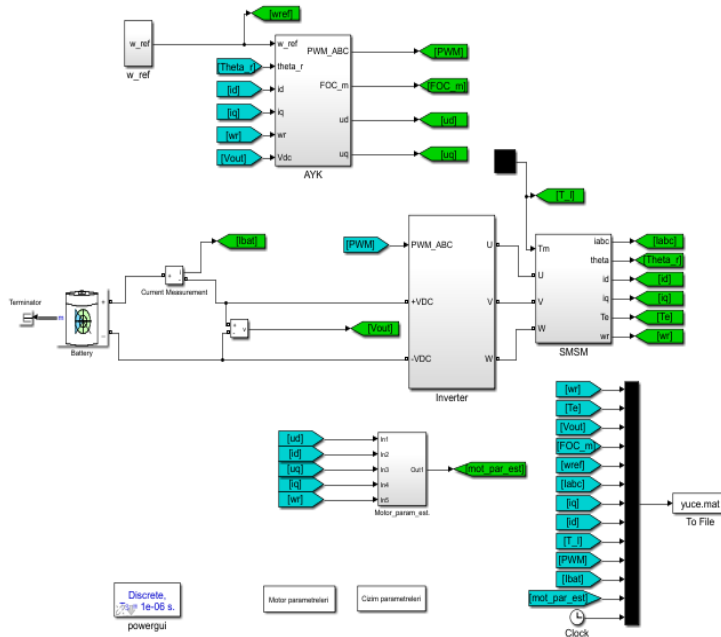
Şekil 4'de görüldüğü gibi SMSM'ye $0-t_1$ aralığında i_{d1}^* akımı, t_1-t_2 aralığında i_{d2}^* akımı, t_2-t_3 aralığında i_{d3}^* enjekte edilmektedir. Enjekte edilen her bir i_d referans akımında sonra SMSM kalıcı duruma ulaşması için bir süre beklenmelidir. Motor kalıcı duruma ulaştıktan sonra, v_d ve v_q gerilimleri, i_d ve i_q akımları ve ω_e açısal hızı Denklem (23) kullanılarak ölçülür. Böylece Denklem (27) çözülerek bilinmeyen parametreler elde edilir. Denklem (25) ile

manyetik doymanında hesaba katıldığı endüktanslar hesaplanır.

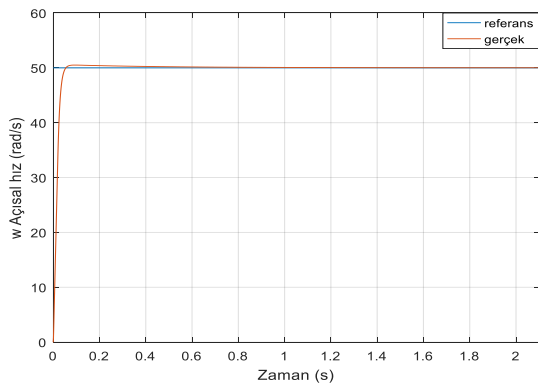
5. Benzetim ve Sonuçlar

Şekil 5’de SMSM’nin eşdeğer devre parametrelerinin tahmin edildiği Matlab/Simulink benzetimi verilmiştir. Benzetimde örnekleme zamanı $1e^{-6}$ s, anahtarlama frekansı 5 Khz alınmıştır. DC gerilim kaynağı olarak anma gerilimi 360 V olan

batarya kullanılmıştır. Yapılan benzetimde inverter, SMSM elektriksel model olarak kullanılmıştır. Benzetimde SMSM’nin sargı direnci $r_s = 0.0107\Omega$, sargı endüktansı $L_s = 0.031H$, mıknatıs akısı $\psi_m = 0.11150Wb$ olarak alınmıştır. Atalet momenti $J = 5.12Kg\,m^2$, sürtünme katsayısı $B = 0.0003743\,Nms$, olarak alınmıştır. Yapılan benzetimden alınan değerler bir dosyaya yüklenmiş, daha sonra matlab komutları ile çizdirilmiştir.

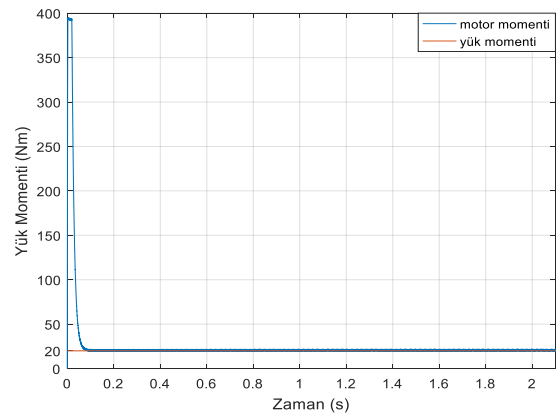


Şekil 5. SMSM’nin eşdeğer devre parametrelerinin tahmin Matlab/Simulink benzetimi



Şekil 6. SMSM hız zaman değişimi

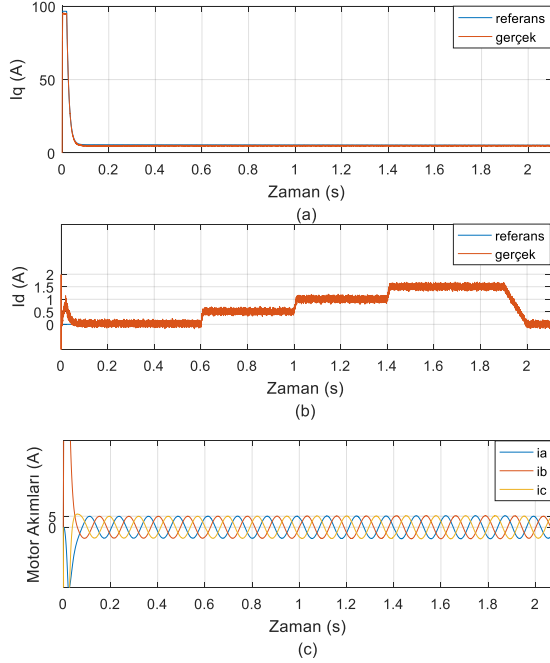
Şekil 6’da verilen 50 rad/s referans hız için motorun gerçek hızı verilmiştir. Yaklaşık olarak 0.07 s sonra motorun geçici rejimini tamamlamış, hız 50 rad/s hıza ulaşmıştır.



Şekil 7. SMSM’un zaman moment değişimi

Motor 20 Nm yük altında çalıştırılmış ve motorun ürettiği moment Şekil 7’de verilmiştir.

Şekil 8'de motor akımları verilmiştir. Şekil 8.a'da i_q akımı incelendiğinde, başlangıçta motorun referansı yakalamak için momentü üreten i_q akımı büyükken daha sonra motor yükünü karşılayacak değerde sabitlenmiştir.



Şekil 8. SMSM'un çalışma akımları

Şekil 8.b'de i_d akımının değişimi verilmiştir. Akıma göre maksimum momentin elde edilmesi için i_d akımı sıfırda tutulur, ancak SMSM'nin eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesi için i_d akımı sırasıyla 0.5A, 1A ve 1.5A olması istenmiştir. i_d akımı istenen referans akımlarını hemen yakaladığı Şekil 8.b'de açıkça görülmektedir. Şekil 8.c'de ise motor üç faz akımları görülmektedir.

Elde edilen SMSM'nin eşdeğer devre parametreleri tahmin sonuçları Tablo.1'de verilmiştir.

Tablo1. Akım enjeksiyonu ile SMSM'nin eşdeğer devre parametreleri

	Motorun gerçek parametre değerleri	Motorun tahmin edilen parametre değerleri	Hata
r_s	0.107 Ω	0.11168 Ω	0.00468 Ω
L_s	0.0031 H	0.0026 H	0.0005 H
ψ_m	0.1151Wb	0.1177Wb	0.0026Wb

6. Sonuç

Bu çalışmada SMSM'nin yüksek performans sürücülerinde motor parametrelerinin tahmin edilmesi için akım enjeksiyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile SMSM'nin eşdeğer parametrelerinin tahmin edilmesi için farklı i_d akımları motora uygulanarak gerilim, akım ve hız bilgileri kullanılarak, motor kalıcı denklemlerinden faydalanılmıştır. Benzetim sonuçları yöntemin geçerliliğini ispatlamaktadır. Enjekte edilen i_d akımı motorun gücüne göre değişim göstermektedir. Küçük bir motor için büyük i_d akımlarının enjekte edilmesi motorun yanması ile sonuçlanabilir.

7. Kaynaklar

- [1] Yanhui Xu, Ulrich Vollmer, Amir Ebrahimi, Nejila Parspour, 2012, Online Estimation of the Stator Resistances of a PMSM with Consideration of Magnetic Saturation, International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE 2012), 25-27 October, Iasi, Romania, p. 360-365
- [2] Yanhui Xu, Nejila Parspour, and Ulrich Vollmer, 2014, Torque Ripple Minimization Using Online Estimation of the Stator Resistances With Consideration of Magnetic Saturation, IEEE Trans. On Industrial Electr., Vol. 61, No. 9, p.5105-1514, September
- [3] Guodong Feng, Chunyan Lai, and Narayan C. Kar, 2016, A Novel Current Injection-Based Online Parameter Estimation Method for PMSMs Considering Magnetic Saturation, IEEE Transactions On Magnetics, Vol. 52, No. 7, July 2016.
- [4] Kan Liu, Member, IEEE, and Z. Q. Zhu, Fellow, 2015, Mechanical Parameter Estimation of Permanent-Magnet Synchronous Machines With Aiding From Estimation of Rotor PM Flux Linkage, IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. 51, No. 4, p.3115-3125, July/August
- [5] Akın, E., 1994, Stator akısı üzerinden asenkron motorun rotor akısı alan yönlendirmesi için bir yöntem, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [6] B. N. Mobarakeh, F. Meibody-Tabar, and F. M. Sargos, "Mechanical sensorless control of PMSM with online estimation of stator resistance," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 40, no. 2, pp. 457-471, Mar./Apr. 2004.

- [7] **Y. C. Shi, K. Sun, L. P. Huang, and Y. Li**, “Online identification of permanent magnet flux based on extended Kalman filter for IPMSM drive with position sensorless control,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 59, no. 11, pp. 4169–4178, Nov. 2012.
- [8] **Q. Liu and K. Hameyer**, “A fast online full parameter estimation of a PMSM with sinusoidal signal injection,” in *Proc. IEEE Energy Convers. Congr. Expo.*, 2015, pp. 4091–4096.
- [9] **G. Pellegrino, A. Vagati, P. Guglielmi, and B. Boazzo**, “Performance comparison between surface-mounted and interior PM Motor drives for electric vehicle application,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 59, no. 2, pp. 803–811, Feb. 2012.
- [10] **B. Thierry, L. Nicolas, N. M. Babak and M. T. Farid**, “Online identification of PMSM parameters: Parameter identifiability and estimator comparative study,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 47, no. 4, pp. 1944–1957, Jul./Aug. 2011.
- [11] **Y. Zhang, Z. Yin, X. Sun and Y. Zhong**, “Online identification methods of parameters for permanent magnet synchronous motors based on cascade MRAS,” in *Proc. 9th Int. Conf. Power Electron. ECCE Asia*, Seoul, Korea, Jun. 2015, pp. 345–353.
- [12] **M Polat, E Öksüztepe, H K**, “Switched reluctance motor control without position sensor by using data obtained from finite element method in artificial neural network“, *Electrical Engineering* 98 (1), 43-54,2016.
- [13] **Öksüztepe E, Omac Z, K. H**, “Sensorless vector control of PMSM with non-sinusoidal flux using observer based on FEM“ *Electrical Engineering* 96 (3), 227-238,2014.
- [14] **Öksüztepe E, Omac Z, Polat M, Celik H, Selcuk AH, K. H**, “Sensorless field oriented control of nonsinusoidal flux-distribution permanent magnet synchronous motor with a FEM based ANN observer“, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences* 24 (4), 2994-3010, 2016.
- [15] **Christian Kral, IEEE, Anton Haumer, and Sang Bin Lee,, 2014**, A Practical Thermal Model for the Estimation of Permanent Magnet and Stator Winding Temperatures, *IEEE Transactions On Power Electronics*, Vol. 29, No. 1, p.455-464, Jan.
- [16] **K. Liu, Q. Zhang, J. Chen, Z. Zhu, and J. Zhang**, “Online multiparameter estimation of nonsalient-pole PM synchronous machines with temperature variation tracking,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 5, pp. 1776–1788, May 2011.
- [17] **G. L. Wang, L. Z. Qu, H. L. Zhan, J. Xu, L. Ding, G. Q. Zhang, and D. G. Xu**, “Self-commissioning of permanent magnet synchronous machine drives at standstill considering inverter nonlinearities,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 29, no. 12, pp. 6615–6627, Dec. 2014.
- [18] **S. D. Wilson, P. Stewart, and B. P. Taylor**, “Methods of resistance estimation in permanent magnet synchronous motors for real-time thermal management,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 25, no. 3, pp. 698–707, Sep. 2010.
- [19] **D. D. Reigosa, F. Briz, P. Gacia, J. M. Guerrero, and M. W. Degner**, “Magnet temperature estimation in surface PM machines using high-frequency signal injection,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 46, no. 4, pp. 1468–1475, Aug. 2010.
- [20] **Öksüztepe E, K. H**, “Sabit Mıknatıslı Senkron Motorun Moment Dalgalanmalarının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Oluşturulan Akı Modelinin Kullanılmasıyla Azaltılması“, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Dergisi* 25 (1-2),2009.
- [21] **Arun Gandhi, Timothy Corrigan**, 2011, Recent Advances in Modeling and Online Detection of Stator Interturn Faults in Electrical Motors, *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, Vol. 58, No. 5, p.1564-1575 May.

Zaman Gecikmeli İnsan-Makine Etkileşimli Teleoperasyon Sisteminin Kontrolü

Tayfun ABUT^{1*}, Servet SOYGÜDER²

¹Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Muş

²Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ

*tayfunabut@gmail.com

(Geliş/Received:12.09.2017; Kabul/Accepted: 29.11.2017)

Özet

Teleoperasyon kullanıcı tarafından robotların veya nesnelerin hareket ettirilmesi ve karşılıklı etkileşime geçilmesi olarak tanımlanmaktadır. Teleoperasyon sistemlerinde genellikle iletişim gecikmeleri meydana gelmektedir ve bu gecikmeler sistemlerin performansını etkilemektedir. Bu çalışmada iki yönlü iki kanallı teleoperasyon sisteminde meydana gelen değişken zaman gecikmesi probleminin telafisi için modifiye edilmiş dalga değişkenleri (wave variables) yöntemi kullanılmıştır. İki yönlü iki kanallı teleoperasyon sisteminde konum ve kuvvet kontrolü gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ana (master) robot olarak Phantom Omni haptik ve bağımlı (slave) robot olarak sanal ortamda tasarlanan üç boyutlu sanal robot kullanılmıştır. Kullanıcıya görsel geri besleme sağlamak için bir görsel arayüz tasarlanmıştır. Sonuç olarak yapılan bu çalışmada değişken zaman gecikmesi varlığında iki yönlü iki kanallı konum ve kuvvet kontrolü gerçekleştirilmiş, benzetim ve gerçek zamanlı uygulamalar yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Teleoperasyon, Modifiye Edilmiş Dalga Değişken yöntemi, İki Yönlü İki-Kanallı kontrol, Sanal Robot

Control of Time Delayed Human-Machine Interaction Teleoperation System

Abstract

Teleoperation is defined as the movement of the robots or objects by the user and the mutual interaction. In teleoperation systems, communication delays often occur and these delays affect the performance of the systems. In this study, the modified wave variable method was used to compensate for the variable time delay problem that occurs in the bilateral two-channel teleoperation system. Position and force control has been realized in a bilateral two-channel teleoperation system. In this study, Phantom Omni haptic as a master robot and three-dimensional virtual robot designed as a slave robot in a virtual environment were used. A visual interface has designed to provide for the user visual feedback. As a result of this study, bilateral two-channel position and force control was realized in the presence of variable time delay, real time applications were made and results were obtained.

Keywords: Teleoperation, Modified Wave Variables Method, Bilateral Two-Channel Control, Virtual Robot

1. Giriş

İnsan Makina Etkileşimi (Human-Machine Interaction) disiplinler arası bir alan olup, insanlar ile makinalar arasındaki bağlantıya odaklı, yazılım, donanım ve insan olaylarının incelenmesini hedeflemektedir. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte insan-makina etkileşimi artmakta ve akıllı teknolojiler yaşamımızın her alanına hızla nüfuz etmektedir. İnsan-Makina iletişiminin kullanıldığı bazı alanlar, insan-bilgisayar etkileşimi, insan-robot-etkileşimi,

robotik, yapay zekâ, insansı robotlar ve ekzoskeleton kontrol şeklinde sıralanabilir[1]. Teleoperasyon çalışmalarının ise geniş bir çalışma yelpazesi olması dolayısıyla araştırmacıların ilgi alanı olması geçmişten günümüze sürdürmektedir. Savunma sanayi, robotik cerrahi, medikal sanayi, nükleer çalışmalar ve simülatörler v.b [2-8] çalışma alanlarından bazılarıdır. Teleoperasyon sistemlerinin ilke olarak bir insan operatörünün

uzak bir çevreyle etkileşime girmesini, tanımlaması ve fiziksel olarak etkileşime girmesini sağlayan bir çift robot setidir. Böyle bir sistemde, arzu edilen manipülasyon veya görev, insan tarafından kontrol edilen bir ana robotun hareketini izleyen bağımlı robot tarafından aynı ortam veya uzaktan gerçekleştirilir. Ana(master) ve bağımlı(slave) robotu operatöre saydam olması gereken bir iletişim kanalı vasıtasıyla bağlanır; yani, uzaktaki konumdaki ortamı en iyi şekilde hissetmesi gerekir. Teleoperasyon çalışmalarının bazı uygulamalarında haptik cihazlar kullanılarak uzaktan kontrolü yapılmaktadır. Bu genellikle, uzaktaki bağımlı(slave) bilgisini (örneğin konum, hız ve kuvvet) ana robota iletişim kanalı aracılığıyla elde edilir. Bu iletişim kanalında çeşitli problemler yaşanmaktadır.



Şekil 1. Phantom Omni Haptik robot ve dönme eksenleri[7]

Bu problemler iletişim kanalından gönderilen sinyaller, sabit veya değişken gecikmeye maruz kalabilmekte ve bu gecikme sebebiyle iki yönlü teleoperasyon sistemlerinde kararlılık ve saydamlık sağlanamamaktadır [9]. Literatürde kararlılık problemini çözmek üzere Sheridan ve Ferrell'in çalışmalarından [10] bu yana birçok yöntem geliştirilmiştir. Anderson ve Spong tarafından geliştirilen pasiflik (passivity) tabanlı scattering transformation yöntemi [11-13] ile Niemeyer ve Slotine tarafından önerilen scattering tabanlı dalga değişkenleri (wave variables) yaklaşımı [14-15] bu problemin çözümü için ilk önerilen yöntemlerdir. Niemeyer ve Slotine'in önerdiği dalga değişkenleri (wave variables) teorisinde [16] iletişim kanalının giriş ve çıkışındaki güç akışı, giriş ve çıkış dalgaları olarak yeniden tanımlanmıştır. Dalga değişkenleri, hız ve kuvvet (güç) sinyallerine

dalga dönüşümü (wave transformation) uygulanarak elde edilmektedir.

Scattering teorisindeki sonucun aynısına dalga teorisine de ulaşılmıştır. Dalga değişkenleri tekniğinde dalga taşıyıcıların değişmesiyle kesişim (junction) ve bitiş (termination) noktalarında dalga yansımaları (wave reflections) gözlemlenmektedir. Dalga dönüşümünün karakteristik empedansının geri kalan sisteme eşlenmesiyle dalga yansımaları yok edilebilmektedir. Sistemin kararlılığı pasiflik teorisine kanıtlanmış ancak sistemin performansı yeterli düzeyde olmadığından performans geliştirme çalışmaları devam etmiştir. Yazarlar scattering dönüşümü yöntemini zamanla değişen gecikme için yeniden düzenlemiş ve iletişim bloğuna zamanla değişen bir kazanç parametresi ekleyerek sistem pasifliğini garanti etmişlerdir [17-18].

Bu çalışmada, ana-bağımlı robottan oluşan teleoperasyon sisteminin konum ve kuvvet kontrolü hedeflenmiştir. Bu hedefle değişken zaman gecikmesi varlığında teleoperasyon sisteminin dalga değişken yöntemi kullanılarak kontrol edilmiştir. Ana robot tarafından kontrol edilen bağımlı robotun hareketlerinin görsel olarak geri besleme sağlaması için bir görsel arayüz tasarlanmıştır. İlk olarak robotun CAD modeli bir katı modelleme programında çizilmiş ve üç boyutlu model oluşturulmuştur (Şekil 3). Matlab paket program yazılımı kullanılarak görsel arayüz oluşturulmuştur. Bu çalışmada değişken zaman gecikmeli iki yönlü iki kanallı teleoperasyon sisteminin kontrolü gerçekleştirilmiştir. Robotların ilk üç eksenleri kontrol edilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak verilmiş ve irdelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucu sistemin hareketi hakkında ileriye dönük faydalı bilgiler elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada ana ve bağımlı robotların dinamik modelleri elde edilmiş ve kuvvet grafikleri elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan robot parametre değerleri laboratuvarımızda kullanılan 6 serbestlik dereceli endüstriyel robotun fabrika üretim boyutlarından elde edilmiştir. Tablo 2'de sanal robotun fiziksel parametreleri gösterilmiştir

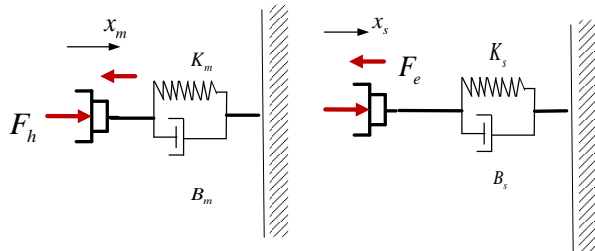
2. Ana(Master) ve Bağımlı (Slave) Robotun Dinamik Denklemleri

Sistemin dinamik denklemlerinin elde edilmesinde Lagrange-Euler yöntemi kullanılmıştır[20]. Sistemin ilk üç ekseninin denklemleri kullanılarak robotun benzetimi gerçekleştirilmiştir. Ana ve bağımlı robotların hareket denklemleri aşağıda gösterilmiştir.

$$M_{qm}(q_m)\left[\ddot{q}_m\right] + C_{qm}(q_m, \dot{q}_m)\left[\dot{q}_m\right] + N_{qm}\left[\dot{q}_m\right] = \tau_m + \tau_e \quad (1)$$

$$M_{qs}(q_s)\left[\ddot{q}_s\right] + C_{qs}(q_s, \dot{q}_s)\left[\dot{q}_s\right] + N_{qs}\left[\dot{q}_s\right] = \tau_s + \tau_e \quad (2)$$

$M(q)$, pozitif tanımlı simetrik bir matris olup aynı zamanda sistemin atalet matrislerini de içermektedir. Matrisin sabitlerini m , L , J temsil etmekte sistemin değişkenleri yalnızca q 'dır. $C(q)$ sistemin Coriolis matrisini temsil etmekte Coriolis ve merkezkaç kuvvetlerini içermektedir. Burada $N(\theta)$ ise ağırlık kuvvetlerinden ve sistemin her bir eklemine etki eden sürtünme kuvvetlerini içermektedir. τ_m, τ_s sırasıyla gerçek ve sanal değerini temsil etmektedir. $\tau_h = J_m^T F_h$ ve $\tau_e = J_s^T F_e$ şeklinde alındı. İnsan operatör ile çevre arasında ilişki bir sanal duvar arasındaki ilişki kütle-yay-damper sistemi ile modellenmiştir. Şekil 1'de Phantom Omni Haptik robot ve dönme eksenleri gösterildi[21-22]. Tablo 1'de Phantom Omni haptik robotun fiziksel parametreleri gösterilmiştir.



Şekil 2. Ana ve bağımlı robotların çevre ile etkileşim modeli[23]

Tablo 1. Phantom Omni haptik robotun fiziksel parametreleri

Tanımlama&Sembol	Değer&Birim
Ağırlık	~1,47 g
Boyutlar	~168W*203D mm
Atalet (I)	~45 g
Konum kararlılığı (θ)	~0.055 mm
Maksimum uygulanabilir kuvvet (Fmax)	3.3 N
Kuvvet geribesleme (F)	x, y, z
Konum ölçümü	x,y,z Pitch, roll, yaw
Arayüz	Paralel port
Destekleyen Platform	Intel tabanlı-PCs
Kuvvet geribesleme (F)	~1,47 g

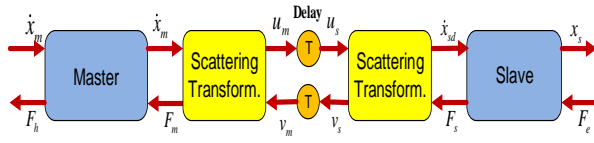
$$F_h = K_m(x_m - x_{md}) + B_m(\dot{x}_m - \dot{x}_{md})(a) \quad (3)$$

$$F_e = K_s(x_s - x_m) + B_s(\dot{x}_s - \dot{x}_m)(b)$$

Burada a ve b nolu denklemlerde B_m , B_s , K_m , K_s sabitleri sırasıyla operatör ve çevre etkileşime girdiğinde sönüm ve yay sabitini temsil etmektedir. x_m , x_{md} ve x_s sırasıyla ana robotun konumunu, ana robotun istenen konumunu ve bağımlı robotun konumunu temsil etmektedir. F_e ve F_h ise ortaya çıkan kuvvetleri temsil etmektedir. Şekil 2'de kullanılan ana ve bağımlı robotun çevre ile etkileşim modeli gösterilmiştir. Bu şekilde gösterilen model benzetim ortamında deneysel çalışmalar öncesinde kullanılmıştır. Ayrıca bağımlı robotun çevre ile etkileşim modeli deneysel çalışma sırasında kullanılmıştır.

3. Dalga Değişkenleri (Wave Variables) Yöntemi ve Kontrol Tasarımı

Scattering teorisi geliştirilerek dalga değişkenleri (wave variables) yöntemini bulmuştur[15]. Şekil 3'de standart zaman gecikmeli iki yönlü teleoperasyon sistemi için scattering dönüşümü gösterilmiştir.



Şekil 3. Standart zaman gecikmeli iki yönlü teleoperasyon sistemi için scattering dönüşümü[17]

Dalga değişkenleri iletişim kanalının her iki tarafındaki giriş ve çıkışları güç akışını, giriş ve çıkış dalgaları olarak temsil edilmektedir. Dalga dönüşümü, güç sinyalleri olan hız ve kuvvet sinyallerine iletişim kanalına girmeden önce uygulanır ve bu sinyaller dalga değişkenlerine dönüştürülür. Dalga değişkenleri standart güç değişkenlerinden aşağıdaki dönüşümlerle hesaplanabilir;

$$u_s = \frac{1}{\sqrt{2b}} (b\dot{x}_{sd} + F_s); \quad (4)$$

$$u_m = \frac{1}{\sqrt{2b}} (b\dot{x}_m + F_m); \quad (5)$$

$$v_s = \frac{1}{\sqrt{2b}} (b\dot{x}_{sd} - F_s); \quad (6)$$

$$v_m = \frac{1}{\sqrt{2b}} (b\dot{x}_m - F_m); \quad (7)$$

Burada b pozitif sabit bir sayıyı ya da simetrik pozitif bir matris olan karakteristik dalga empedansını göstermektedir. \dot{x}_m ve \dot{x}_s sırasıyla ana ve bağımlı robotların hızlarını, F_h ve F_m ise sırasıyla insan operatör tarafından uygulanan kuvvet ve uzak çevre tarafından uygulanan kuvveti göstermektedir. F_m ve F_s sırasıyla ana ve bağımlı robotların kontrol kuvvetlerini ifade etmektedir. \dot{x}_{sd} Scattering dönüşümünde bağımlı robottan elde edilen hız ifadesini temsil etmektedir. u ve v ile dalga değişkenleri gösterilmektedir.

Bir sistemin pasiflik bağlamında incelenmesi için önce sisteme giren gücün tanımlanması gerekmektedir. P_m güç, sisteme giren giriş vektörü (x) ve sistemden çıkan çıkış vektörü (y) nin skaler çarpımı olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımlamalara göre aşağıdaki denklemi sağlayan bir sistem pasiftir. Yani sistemdeki güç ya

depolanmış ya da harcanmıştır. Bu sonuca bakılarak t anına kadar bir sistem tarafından üretilen toplam enerji ilk depolanan enerjiyle sınırlıdır denebilir, yani enerji dönüşümü negatif ilk enerjiyle sınırlıdır:

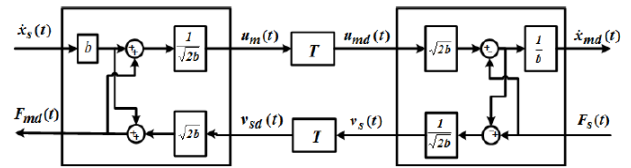
$$\int_0^t P_m(t) dt = \int_0^t x^T y d\tau \geq E_{store}(t) - E_{store}(0) \quad (8)$$

Tablo 2. Bağımlı robotun fiziksel parametreleri

Eksen	Uzuv uzunluğu (mm)	Hız (°/s)	Çalışma aralığı (°s)
1	100	200	360
2	352	200	200
3	360	260	280
4	445	360	400
5	60	360	240
6	30	450	800
Toplam kütle		98 kg	

$E_{store}(t)$ zamanla depolanan enerji, $E_{store}(0)$ ise ilk depolanan enerji göstermektedir. Herhangi bir anda iletişim bloğu içerisinde güç girişi aşağıdaki formülle ifade edilir;

$$P_m(t) = \dot{x}_{md}(t)F_m(t) - \dot{x}_{sd}(t)F_s(t) \quad (9)$$



Şekil 4. Dalga değişken dönüşümü [19]

Şekil 4'de dalga değişken dönüşümü gösterilmiştir. İletişim kanalı boyunca T kadar sabit zaman gecikmesine göre, gidiş ve dönüş gecikmeli olarak iletilen sinyaller şu şekilde elde edilir.

$$u_s(t) = u_{md}(t) = u_m(t-T) \quad (10)$$

$$v_m(t) = v_{sd}(t) = v_s(t-T) \quad (11)$$

İlk depolanan enerji değeri sıfır kabul edilerek ana ve bağımlı robotlar arasında gerçekleşen iletişim sırasında depolanan toplam enerji denklem ile hesaplanmaktadır;

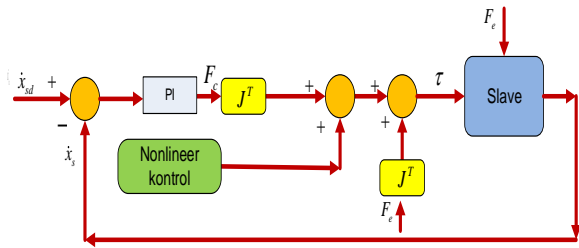
$$E = \int_0^t P_m(\tau) d\tau = \int_0^t (\dot{x}_{md}(\tau)F_m(\tau) - \dot{x}_{sd}(\tau)F_s(\tau)) d\tau \quad (12)$$

$$E = \frac{1}{2} \int_0^t u_m^T(\tau)u_m(\tau) - v_m^T(\tau)v_m(\tau) + v_s^T(\tau)v_s(\tau) - u_s^T(\tau)u_s(\tau) d\tau$$

$$E = \frac{1}{2} \int_0^t (u_m^T(\tau)u_m(\tau) + v_s^T(\tau)v_s(\tau)) d\tau \geq 0$$

Denklemler incelendiği zaman pasiflik özelliği gecikme miktarından tamamen bağımsızdır olduğu görülmektedir. Dalgacık dönüşümünde zaman gecikmesi enerji üretmediği görülmektedir. Kartezyen uzayda ana robot tarafından alınan hareket bilgileri, jakobiyen matrisi elde edilir. Eklem uzayında istenilen hareket için eklemlerden hatalar karşılaştırılır. Genel dalga değişken kontrol yapısı aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} M_m(\ddot{x}_m) + B_m(\dot{x}_m) &= F_h - F_m(a) \\ M_s(\ddot{x}_s) + B_s(\dot{x}_s) &= F_s - F_e(b) \end{aligned} \quad (13)$$



Şekil 5. Bağımlı robotun kontrol blok diyagramı

$$e = \dot{x}_{sc} - \dot{x}_s(a) \quad (14)$$

$$F_s = K_p \int e + K_v e(b)$$

Hesaplanmış tork kontrol yöntemi (CTC), robotların kontrolünde yaygın olarak kullanılan robust ve doğrusal olmayan bir denetleyicidir. Bu kontrol sistemi geri beslemeli lineerleştirmeye dayanan doğrusal olmayan geri beslemeli kontrol yasasını kullanarak sistem için gerekli tork değerlerini hesaplamaktadır[24]. 14 a nolu denklemde bağımlı robotun takip etmesi istenen konum önceden tanımlanacağı gerçeğinden yola çıkarak takip hatası yukarıdaki

denklemden \dot{x}_{sc} istenen eklem yörüngesi ifade etmekte \dot{x}_s ise gerçek yörünge göstermektedir. Şekil 5'te bağımlı robotun PI denetleyicisine ek olarak geri besleme doğrusallaştırma teriminden oluşan hesaplanmış tork denetleyicisinden (CTC) oluşan kontrol blok diyagramı gösterilmiştir. Dalga değişken (wave variable) metodunu çok serbestlik dereceli sistemlere uygulamak için Niemeyer ve Slotine [28] empedans karakteristiği olan b'yi simetrik ve pozitif tanımlı matris olarak tanımlamaktadır.

$$u_m(t) = A_w \dot{x}_{md}(t) + B_w \tau_m(t) \quad (15)$$

$$v_m(t) = C_w \dot{x}_{md}(t) - D_w \tau_m(t) \quad (16)$$

$$u_s(t) = A_w \dot{x}_{sd}(t) + B_w \tau_s(t) \quad (17)$$

$$v_s(t) = C_w \dot{x}_{sd}(t) - D_w \tau_s(t) \quad (18)$$

A_w , B_w , C_w ve D_w dalga değişken matrisleri göstermekte, $n \times n$ dalga değişken ölçekleme matrisleri göstermekte ayrıca n ise teleoperasyon sisteminin serbestlik derecesine göre seçilmektedir. Bu çalışma da sistemimiz 3 serbestlik dereceli olduğundan $n=3$ seçilmiştir. Ölçeklendirme matrisleri sistemin pasifliğini garanti altına almak için aşağıdaki gereksinimleri sağlamalıdır.

$$C_w^T C_w = A_w^T A_w, (a) \quad (19)$$

$$D_w^T D_w = B_w^T B_w, (b)$$

$$I = A_w^T B_w + C_w^T D_w, (c)$$

Ölçeklendirme matrisleri $A_w=B_w=C_w=D_w$ ve $I=2A_w^T B_w$ 'dir. Munir ve Book [25] A_w 'nin simetrik olduğu ancak pozitif tanımlı olduğu için tanımlanmıştır.

Sistemin kararlılığı scattering matrisi normu kullanılarak $B_w = \frac{1}{2} A_w^{-1} = \frac{1}{2} A_w^{-T}$ ($A_w^{-T} : A_w$ matrisinin tersinin transpozudur) sağlanmıştır. Ölçeklendirme matrisleri B empedans matrisi cinsinden aşağıdaki gibi elde edildi.

$$A_w = C_w = \sqrt{\frac{B}{2}}, B_w = D_w = \sqrt{\frac{B}{2}} \quad (20)$$

Alise ve arkadaşları [26] ,Munir ve Book [27] tarafından verilen ölçeklendirme matrislerini genişletmişlerdir ve A_w , B_w , C_w ve D_w için gerekli ve yeterli şartları aşağıdaki gibi özetlemiştir.

- 1) Ölçeklendirme matrisi A_w tekil olmayan;
- 2) $B_w = \frac{1}{2}(I + S_w)A_w^{-T}$ (S_w herhangi bir simetrik matristir)
- 3) $C_w = QA_w$ (Q ortogonal simetrik matristir.)
- 4) $D_w = \frac{1}{2}Q(I - S_w)A_w^{-T}$

Yukarıdaki dört koşulun sağlanması için ölçeklendirme matrislerini tanımlayarak, Chopra ve ark. [29] tanımlanan ölçeklendirme matrislerinin standart çok-serbestlik dereceli sistemlerde dalga tabanlı sistemin pasifliğini sağlam bir şekilde garanti edebildiğini kanıtlamıştır.

$$u_s(t) = u_m(t - T_1(t)) \quad (21)$$

$$v_m(t) = v_s(t - T_2(t)) \quad (22)$$

T_1 ve T_2 sırasıyla ana ve bağımlı robotların, ileri ve geri yol zamanla değişen zaman gecikmesidir (11). Zamanla değişen gecikme sıklığı sınırlı olduğu varsayılır; İletişim hattında depolanan toplam enerji 24 nolu denklem ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{dT_i}{d\tau} < 1; i = 1, 2 \quad (23)$$

$$E = \frac{1}{2} \left[\int_{t-T_1(t)}^t u_m^T(\tau) u_m(\tau) d\tau + \int_{t-T_2(t)}^t v_s^T(\tau) v_s(\tau) d\tau - \int_0^{t-T_1(t)} \frac{T_1'(\sigma)}{1-T_1'(\sigma)} u_m^T(\sigma) u_m(\sigma) d\sigma - \int_0^{t-T_2(t)} \frac{T_2'(\sigma)}{1-T_2'(\sigma)} v_s^T(\sigma) v_s(\sigma) d\sigma \right] \quad (24)$$

$$\sigma = \tau - T_i(\tau) = g_i(\tau) \text{ ve } T_i(\sigma) = \frac{dT_i}{d\tau} \Big|_{\tau=g_i^{-1}(\sigma)} \quad (25)$$

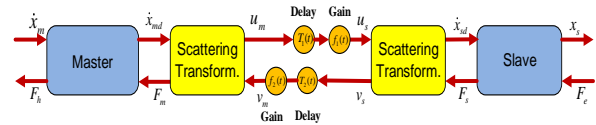
Denklem 25'te, değişken zaman gecikmeli teleoperasyon sisteminin pasiflik özelliğinin garanti olmadığını göstermektedir [32].

3.1. Modifiye edilmiş dalga değişken yöntemi

Şekil 6'da gösterilen blok diyagram, değişken zaman gecikmeli adaptif kazanç parametresi eklenmiş dalga değişkenli yöntem için [30] 'de tanımlanan modifikasyonu göstermektedir.

$$u_s(t) = f_1(t) u_m(t - T_1(t)) \quad (27)$$

$$v_m(t) = f_2(t) v_s(t - T_2(t)) \quad (28)$$



Şekil 6. Zaman gecikmesi kazanç parametresi $f_i(t)$ eklenmiş iletişim kanalı [30-31]

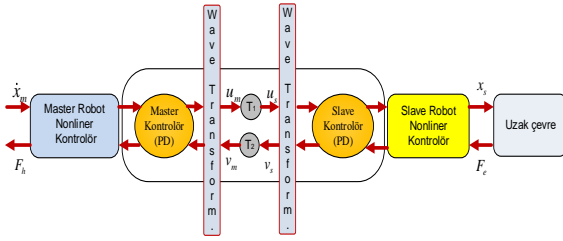
Depolanan toplam enerji yeni denklemler kullanılarak yeniden yazıldığında;

$$E = \frac{1}{2} \left[\int_{t-T_1(t)}^t u_m^T(\tau) u_m(\tau) d\tau + \int_{t-T_2(t)}^t v_s^T(\tau) v_s(\tau) d\tau - \int_0^{t-T_1(t)} \frac{1-T_1'(\sigma) - f_1^2}{1-T_1'(\sigma)} u_m^T(\sigma) u_m(\sigma) d\sigma - \int_0^{t-T_2(t)} \frac{1-T_2'(\sigma) - f_2^2}{1-T_2'(\sigma)} v_s^T(\sigma) v_s(\sigma) d\sigma \right] \quad (29)$$

f_i Denklem 29'da gösterilen toplam depolanmış enerji denklemi içerisinde $f_i^2 = 1 - T_i'$ şeklinde alınır, denklem 25 'de gösterilen terimler ortadan kalkar ve sistem pasif olarak elde edilir. Aşağıdaki f_i için koşul sağlanırsa sistem pasif olarak kabul edilir.

$$f_i^2 < 1 - \frac{dT_i}{dt}; i = 1, 2 \quad (30)$$

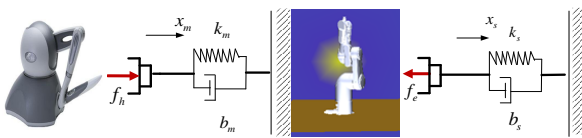
Değişken zaman gecikmelerine karşı kendini adapte eden bu kazanç parametresi[32], adaptif kazanç parametresi diye adlandırılır. Dede ve Tosunoğlu modifiye dalga değişken konusunda birtakım çalışmalar yapmıştır[33-35]. Şekil 7'de Ana ve Bağımlı robottan oluşan kontrol blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 7. Ana ve Bağımlı robottan oluşan kontrol blok diyagramı

4. Deneysel çalışmalar

Bu çalışmada Phantom Omni [19] haptik robot kullanılmıştır. PHANTOM Omni elektromekanik haptik cihaz 6 serbestlik dereceli olup birçok uygulama alanında kullanılmaktadır. MATLAB Real-Time Workshop™ Toolbox ile kullanılan bir Quanser Q8 USB veri toplama yönetim kurulu ve WinCon™ / RTXTM gerçek zamanlı kontrol sistemi kullanılmıştır. Deneysel çalışmaların süresi 10 saniye seçilmiştir. Öncelikle robotun kurulumu gerçekleştirildi ve daha sonra data toplama kartı bir araya getirildi. Gerekli bağlantılar gerçekleştirildikten sonra ana robot ile referans konum üretilirken sanal bağımlı robot bu konumu takip etmeye çalışmaktadır. Ana robot tarafından oluşturulan konum sanal bağımlı robotun dinamiği üzerinden bağımlı robot kontrol edildi. Şekil 8 'de ana ve bağımlı robotun çevre ile etkileşim modeli gösterilmiştir.



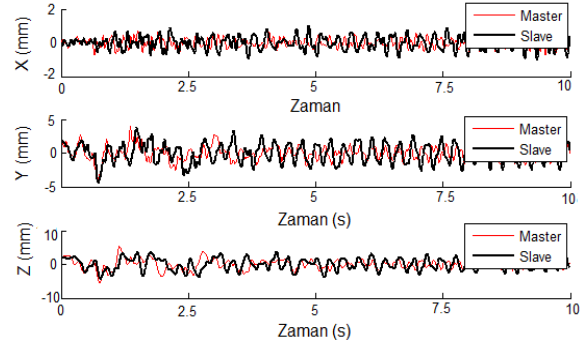
Şekil 8. Ana ve Bağımlı robotun çevre ile etkileşim modeli

$$J_m = \begin{bmatrix} -\cos\theta_1(l_2\sin\theta_3 + l_1\cos\theta_2) & l_2\sin\theta_1\sin\theta_2 & -l_2\sin\theta_1\cos\theta_3 \\ 0 & l_1\cos\theta_2 & l_2\sin\theta_3 \\ -l_2\sin\theta_1\sin\theta_3 - l_1\sin\theta_1\cos\theta_2 & l_1\sin\theta_2\cos\theta_1 & l_2\cos\theta_1\cos\theta_3 \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$J_s = \begin{bmatrix} -\sin\theta_1(l_2\cos\theta_2 - l_2\sin\theta_2\sin\theta_3) & -\cos\theta_1(l_2\cos\theta_2\cos\theta_3 + l_1\sin\theta_2) & -l_2\sin\theta_1\cos\theta_3 \\ -\sin\theta_1(l_2\cos\theta_2 - l_2\sin\theta_2\sin\theta_3) & -\sin\theta_1(l_2\cos\theta_2\cos\theta_3 + l_1\sin\theta_2) & l_2\sin\theta_2 \\ 0 & l_2\cos\theta_2 - l_1\sin\theta_1\sin\theta_3 & l_2\sin\theta_1\sin\theta_3 \end{bmatrix} \quad (32)$$

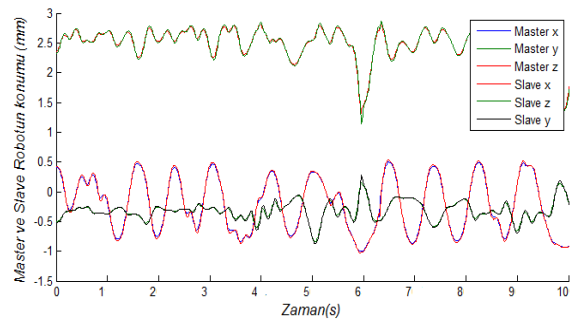
Şekil 9. Ana ve bağımlı robotun zaman gecikmesi varlığında kontrolsüz grafiği

gösterilmiştir. Ortalama 0.01-0.3 saniye aralığında değişen zaman gecikmesi olduğu görülmektedir. Denklem 31 ve 32'de ana ve bağımlı robotun jakobiyen matrisleri gösterilmiştir.



Şekil 9. Ana ve Bağımlı robotun zaman gecikmesi varlığında kontrolsüz grafiği

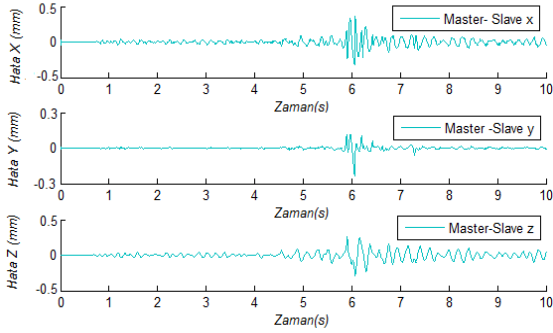
Bu çalışmada kuvvet gerçekleştirme kısmı sanal duvar ile robot arasında yay-damper sistemi tasarlanarak kuvvet geribildirimi gerçekleştirildi. Robotlar ile farklı yörüngelerde teleoperasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 10'da ana ve Bağımlı robotun zaman gecikmesi modifiye edilmiş varlığında modifiye edilmiş dalga değişken yöntemi kullanılarak konum takibi gösterilmiştir. Şekil 11'de ana ve bağımlı robotun zaman gecikmesi varlığında modifiye edilmiş dalga değişken yöntemi kullanılarak elde edilen hata grafiği gösterilmiştir.



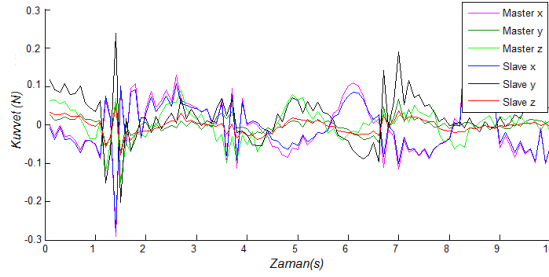
Şekil 10. Ana ve Bağımlı robotun zaman gecikmesi varlığında modifiye edilmiş dalga değişken yöntemi kullanılarak konum takibi

Şekil 12'de ana ve bağımlı robotun zaman gecikmesi varlığında modifiye edilmiş dalga değişken yöntemi kullanılarak elde edilen kuvvet grafiği gösterilmiştir. Şekil 13'de ana ve bağımlı robotun zaman gecikmesi varlığında modifiye

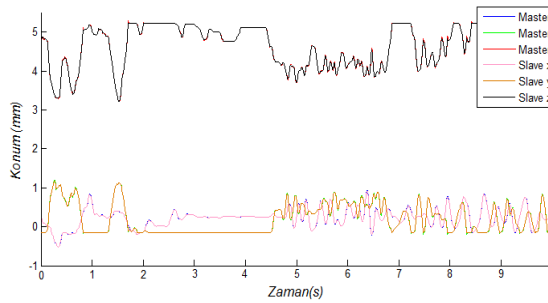
edilmiş dalga değişken yöntemi kullanılarak konum takibi grafiği gösterilmiştir.



Şekil 11. Ana ve Bağımlı robotun zaman gecikmesi varlığında modifiye edilmiş dalga değişken yöntemi kullanılarak hata grafiği



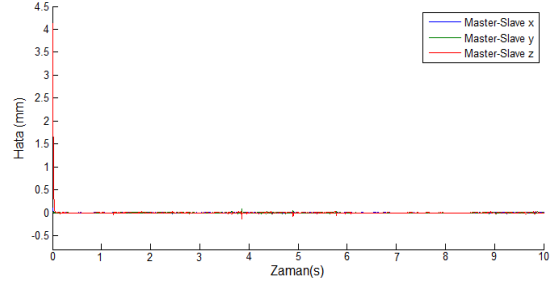
Şekil 12. Ana ve Bağımlı robotun zaman gecikmesi varlığında modifiye edilmiş dalga değişken yöntemi kullanılarak kuvvet takibi grafiği



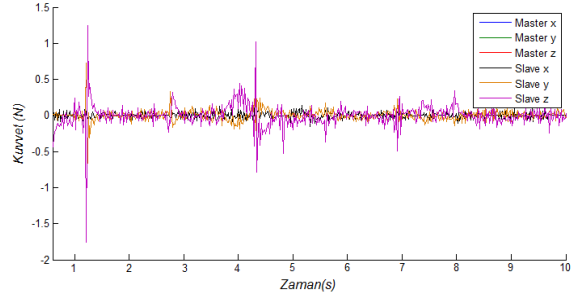
Şekil 13. Ana ve Bağımlı robotun zaman gecikmesi varlığında modifiye edilmiş dalga değişken yöntemi kullanılarak konum takibi grafiği

Şekil 14'te ana ve bağımlı robotun zaman gecikmesi varlığında modifiye edilmiş dalga değişken yöntemi kullanılarak elde edilen hata grafiği gösterilmiştir. Şekil 15'de ana ve bağımlı robotun zaman gecikmesi varlığında modifiye edilmiş dalga değişken yöntemi kullanılarak elde edilen kuvvet grafiği gösterilmiştir. Şekil 12 ve Şekil 15'de verilen kuvvet grafiklerinde bağımlı

robotun etkileşimi sonucu elde edilen kuvvetin master tarafına iletiminde zaman gecikmesinin telafisinin büyük ölçüde giderildiği görülmüştür.



Şekil 14. Ana ve Bağımlı robotun zaman gecikmesi varlığında modifiye edilmiş dalga değişken yöntemi kullanılarak hata grafiği



Şekil 15. Ana ve Bağımlı robotun zaman gecikmesi varlığında modifiye edilmiş dalga değişken yöntemi kullanılarak kuvvet takibi grafiği

Şekil 10 ve 13 'de konum grafiklerinde ana robot tarafından verilen konumunu bağımlı robot tarafından takip edildiği görülmüş olup Şekil 11 ve 14 'de elde edilen hata grafikleri konum takibinin başarılı olduğunu göstermektedir. Hata oranının sıfıra yakın seyrettiği grafiklerde görülmüştür.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada iki yönlü teleoperasyon çalışmalarında zaman gecikmesi problemini gidermek amacıyla dalga değişken(wave variables) metodu kullanılmıştır. Bu yöntem klasik dalga değişken yönteminden farklı olarak, sisteme adaptif kazanç parametresi eklenmiş yöntem kullanılmıştır. Ayrıca konum kontrolünde PI denetleyicisine ek olarak hesaplanmış tork kontrol (CTC) yöntemi kullanılmıştır. Phantom Omni haptik robot ile sanal 6-serbestlik dereceli robot arasında iki

yönlü iki kanallı teleoperasyon çalışması yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda gerçek ana robot–sanal robot teleoperasyon ile referans konum ve kuvvet değerleri büyük ölçüde takip ettiği grafiklerde gösterilmiştir. Uygulanan kontrol algoritmalarının sistem üzerinde başarılı olduğu görülmüştür. Sonuç olarak hedeflenen iki yönlü iki kanallı teleoperasyon çalışmalarında zaman gecikmesi problemi, kullanılan yöntem ile kompanze edilmiş, sanal ortam oluşturulmuş ve teleoperasyon ile iki yönlü hareket kontrolü gerçekleştirilerek sistemin gerçek ortamda ki uygulamaları yapılmıştır. Gelecek çalışmalarda ise robot parametreleri optimize edilerek ve farklı kontrol yöntemleri ile performans karşılaştırmaları yapılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) 2015, MF.13.15 'nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

6. Kaynaklar

1. <https://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/1003-it-rome-2017-1.pdf>
2. Vertut, J., Coiffent, P.:(1985) Teleoperation and Robotics. Evolution and Development. Kopan Page. London.
3. Desbats P, Geffard F, Piolain G and Coudray A (2006). Force-feedback teleoperation of an industrial robot in a nuclear spent fuel reprocessing plant. *Industrial Robot: An Int Jnl*, Vol 33, No 3, pp 178 - 186 ISSN: 0143-991X.
4. Gang Song and Shuxiang Guo. (2006) Development of a novel tele-rehabilitation system. *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, pages 785 - 789, December .
5. Abut, T., & Soygüder, S. (2015) Motion control in virtual reality based teleoperation system. *In Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 16- 19 May 23th (pp. 2682-2685). IEEE.*
6. M.C. Cavusoglu,(2000) “Telesurgery and Surgical Simulation: Design Modeling, and Evaluation of Haptic Interfaces to Real and Virtual Surgical Environments,” Ph.D. Dissertation, UC at Berkeley, Berkeley, California.

7. Tayfun Abut, Servet Soygüder, (2017) "Real-time control of bilateral teleoperation system with adaptive computed torque method", *Industrial Robot: An International Journal*, Vol. 44 Issue: 3, pp.299-311, doi: 10.1108/IR-09-2016-0245
8. Kyihwan Park, Byunghoon Bae, Taeoh Koo,(2004) “A haptic device for PC video game application”, *Mechatronics*, Cilt 14, Sayı 2, Mart , 227-235
9. Hokayem, P. F., Spong, M. W., (2006) , Bilateral Teleoperation: An Historical Survey, *Automatica*, 42, pp: 2035-2057.
10. Sheridan, T. B., Ferrell, W. R., (1963), Remote Manipulative Control with Transmission Delay, *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics*, 4, 25-29
11. Anderson, R. J., Spong, M. W., (1988), Bilateral Control of Teleoperators with Time Delay, *IEEE Conference on Decision and Control*, pp: 167-173.
12. Anderson, R. J., Spong, M. W., (1989a), Asymptotic Stability for Force Reflecting Teleoperators with Time Delay, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp: 1618-1625.
13. Anderson, R. J., Spong, M. W., (1989b), Bilateral Control of Teleoperators with Time Delay, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 34, 5, 494-501.
14. Niemeyer, G., Slotine, J. J. E., (1991a), Stable Adaptive Teleoperation, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 16, 1, 152-162.
15. Niemeyer, G., Slotine, J. J. E., (1997a) , Using Wave Variables for System Analysis and Robot Control, *Int. Conf. Robotics and Automation*, Albuquerque, NM, 1619–1625.
16. Niemeyer, G., Slotine, J. J. E., (1991b), Transient Shaping in Force Reflecting Teleoperation, *IEEE International Conference on Advanced Robotics*, pp: 261-266.
17. Lozano, R., Chopra, N., Spong, M., (2002), Passivation of Force Reflecting Bilateral Teleoperators with Time Varying Delay, *Mechatronics 02*, Entschede, The Netherlands, (2002), pp: 24-29.
18. Chopra, N., Spong, S., Hirche, S., Buss, M., (2003), Bilateral Teleoperation Over the Internet: The Time Varying Delay Problem, *The American Control Conference*, pp: 155-160.
19. Unel M., Sabanovic A. (2010) Zamansal Gecikme Telafili İki Yönlü Kontrol Sistemleri (Bilateral Control Systems with Time Delay Compensation) 106M533-TUBİTAK-NSF .
20. Hazewinkel, M. (Ed.) (2001), “Lagrange equations (in mechanics)”, *Encyclopedia of Mathematics*, Springer, ISBN 978-1-55608-010-4.

21. Abut, Tayfun, Servet Soygüder, and Hasan Alli. (2014)"Altı Serbestlik Dereceli Haptik Robotun Performans Analizi." Otomatik Türk Milli Komitesi (TOK) *Ulusal Toplantısı Kocaeli Üniversitesi 11-13 Eylül, Kocaeli*. DOI: 10.13140/RG.2.1.1254.1284
22. Abut, T.,Soyguder, S. ve Alli, H., (2015) Gerçek Zamanlı Altı Serbestlik Dereceli Haptik Bir Robot İle Sanal Robotun Teleoperasyonu , *Uluslararası katımlı 17. Makina Teorisi Sempozyumu / TrC-IFTToMM Symposium on Theory of Machines and Mechanisms / UMTS2015 / TrISToMM , 14-17 / 06 / 2015 İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi - Haziran, İZMİR*.
23. Abut T., (2015), Altı Serbestlik Dereceli Haptik Robot ile Teleoperasyon ve Sistem Dinamiği, Yüksek lisan Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
24. D.N.Tuong, M.Seeger, J.Peters (2004)'Computed Torque Control with Nonparametric Regression Models' Proceedings of the 2008 American Control Conference (ACC) .
25. Munir, S., & Book, W. J. (2001), Wave-based teleoperation with prediction Proceedings of the American control conference, 2001 (Vol. 6, pp. 4605–4611) IEEE.
26. Alise, M., Roberts, R. G., Repperger, D. W., Moore, C. A., & Tosunoglu, S. (2009). On extending the wave variable method to multiple-DOF teleoperation systems. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 14(1), 55–63.
27. Munir, S., & Book, W. J. (2002). Internet-based teleoperation using wave variables with prediction. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 7(2), 124–133.
28. Niemeyer, G., & Slotine, J. J. (1997). Designing force reflecting teleoperators with large time delays to appear as virtual tools. *Proceedings of the IEEE international conference on robotics and automation*, 1997 (Vol. 3, pp. 2212–2218). IEEE.
29. Chopra, N., Spong, M. W., Ortega, R., & Barabanov, N. E. (2006). On tracking performance in bilateral teleoperation. *IEEE Transactions on Robotics*, 22(4),861–866.
30. N. Chopra, M.W. Spong, S. Hirche, and M. Buss, (2003)"Bilateral Teleoperation over the Internet: the Time Varying Delay Problem," *Proceedings of the American Control Conference*, vol. 1, pp. 155-160.
31. LOZANO, Regelio; CHOPRA, Nikhil; SPONG, Mark W. (2002)Passivation of force reflecting bilateral teleoperators with time varying delay. In: *Proceedings of the 8. Mechatronics Forum*. p. 954-962.
32. Soyguder, S. and Abut, T. (2016), "Haptic industrial robot control with variable time", *Industrial Robot: AnInternational Journal*, Vol. 43 No. 4, pp. 390-402.
33. Dede, M. I. C., Tosunoglu, S., and Repperger, D.,(2004) "A Study on Multiple Degree-of-Freedom Force Reflecting Teleoperation with Constant and Variable Time Delays," In *ASME Southeastern Region XI Technical Journal*, Volume 4, April .
34. M.I.C. Dede, and S. Tosunoglu, (2006)"Development of a Real-Time Force-Reflecting Teleoperation System Based on Matlab© Simulations," in *Proceedings of the 19th Florida Conference on Recent Advances in Robotics*, Miami, Florida, May 25-26.
35. Dede, M. I. C., and Tosunoglu, S.,(2007) "Control of Teleoperation Systems Experiencing Communication Losses," *International Journal of Advanced Robotic Systems*.

SLEGS Robot 'un Tasarımı ve 2B-Navigasyon Uygulaması

Servet Soygüder

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ
ssoyguder@firat.edu.tr

(Geliş/Received:13.09.2017; Kabul/Accepted: 18.12.2017)

Özet

Yapılan bu çalışmada, endüstride, terörlü mücadelede, savunmada ve birçok endüstriyel işlevlerde kullanılmak amacıyla arazi ve engel şartlarına göre geleneksel tekerlek şeklindeki "O" şekline "S" şekline dönüşebilen 6 adet bacadan oluşan "SLEGS" isimli örümcek robot için yeni bir bacak tasarımı-imalatı ve kontrolü gerçekleştirilmiştir. Bilinmelidir ki paletli ya da tekerlekli robotların merdivenleri tırmanmaları imkânsızdır. Bu tasarım tamamen geleneksel tekerlekli ve paletli robotlardaki bu problemleri aşmak ve performansı arttırmak içindir. Ayrıca SLEGS Robot bir operatör yardımı olmadan kendi iç yazılım ve hareket performansı sayesinde lazer sensörleri kullanılarak oluşturulan görsel ara yüz ve iki boyutlu(2B) navigasyon ile istenilen noktaya gidebilmektedir. SLEGS robota ait performans kriterleri elde edilen videolar ve gerçek zamanlı 2B navigasyonun görsel ara yüzünden elde edilerek değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: SLEGS Robot, Sanal Ara Yüzey, 2B Navigasyon, Robot Kontrol

Design and 2D-Navigation Application of SLEGS Robot

Abstract

In this work was carried out a new leg design-manufacturing and control for "SLEGS" named spider robot consisting of 6 legs of "S" shape which can be transformed into "O" shape as traditional wheel according to land and obstacle conditions in order to be used in industry, terrorism fighting, defense and many industrial functions. It is important to know that it is not possible for climbing stairs of tracked or wheeled robots. This design is intended to overcome these problems and improve performance in completely traditional wheeled and tracked robots. In addition, SLEGS Robot can go to the desired spot with visual interface and two-dimensional (2D) navigation created using laser sensors thanks to its internal software and motion performance without the help of an operator. SLEGS robot performance criteria were evaluated from the visuals obtained and the visual interface of real-time 2D navigation.

Keywords: SLEGS Robot, Virtual Interface, 2B Navigation, Robot Control

1. Giriş

Son yıllarda bacaklı ve tekerlekli robotlar ile ilgili birçok çalışmalar yapılmıştır[1-12] Bazı çalışmalar ise tamamen tekerlekli robotlar ile ilgilidir [13-16]. Fakat zamanla ve yapılan işlerin performanslarının incelenmesi ile tekerlekli robotların birçok dezavantajları görülmüştür. Bu dezavantajların en önemlilerinden birisi tekerlekli robotların merdivenleri tırmanması ya da çıkmasının imkânsız olmasıdır. Bu da robotun performansına oldukça etki etmektedir. Aynı şekilde bu dezavantaj paletli robotlar için de geçerlidir. Ayrıca engebeli arazilerde ya da ormanlık alanlarda tekerlekli ve paletli robotların hareketleri oldukça sınırlıdır. Artık

son yıllarda yapılan robot tasarım çalışmalarında bilim adamları doğada bulunan canlıları örnek alarak işleri gerçekleştirmektedirler. Bu da doğada bulunan canlıların performanslarının ve mekanizma yapılarının en iyi seviyede olduğunu göstermektedir. Örneğin hemen hemen tüm iki ve dört ayaklı canlılar nesnelere ve engellerin üzerinden zıplayarak çok kolay bir şekilde bu işi başarabilmektedirler. Aynı şekilde yapılan bu bacaklı robotlar yukarıda bahsedilen dezavantajı ortadan kaldırmak için doğada bulunan canlılardan esinlenerek tasarlanmaya başlandılar. Bu şekilde eğer bacaklı robotları, tekerlekli ve paletli robotlarla kıyaslayacak olursak daha hızlı,

engelleri rahatlıkla aşabilen, tırmanabilen ve daha fazla hareket performansına sahiptirler. Bu yüzden literatürde bu robotlar arasındaki avantaj ve dezavantajların tartışıldığı birçok çalışmalar mevcuttur. Talebi ve arkadaşları 4-bacaklı quadruped bir robot tasarladılar ve imal ettiler [17]. RHEX altı bacaklı olan bu robotlardan bir tanesidir [18-19]. Soygüder ve arkadaşları sıçrayabilen, koşabilen ve takla atabilen dört bacaklı ve altı bacaklı bir robotun kinematik ve dinamik analizlerini gerçekleştirdiler[5-6-21-23]. Ayrıca McMordie bir nesne üzerinden zıplayarak aşabilen altı bacaklı hexapod bir robot tasarladılar [20]. Campbell and Buehler altı bacaklı zıplayan dinamik bir robot tasarlayıp imal ettiler [19]. Poulakakis ve arkadaşları Scout II robot adında sıçrayabilen dört bacaklı bir robot tasarlayıp imal ettiler [1]. Ho ve arkadaşları piezoelektrik tahrikli dört bacaklı bir robot tasarladılar [11].

Robotların son günlerde yaşamın her alanında faaliyet göstermeleri sonucu, robotlar ve işlevleri hakkında birçok farklı tasarımlar ortaya çıkmıştır. Örümcek bacak şekillerinden esinlenilerek ortaya konulan SLEGS robotu da bunlardan birisidir. Bu çalışmada SLEGS Robot 'un bacak mekanizması (Şekil 1.), iki serbestlik derecesine sahip olup belirli bir faz gecikmesiyle her bacağın yer temas yüzeyinde iki defa doğrusal moment kolu oluşturmasına sebep olmaktadır. Tekerlerde oluşan moment kolu sayesinde robotlarda istemsiz dönüş hareketleri önlenerek, yüksek bir performansla yürüme işlemi gerçekleşmektedir. Ayrıca bacaklarda moment kolunun oluşması ile robotun, tırmanma, yürüme, merdivenleri çıkabilme ve engebeli arazi şartlarına kolaylıkla hareket edebilmesini sağlamıştır. SLEGS Robot 'un bacak mekanizması son derece kapsamlı araştırmalar sonucu ortaya çıkmış yeni nesil bir yapıya sahip bir ARGE projesidir. Dünya genelinde yapılan literatür araştırmalarında bu tür bir bacağına rastlanılmamış olup patent çalışması yürütülmektedir. SLEGS robottaki özel bacaklar çeşitli çalışma alanlarına uyarlanabilecek niteliktedir. Kullanım alanı olarak geniş bir yer tutan 'S' bacaklar, çeşitli robotik çalışmalarda (SLEGS Robot), savunma sanayinde (Bomba İmha Robotu), medikal

çalışmalarda (Tekerlekli Sandalye) kullanılabilen özgün nitelikte bir üründür.



a



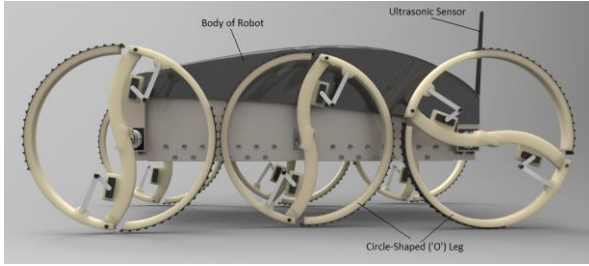
b

Şekil 1. SLEGS robotun bacaklarının “S” ve “O” şeklindeki resimleri [22]

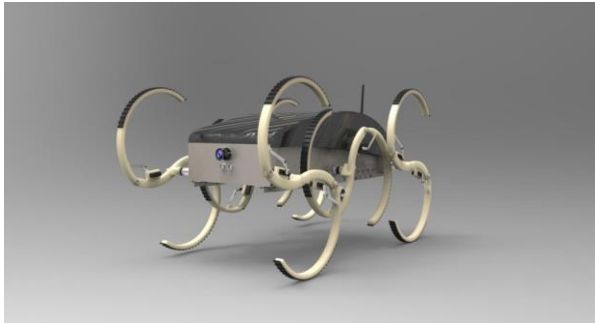
2. SLEGS Robotun Teknik Özellikleri

SLEGS Robot altı bacağına sahiptir. Her bir bacak şekil değiştirme özelliğine sahiptir. Bu iki şekil “S” ve “O” harfleri ile temsil edilmektedir. Şekil 1’ de görüldüğü gibi robot yol durumuna bağlı olarak bacaklarını iki farklı şekle dönüştürebilmektedir. Bilindiği gibi bacakların “O” şeklinde olması zaten geleneksel tekerlekli robotların özelliğidir ki birçok dezavantajlara sahiptir. Düz ve pürüzsüz yollar hariç merdiven tırmanma ve zıplama gibi birçok hareketleri yapamamaktadır. Buda robotların performansını negatif yönde etkilemektedir. Oysaki bacak şeklini “S” şeklinde kullandığımız zaman bahsedilen bu dezavantajlar ortadan kalmaktadır. “S” şeklindeki bacaklar iki serbestlik derecesine sahip olup belirli bir faz gecikmesiyle her bacağın yer temas yüzeyinde iki defa doğrusal moment kolu oluşturmasına sebep olmaktadır. Tekerlerde oluşan moment kolu sayesinde

robotlarda istemsiz dönüş hareketleri önlenerek, yüksek bir performansla yürüme işlemi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca bacaklarda moment kolunun oluşması ile robotun, tırmanma, yürüme, merdivenleri çıkabilme ve engebeli arazi şartlarına kolaylıkla hareket edebilmesini sağlamıştır (Şekil.2).



a



b

Şekil 2. SLEGS robotun bacaklarının “S” ve “O” şeklindeki resimleri [22]

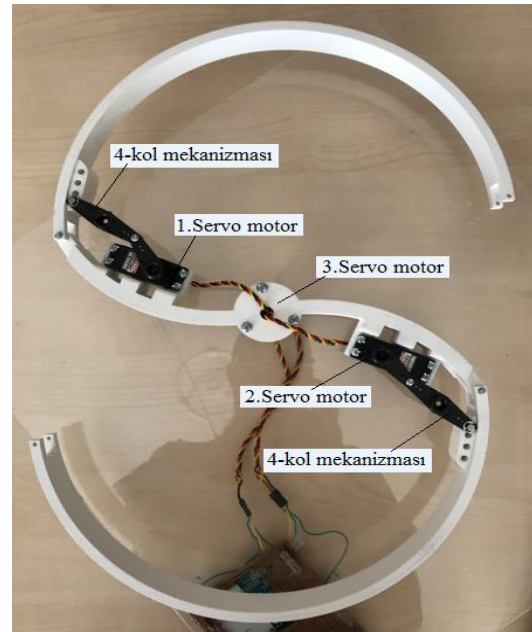
3. SLEGS Robot Bacaklarının Tasarım ve İmalatı

SLEGS Robot bacakları iki farklı şekle sahiptir. Bu şekiller yol durumuna bağlı olarak otomatik olarak değişirler. Eğer yol düzgün ve pürüzsüz ise bacaklar “O” şeklinde olur iken, yol engebeli ve merdiven şeklinde ise bacaklar “S” şeklini alırlar. Bu yüzden SLEGS Robotun her bir bacağı 3 serbestlik dereceli (3-dof) bir mekanizmaya sahiptirler. Yani her bir bacak 3 adet Servo motor ile tahrik edilmektedirler (Şekil 2.). Aynı zamanda her bir bacakta iki adet 4-kol mekanizması vardır. Bu 4-kol mekanizmaları bacakların şekil değiştirmesi için kullanılmaktadır. Yani bacak “S” şeklinden “O” şekline dönerken ya da “O” şeklinden “S” şekline dönme işlemlerini bu mekanizmalarla sağlamaktadır. Her bir 4-kol mekanizması bir adet Servo motor ile tahrik edilmektedir. Üçüncü Servo motor ise bacağın dönme hareketini

gerçekleştirmektedir (Şekil.4). Sonuç olarak 6-bacaklı SLEGS Robot toplam olarak 18 Servo motor ile tahrik edilmekte olup 18-serbestlik dereceli (18-dof) bir mekanizmadan oluşmaktadır.



Şekil 3. SLEGS robotun bacağının “O” şeklindeki resmi



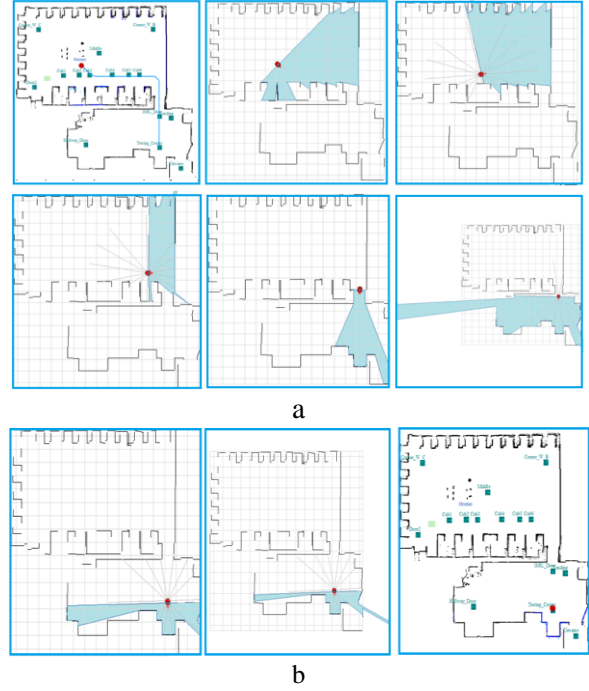
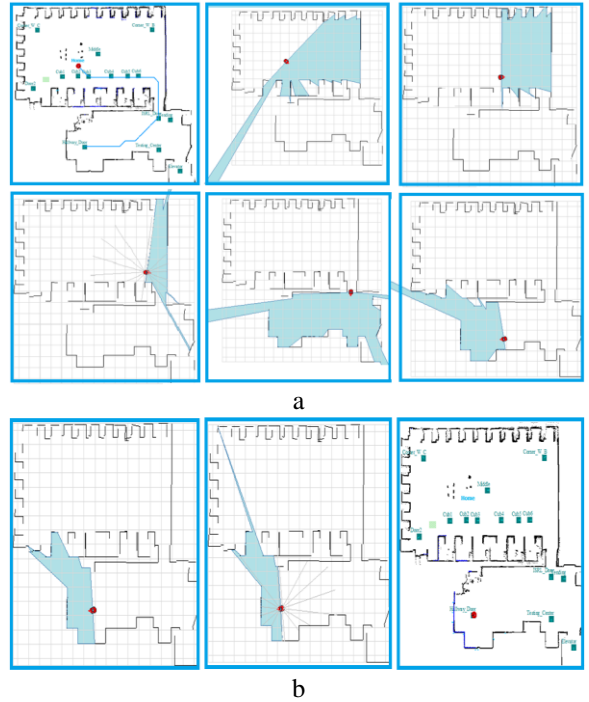
Şekil 4. SLEGS robotun bacağının “S” şeklindeki resmi

Tablo 1. SLEGS Robot için kullanılan teknik malzemeler

Tür	Adet	Tanımlama
Arduino Mega 2560	1	Kontrol İşlemcisi
Servo motorlar	18	Servomotor
Encoder	18	Pozisyon Denetleyici
Servo Motor Sürücüsü	18	Motor Sürücüsü
Güç Birimi	1	0~5 Volt Güç Kaynağı
Batarya	1	12 volt pil
Sensör	1	Laser Digital Watch
Sensör	1	Photocell
Sensör	1	Kamera
Dört-kol Mekanizması	12	Açısal Konum

4. SLEGS Robotun 2b-Navigasyon Tasarımı

2B-Navigasyon ara görsel yazılım ve tasarımı iç ortamlar (indoor) için gerçekleştirilmiştir. Kullanılan alan Tennessee State Üniversitesine ait Robotik Laboratuvarına aittir[24]. 2B-Navigasyonun görsel ara yüzeyini oluştururken ilk önce SLEGS Robotuna kullanılacak olan laboratuvarın tamamı lazer sensörleri ile robota öğretilerek çalışma alanının iki boyutlu (2B) haritası çıkarılmıştır. Bu görsel ara yüzey robotu kontrol etmek için kullandığımız 2B Navigasyonumuzu oluşturmaktadır. Kullanıcı bu görsel ara yüzey üzerinde istediği noktayı seçerek robotu oraya koşturabilmektedir. Aynı zamanda gerçek zamanlı olarak robotun seçilen en optimum yol takibini buradan görsel olarak kolayca takip edebilmekteyiz. Robot öğretilen alan içerisinde oldukça başarılı performanslar göstermektedir (Şekil 5-6). Eğer robota öğretilen harita dışında bir noktaya gitmesini istiyorsak bu robot için olumsuz bir durumdur. Robot tamamen öğretilen çalışma alanı içerisinde işlev yapabilmektedir.

**Şekil 5.** SLEGS robotun navigasyon takibi**Şekil 6.** SLEGS robotun navigasyon takibi

5. Sonuçlar

Bu çalışmada SLEGS Robotun bacak mekanizmalarının tasarımı ve iç ortamda görsel ara yüzey olarak iki boyutlu (2B) navigasyon tasarımı gerçekleştirilmiştir. Robotun her bir bacağı şekil değiştirme özelliğine sahiptir. Bacaklar yol durumuna bağlı olarak otomatik olarak farklı şekil almaktadırlar. Eğer yol düzgün ve pürüzsüz ise bacakların şekli geleneksel tekerlekli robotlar gibi “O” şeklindedir. Eğer yol engebeli ya da önünde bir nesne varsa yada robot bir merdiveni tırmanacaksa robot bacakları “S” şeklinde olup bu engelleri rahatlıkla tırmanarak, zıplayarak yada koşarak geçmektedir. “S” şeklinde ki bacaklarda oluşan moment kolları sayesinde bu hareketleri rahatlıkla yapabilirken “O” şeklinde oldukları zaman moment kollarının oluşmaması nedeniyle oluşan kayma (spin) hareketinden dolayı yukarıda bahsedilen hareketleri yapamamaktadır. Bu da robotun performansını düşürmektedir. Bacakların şekil değiştirme (flexible) özelliğinden dolayı geleneksel tekerlekli robotlara ve paletli robotlara göre performansının daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca robota iç ortamda (indoor) iki boyutlu 2B-Navigasyonun görsel ara yüzeyi oluşturulmuştur. Bu tasarlanan 2B-Navigasyonunu ile robotu bilgisayar ekranı üzerinden ya da bir kablosuz monitör üzerinden kontrol edebilme özelliğine sahibiz. Kullanıcı bu görsel ara yüzey üzerinde istediği noktayı seçerek robotu oraya koşturabilmektedir. Aynı zamanda gerçek zamanlı olarak robotun seçilen en optimum yol takibini buradan görsel olarak kolayca takip edebilmekteyiz.

6. Kaynaklar

1. Poulakakis, I., Smith, J.A. and Buehler, M. (2005). Modeling and experiments of untethered quadrupedal running with a bounding gait: the Scout II robot. *The International Journal of Robotics Research*, 24(4), 239-256.
2. Erden, M.S. and Leblebicioglu, K. (2008). Free gait generation with reinforcement learning for a six-legged robot. *Robotics and Autonomous Systems*, 56(3), 199-212.
3. Soyguder, S. and Alli, H. (2007). Design and prototype of a six-legged walking insect robot.

Industrial Robot – An International Journal, 34(5), 412-422.

4. Soyguder, S. and Alli, H. (2011). Motion mechanism concept and morphology of a single actuator tetrapod walking spider robot: the ROBOTURK SA-2 Robot. *Industrial Robot – An International Journal*, 38(4), 361-371.

5. Soyguder, S. and Alli, H. (2012a). Kinematic and dynamic analysis of a hexapod walking–running–bounding gaits robot and control actions. *Computers and Electrical Engineering*, 38(2), 444-458.

6. Soyguder, S. and Alli, H. (2012b). Computer simulation and dynamic modeling of a quadrupedal pronking gait robot with SLIP model. *Computers and Electrical Engineering*, 38(1), 161-174.

7. Erden, M.S. and Leblebicioglu, K. (2006). “Multi legged walking in robotics and dynamic gait pattern generation for a six-legged robot with reinforcement learning”. *Mobile Robots: New Research*, Nova Publishers, New York, 1111-1132.

8. Son, D., Jeon, D., Nam, W.C., Chang, D., Seo, T.W. and Kim, J. (2010). Gait planning based on kinematics for a quadruped gecko model with redundancy. *Robotics and Autonomous Systems*, 58(5), 648-656.

9. Yi, S. (2010). Reliable gait planning and control for miniaturized quadruped robot pet. *Mechatronics*, 20(4), 485-495.

10. Yang, J.M. (2008). Two-phase discontinuous gaits for quadruped walking machines with a failed leg. *Robotics and Autonomous Systems*, 56(9), 728-737.

11. Ho, T., Choi, S. and Lee, S. (2007). Development of a Biomimetic Quadruped Robot. *Journal of Bionic Engineering*, 4(4), 193-199.

12. Lin, P.C., Komsuoglu, H. and Koditschek, D.E. (2006). Sensor data fusion for body state estimation in a hexapod robot with dynamical gaits. *IEEE Transaction on Robotics*, 22(5), 932-943.

13. Patarinski, S., Brussel, H.V. and Thielemans, H. (1994). Path tracking control of wheeled mobile robots. *Control Engineering Practice*, 2(5), 893-896.

14. Saha, S.K., Angeles, J. and Darcovich, J. (1995). The design of kinematically isotropic rolling robots with omnidirectional wheels. *Mechanism and Machine Theory*, 30(8), 1127-1137.

15. Bühler, C., Hoelper, R., Hoyer, H. and Humann, W. (1995). Autonomous robot technology for advanced wheelchair and robotic aids for people with disabilities. *Robotics and Autonomous Systems*, 14, 213-222.

16. Mazo, M., Rodríguez, F.j., Lázaro, J.L., Ureña, J., García, J.C., Santiso, E. and Revenga, P.A. (1995). Electronic control of a wheelchair guided by voice commands. *Control Engineering Practice*, 3(5), 665-674.

17. Talebi, S., Buehler, M. and Papadopoulos, E. (2000). Towards dynamic step climbing for a quadruped robot with compliant legs. 3rd International Conference on Climbing and Walking Robots, Madrid, 1-8.
18. Moore, E.Z., Campbell, D., Grimmering, F. and Buehler, M. (2002). Reliable stair climbing in the simple hexapod Rhex. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Washington, 2222-2227.
19. Campbell, D. and Buehler, M. (2003). Stair descent in the simple hexapod RHex, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), San Francisco, 1380-1385.
20. McMordie, D. (2002). Towards Pronking with a Hexapod Robot. McGill University, Montreal.
21. Soyguder, S., Alli, H., Kara, S.E. and Karabulut, U. (2014a). A Nev leg prototype and control for SLEGS robot. 2014 National Meeting of Automatic Control-TOK, Kocaeli.
22. Soyguder, S., Genc, I. and Turan, M.M. (2015). Control and developed of SLEGS robot design. Undergraduate Project, Department of Mechanical Engineering, Firat University, Elazig.
23. Soyguder, S., Karabulut, U. and Apohan, M. (2014b). Developed of SLEGS Robot and Design and Manufactured Leg Mechanism. Undergraduate Project, Department of Mechanical Engineering, Firat University, Elazig.
24. Soyguder, S. (2011). Autonomous Mobile Robots and Navigation System. Post-Doctoral Research Fellowship Project, Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK).

Atık Su Yönetimi için Bütünleşik Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi

Mehrap DURSUN

Galatasaray Üniversitesi, Mühendislik ve Teknoloji Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ortaköy,
İstanbul
mdursun@gsu.edu.tr

(Geliş/Received: 15.09.2017; Kabul/Accepted: 30.01.2018)

Özet

Bu çalışmada, ikili sözel gösterim, sözel hiyerarşiler, DEMATEL ve VIKOR metotlarını kullanarak yeni bir bulanık çok ölçütlü karar verme algoritması önerilmektedir. Karar vericilerden farklı belirsizlik derecesinde elde edilen (homojen olmayan) veriler sözel hiyerarşiler ve ikili sözel gösterim yöntemleri kullanılarak birleştirilmektedir. Ölçüt ağırlıkları, ölçütler arasındaki bağımlılığı göz önüne alan DEMATEL metodu kullanılarak hesaplanmakta ve VIKOR metodu ile alternatifler sıralanmaktadır. Geliştirilen karar verme metodu, birden fazla karar vericiden elde edilen homojen olmayan verilerin veri kaybı olmadan karar verme sürecine dahil edilmesini sağlamaktadır. Önerilmiş olan karar verme metodu, İstanbul için en uygun atık su artıma alternatifinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Atık su yönetimi, DEMATEL, İkili sözel gösterim, Sözel hiyerarşiler, VIKOR.

Integrated Fuzzy Multi-criteria Decision Making Approach for Wastewater Management

Abstract

This paper develops a fuzzy multi-criteria decision making methodology that combines 2-tuple linguistic representation model, linguistic hierarchies, Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) method and VlseKriterijumska Optimizacija I Komprominso Resenje (VIKOR) method. The multigranular linguistic information obtained from decision-makers are unified and aggregated employing linguistic hierarchies and 2-tuple fuzzy linguistic representation model. The weights of the criteria are calculated employing DEMATEL method, which enables to consider inner dependencies among criteria. Then, fuzzy VIKOR method is utilized to obtain the rankings of the alternatives. The developed methodology is able to handle information in a decision-making problem with multiple information sources. Furthermore, it enables managers to deal with heterogeneous information without loss of information. The developed methodology is used to determine the most suitable wastewater treatment alternative for Istanbul, the largest city of Turkey that is also listed among the world's most crowded cities.

Keywords: Wastewater management, DEMATEL, 2-tuple fuzzy linguistic representation, Linguistic hierarchies, VIKOR

1. Giriş

Günümüzde, birçok ülke çevresel problemler yaşamakta ve gelecekte de yeni sorunlarla karşılaşmayı beklemektedir. Artılmamış atık su, kamu sağlığı ve çevre üzerinde ciddi etkilere sahiptir. Bu nedenle, atık su yönetimi, gelişmekte olan ülkelerin en önemli çevresel sorunlarından biri olarak kabul edilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, ikili sözel gösterim, sözel hiyerarşiler, DEMATEL ve VIKOR metotlarını birleştiren yeni bir bulanık çok

ölçütlü grup karar verme (ÇÖGKV) yöntemi geliştirmektir. Gerçek hayatta karşılaşılan karar verme problemleri nicel ve nitel değerlendirmeler içermektedir. Nitel verilerin değerlendirme sürecine dahil edilmesinde bulanık küme teorisinden yararlanılabilir. Sözel değişkenleri karar verme sürecine dahil etmede karşılaşılan en önemli sorun belirsizlik derecesinin belirlenmesidir. Karar vericinin kişisel deneyimlerine göre belirsizlik derecesi değişmektedir. Bu nedenle, karar verici bir düşünceyi ifade etmede daha az veya daha çok terim kullanabilir (homojen olmayan veriler).

Karar vericilerden elde edilen farklı belirsizlik derecelerine sahip homojen olmayan verilerin işlenebilmesi ve bu verilerden anlamlı bir sonuç çıkarılabilmesi için öncelikle bu verilerin aynı belirsizlik derecesine indirgenmesi gerekmektedir. Bu süreçte karşılaşılan en önemli problem veri kaybıdır. Veri kaybı elde edilen sonuçların tutarlılığını ve anlamlılığını değiştirmektedir. Önerilen yöntem, veri kaybını en aza indirgeyerek farklı belirsizlik derecelerine sahip verilerin birleştirilmesi ve işlenmesi için ikili sözel gösterim ve dilsel hiyerarşileri kullanmaktadır. Ölçütlerin önem dereceleri DEMATEL yöntemi ile hesaplanmakta ve daha sonra alternatiflerin sıralanması için bulanık VIKOR yöntemi kullanılmaktadır. Önerilen metodolojinin uygulanması, atık su arıtma alternatiflerini değerlendirebilmek için İstanbul'da yapılan bir vaka çalışmasıyla gösterilmiştir.

Bu çalışmanın katkıları şu şekilde özetlenebilir.

1. Karar vericilerin değerlendirmelerinin farklılıklarının ve benzerliklerinin ortaya koyulmasını sağlayan bir grup karar verme yaklaşımı geliştirilmiştir.
2. Bulanık küme teorisini kullanarak belirsiz verilerin sürece dahil edilmesi sağlanmıştır.
3. Ölçüt ağırlıklarını hesaplamak için ölçütler arasındaki bağımlılıkları dikkate alan DEMATEL yöntemi kullanılmıştır.
4. Literatürde var olan, bulanık sözel yaklaşımların kullanılmasıyla ortaya çıkan veri kaybı sorununu en aza indirmek için sözel hiyerarşiler ve ikili sözel gösterim yöntemleri kullanılmıştır.
5. Farklı belirsizlik derecesinde elde edilen verilerin ele alınmasına olanak verdiği için karar vericiler tarafından homojen olmayan verilerin kullanılmasına olanak sağlanmıştır.

Atık su arıtma işleminin temel amacı, insan ve endüstriyel atığın halk sağlığına ve çevreye zarar vermeden uzaklaştırılmasıdır. Sürdürülebilir kalkınmayı mümkün kılan uygun atık su arıtma tekniğinin seçilmesi, ulusal, bölgesel ve yerel politikalar açısından önem arz etmektedir [1]. Son teknolojik gelişmeler birçok atık su arıtma teknolojisinin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Atık su arıtma teknolojisi seçim problemi, birbiriyle çelişen farklı ölçütler içeren yapısıyla çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin uygulanmasına gereksinim

göstermektedir. Atık su arıtma teknolojisi seçim sürecinde belirsizlik önemli rol oynamaktadır. Belirsiz yargıları karar verme sürecine dahil etmede bulanık küme teorisinden yararlanılabilir. Bununla birlikte, karar vericilerin, değerlendirmeleri arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları daha açık bir şekilde ortaya koymalarına imkan sağlaması nedeniyle grup karar verme yöntemleri sıklıkla tercih edilen yöntemler arasındadır. Literatürde, atık su arıtma alternatiflerini değerlendirmek için farklı çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) yaklaşımları kullanan çalışmalar bulunmaktadır. Aragonés-Beltrán ve diğerleri [2] atık su arıtma alternatifinin seçimi için analitik hiyerarşi süreci (AHS) ve PROMETHEE yöntemlerini kullanmıştır. Sala-Garrido ve diğerleri [3] farklı atık su arıtma teknolojilerinin etkinliğini karşılaştırmak için veri zarflama analizi (VZA) uygulamıştır. Kalbar ve diğerleri [1] TOPSIS yöntemini uygulayarak Hindistan'daki belediye atık suyunun arıtımında kullanılan atık su arıtma teknolojilerini sıralamıştır. Srdjevic ve diğerleri [4] AHS kullanarak Sırbistan'daki metal endüstrisi için atık su arıtma yöntemlerini değerlendirmiştir. Kalbar ve diğerleri [5] atık su arıtma teknolojilerini sıralamak için niteliksel ve niceliksel ölçütleri de dikkate alan bir ÇÖKV yaklaşımı geliştirmiştir. Kalbar ve diğerleri [6] farklı atık su arıtma seçeneklerini sıralamak için kullanılan farklı ÇÖKV metodolojilerinin sonuçlarını karşılaştırmıştır. Molinos-senante ve diğerleri [7] küçük toplumlarda atık su arıtma teknolojisi alternatiflerini sıralamak için AAS'yi kullanmıştır. Son zamanlarda, Castillo ve diğerleri [8] gıda, içecek ve süt sektöründe endüstriyel atık su arıtımında en uygun alternatifi belirlemek için bir çevresel karar destek sistemi geliştirmiştir.

Bölüm 2'de sırasıyla DEMATEL yöntemi, ikili sözel gösterim modeli, sözel hiyerarşiler ve önerilen karar verme yaklaşımının aşamaları hakkında bilgi verildikten sonra, Bölüm 3'te önerilen yöntemin atık su arıtma alternatif seçim problemine uygulanması gerçekleştirilmiştir. Sonuç bölümünde ise elde edilen sonuçlar ve gelecekte yapılması öngörülen çalışmalar belirtilmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1 DEMATEL metodu

DEMATEL yöntemi, karmaşık ve iç içe geçmiş problemleri, faktör etkilerini de göz önüne alarak analiz etmek amacı ile geliştirilmiştir. Metot, karmaşık problemlerin yapısal ilişkilerini ortaya koymakta ve çeşitli alanlarda uygulanmaktadır. DEMATEL yöntemi ölçütler arasında karşılıklı bağımlılıkları göz önüne almaktadır. DEMATEL yönteminin adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir [9].

Adım 1. Başlangıç ortalama matrisini oluşturma. Karar vericiler, a_{ij} ile gösterilen, faktör i ve j arasındaki doğrudan etkileri değerlendirir. Ardından başlangıç ortalama matrisi A oluşturulur. Ortalama matrisin köşegen elemanları sıfır olarak belirlenir.

Adım 2. Başlangıç etki matrisini hesaplama. Başlangıç etki matrisi, D , ortalama matrisi normalize ederek, $D = \xi.A$, formülasyonu ile elde edilir; bu gösterimde

$$\xi = \min \left[\frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n |a_{ij}|}, \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{i=1}^n |a_{ij}|} \right] \quad (1)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Adım 3. Toplam etki matrisini oluşturma.

Toplam etki matrisi T , $T = D(I - D)^{-1}$ olarak tanımlanır. Bu gösterimde I birim matristir. f ve c , sırasıyla, toplam etki matrisi T 'nin, satır ve sütun toplamlarını belirten $n \times 1$ ve $1 \times n$ vektörleri olsun. f_i , T matrisindeki i satır toplamı olsun. Bu durumda, f_i , faktör i 'nin diğer faktörler üzerinde doğrudan ve dolaylı etkilerini (toplam etki) gösterir. c_j , T matrisindeki j sütunun toplamını temsil ediyorsa, c_j faktör j 'nin diğer faktörlerden aldığı doğrudan ve dolaylı etkilerin toplamını ifade eder.

Adım 4. Digraf elde etmek için eşik değeri tanımlama.

İlişkileri açıklamak için bir eşik değeri belirlemek gerekmektedir. Sadece etki seviyesi eşik değerinden yüksek olan faktörler daha ileri değerlendirmelerde göz önüne alınır.

2.2. İkili sözel gösterim

Birden çok karar vericinin dahil olduğu karar verme süreçlerinde homojen olmayan verilerin kullanılması olağan bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte literatürde var olan karar verme yöntemlerinin çoğu bütün karar vericilerin görüşlerini aynı tip veriler kullanarak açıkladıkları varsayımına dayanmaktadır. Herrera ve Martinez [10] tarafından geliştirilmiş olan ikili sözel gösterim yaklaşımı sembolik dönüşüm olgusuna dayanmaktadır. Bu yaklaşım sözel olarak ifade edilmiş bir verinin sözel bir terim ve bir sayıdan oluşan ikili gösterim ile ifade edilmesine olanak sağlamaktadır ve (s_i, α) şeklinde gösterilmektedir. Gösterimde s_i tanımlanmış temel sözel terim kümesinin, S_T , sözel etiketini ve α sembolik dönüşümü belirten sayısal değeri ifade etmektedir. Bulanık kümelerle hesaplama yapmanın en büyük dezavantajı bilgi kaybının meydana gelmesidir. Yöntem bulanık verilerle işlem yaparken oluşabilecek veri kaybını en aza indirmektedir.

İkili gösterimlerle veri kaybı olmadan işlem yapmak için gerekli önemli tanımlar aşağıda verilmektedir.

$L = (\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_g)$, S_T 'de tanımlı bir bulanık küme olsun. L 'yi $[0, g]$ aralığında sayısal bir değere dönüştürecek olan dönüşüm fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanır [10]:

$$\chi: F(S_T) \rightarrow [0, g], \quad (2)$$

$$\chi(F(S_T)) = \chi(\{(s_j, \gamma_j), j = 0, 1, \dots, g\}) = \frac{\sum_{j=0}^g j\gamma_j}{\sum_{j=0}^g \gamma_j} = \beta.$$

Gösterimde, $F(S_T)$ S_T 'de tanımlı bir bulanık kümedir.

$S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ bir sözel terim kümesi ve $\beta \in [0, g]$ sembolik birleştirme işleminin sonucunu gösteren bir değer olsun. β 'nın ikili sözel gösterimi aşağıdaki şekilde hesaplanır [11]:

$$\Delta: [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5], \quad (3)$$

$$\Delta(\beta) = \begin{cases} s_i, & i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i, & \alpha \in [-0.5, 0.5], \end{cases}$$

$S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ bir sözel terim kümesi ve (s_i, α) ikili gösterim olsun. İkili gösterimden eşdeğeri sayısal $\beta \in [0, g] \subset \mathfrak{R}$ değerine dönmek için Δ^{-1} fonksiyonu bulunmaktadır. Bu fonksiyon

$$\Delta^{-1} : S \times [-0.5, 0.5] \rightarrow [0, g],$$

$$\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha = \beta. \quad (4)$$

şeklinde ifade edilir [11].

2.3. Sözel hiyerarşiler

Sözel hiyerarşiler kavramı Cordon ve diğerleri [12] tarafından sözel kuralların hiyerarşik sistemini tasarlamak için önerilmiş ve farklı belirsizlik derecesinde elde edilen sözel verilerle hesaplama hassasiyetini arttırmak için kullanılmıştır [13].

Sözel hiyerarşiler, her seviyede farklı belirsizlik derecesinde sözel değişkenlerin olduğu bir seviyeler kümesidir. Sözel hiyerarşilerin her seviyesi $l(t, n(t))$ ile gösterilmektedir. Bu gösterimde t hiyerarşinin seviyesini, $n(t)$ ise sözel değişken kümesinin belirsizlik derecesini göstermektedir [12]. Sözel hiyerarşiler, LH , tüm seviyelerin birleşimi olarak $LH = \bigcup_t l(t, n(t))$ şeklinde ifade edilmektedir.

$t+1$ seviyesindeki sözel terimler kümesi öncülünden aşağıdaki şekilde elde edilmektedir.

$$L(t, n(t)) \rightarrow L(t+1, 2.n(t)-1) \quad (5)$$

Sözel hiyerarşiler, farklı belirsizlik derecelerine sahip verilerin birleştirilmesi işleminde oluşan bilgi kaybı problemini önlemek için kullanılmaktadır. Hiyerarşinin herhangi bir seviyesinde sözel terimler arasındaki dönüşüm şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$TF_i^t : l(t, n(t)) \rightarrow l(t', n(t')) \quad (6)$$

$$TF_i^t(s_i^{n(t)}, \alpha^{n(t)}) = \Delta \left(\frac{\Delta^{-1}(s_i^{n(t)}, \alpha^{n(t)}) (n(t')-1)}{n(t)-1} \right)$$

Dönüşüm fonksiyonu, bilgi kaybı olmaksızın dönüşümlerin yapılmasını garanti eden bijektif olma özelliğine sahiptir [12].

2.4. Bulanık karar verme metodolojisi

Bulanık çok ölçütlü grup karar verme problemlerinde, karar vericiler önceden belirlenmiş bir sözel değişken kümesini kullanarak tercihlerini ifade ederler. Karar vericiler, problemle ilgili farklı bilgilere sahip olmaları nedeniyle, tercihlerini farklı belirsizlik derecesine sahip sözel değişkenler kullanarak belirtebilirler. Bu durum, elde edilen verilerin aynı temel sözel terim kümesinde ifade edilmesi gerektirmektedir. Bu problemi çözmek için çok terimli sözel yaklaşımlar kullanılabilir. Önerilen metodoloji, karar vericilerden alınan farklı belirsizlik derecesine sahip verileri bilgi kaybı olmaksızın birleştirmede sözel hiyerarşileri ve ikili sözel gösterim yöntemini kullanmaktadır. Ayrıca, ölçütlerin ağırlıklarını hesaplamak için DEMATEL metodu kullanılmaktadır. DEMATEL yöntemi, ölçütler arasındaki bağımlılıkları göz önüne alır. Önerilen yöntem Şekil 1'de gösterilmekte ve aşağıda özetlenmektedir.

Adım 1. Z ($z=1,2,\dots,Z$) karar vericiden oluşan bir komite oluşturulur ve alternatifler ($i=1,2,\dots,m$) ve seçim ölçütlerini ($j=1,2,\dots,n$) belirlenir.

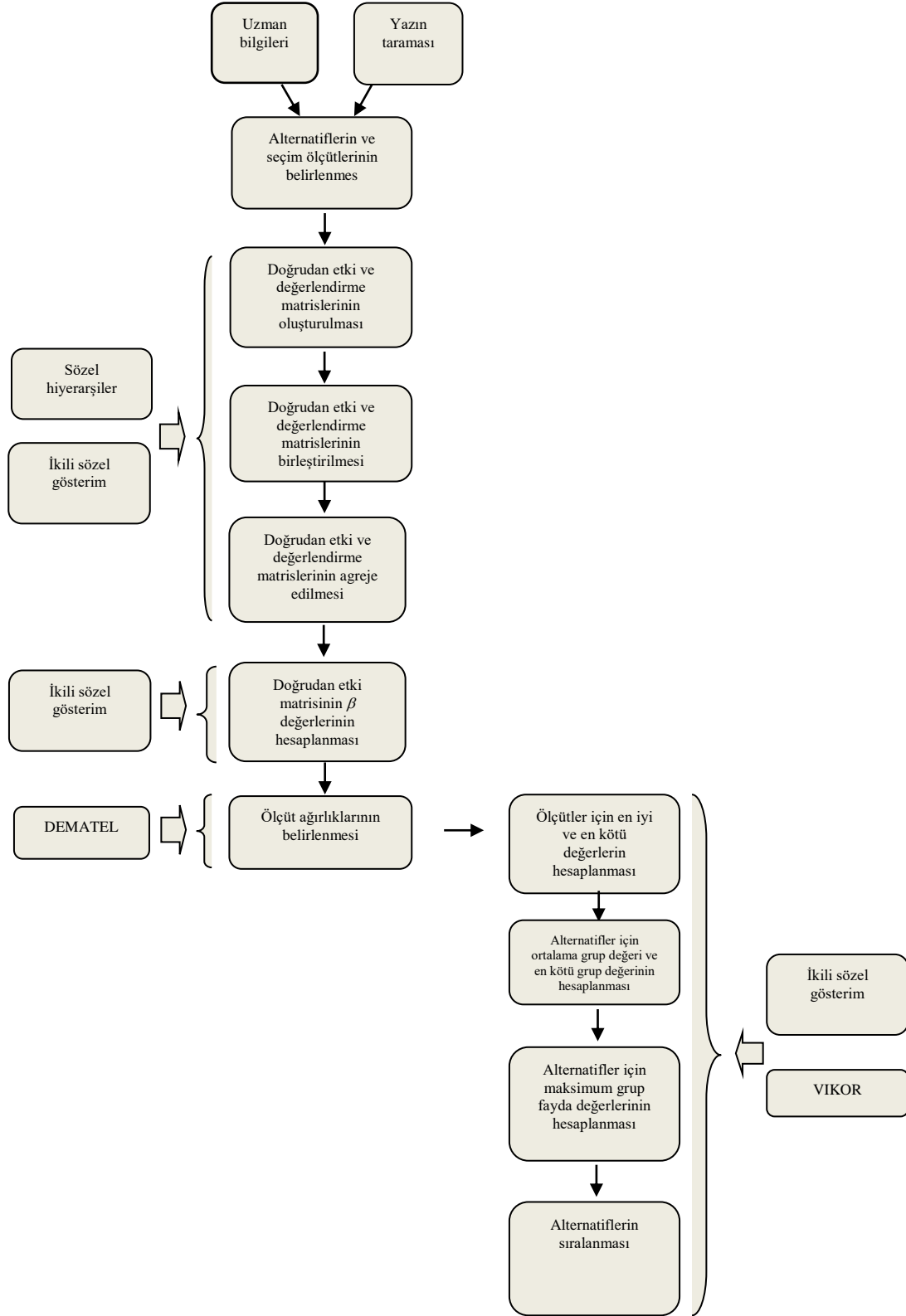
Adım 2. Her karar verici için, ölçütler arasındaki doğrudan etkileri ve alternatiflerin ölçütlere göre değerlendirmesini içeren karar matrislerini oluşturulur.

Adım 3. Karar vericilerden elde edilen homojen olmayan verileri Denklem (6)'yı kullanarak temel sözel terim kümesine indirgenir.

Adım 4. Doğrudan etki ve değerlendirme matrislerini ikili ağırlıklı ortalama operatörünü kullanarak agreje edilir.

$$\bar{x} = \Delta \left(\frac{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(s_i, \alpha)}{n} \right) \quad (7)$$

Adım 5. Doğrudan etki matrisi için β değerlerini hesapla ve DEMATEL metodunu kullanarak ölçütlerin önem derecelerini, ψ_j , hesaplanır.



Şekil 1. Önerilen bulanık karar verme algoritması akış şeması

Adım 6. Her ölçüt için en iyi (r_j^*) ve en kötü (r_j^-) değerler aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$r_j^* = \max_i r_{ij} \text{ ve } r_j^- = \min_i r_{ij} \quad (8)$$

bu gösterimde r_{ij} alternatiflerin birleştirilmiş değerlendirilmelerinin β değerini göstermektedir.

Adım 7. Alternatifler için ortalama grup değeri (S_i) ve en kötü grup değeri (R_i) hesaplanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^n \frac{\psi_j(r_j^* - r_{ij})}{r_j^* - r_j^-} \quad (9)$$

$$R_i = \max \frac{\psi_j(r_j^* - r_{ij})}{r_j^* - r_j^-} \quad (10)$$

Adım 8. Alternatifler için maksimum grup faydası (r_{ij}) aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Q_i = \frac{\nu(S_i - S^*)}{S^- - S^*} + \frac{(1-\nu)(R_i - R^*)}{R^- - R^*} \quad (11)$$

Bu hesaplamada, S^* ve R^* en küçük, S^- ve R^- ise en büyük S_i ve R_i değerlerini göstermektedir. Formüldeki ν değeri en yüksek grup faydasını yaratacak strateji için ağırlık değerini ifade etmektedir ve bu çalışmada 0.5 olarak alınmıştır.

Adım 9. Her alternatif için S_i , R_i ve Q_i değerleri küçükten büyüğe sıralanır.

Adım 10. S_i , R_i ve Q_i değerlerinin sıralamasına göre karar vericiler için kabul edilebilir avantaj (C_1) ve kabul edilebilir istikrar (C_2) kümeleri belirlenir. Bir alternatifin C_1 kümesinde yer alabilmesi için (12) numaralı formülde gösterilen koşulu sağlaması gerekmektedir. Bu gösterimde $DQ = \frac{1}{1-m}$ olarak hesaplanmaktadır.

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq DQ \quad (12)$$

Q_i sıralamasına göre A_2 alternatifi A_1 alternatifinden sonraki sırada yer alıyor ve (12) numaralı formülde gösterilen koşulu sağlıyorsa A_1 , C_1 kümesinde yer alır. C_2 kümesini ise S_i , R_i ve Q_i sıralamalarının tamamında aynı sırada yer alan alternatifler oluşturur.

3. Bulanık Grup Karar Verme Algoritması ile Atık Su Arıtma Alternatiflerinin Değerlendirilmesi

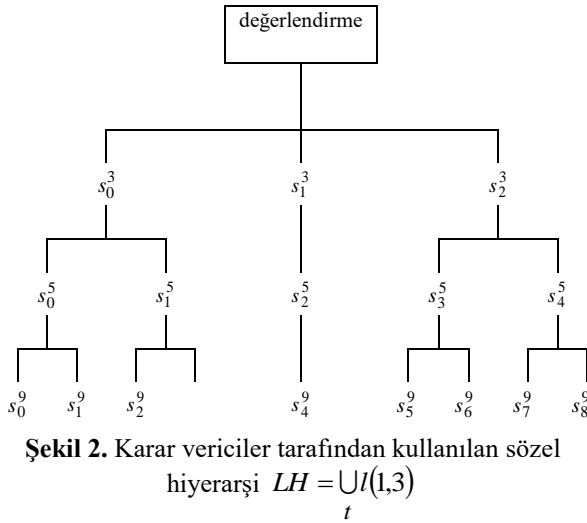
Önerilen karar verme yönteminin atık su arıtma alternatif seçim problemine uygulanmasını göstermek için İstanbul'da yürütülmüş olan bir vaka çalışması sunulmuştur. Uzmanlarla yapılan görüşmeler sonucunda, dört atık su arıtma alternatifi aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- A_1 : Aktif çamur,
- A_2 : Havalandırılmalı lagünler,
- A_3 : Ardışık kesikli reaktör,
- A_4 : Yapay sulak alanlar.

Atık su arıtma alternatif seçimiyle ilgili sekiz ölçüt şu şekilde tanımlanmıştır:

- C_1 : Maliyet,
- C_2 : Küresel ısınma,
- C_3 : Ötrofikasyon,
- C_4 : Arazi şartları,
- C_5 : İşgücü gereksinimi,
- C_6 : Güvenilirlik,
- C_7 : Sürdürülebilirlik,
- C_8 : Esneklik.

Değerlendirme süreci dört karar verici (DM_1 , DM_2 , DM_3 , DM_4) tarafından gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de gösterilen $LH = \bigcup_t l(1,3)$ sözel hiyerarşisi, karar verme problemlerinde sıklıkla kullanıldığı için değerlendirilmede tercih edilmiştir.



Şekil 2. Karar vericiler tarafından kullanılan sözel hiyerarşi $LH = \bigcup_l(1,3)$

DM_1 $l(1,3)$ 'ü, DM_2 ve DM_3 $l(2,5)$ 'i ve DM_4 $l(3,9)$ 'u kullanmayı tercih etmiştir. Dört karar vericinin değerlendirmeleri Tablo 1 ve 2'de verilmektedir.

Karar vericilerin çoğu tercihlerini $l(2,5)$ sözel terim kümesini kullanarak belirttiği için homojen olmayan verileri birleştirmek için $l(2,5)$ temel sözel terim kümesi olarak belirlenmiştir. Karar vericilerin önem ağırlıkları eşit kabul edilmiş ve değerlendirmeleri agreje etmek için ikili ağırlıklı ortalama operatörü kullanılmıştır.

Tablo 1. Ölçütler (C_j) arasındaki doğrudan etki matrisi için karar vericilerden elde edilen veriler

C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
C_1	$(s_1^3, s_1^5, s_2^5, s_2^9)$	$(s_0^3, s_1^5, s_2^5, s_2^9)$	$(s_2^3, s_2^5, s_4^5, s_4^9)$	$(s_2^3, s_3^5, s_4^5, s_5^9)$	$(s_1^3, s_2^5, s_2^5, s_4^9)$	$(s_1^3, s_2^5, s_2^5, s_4^9)$	$(s_1^3, s_2^5, s_1^5, s_3^9)$
C_2	$(s_1^3, s_1^5, s_1^5, s_2^9)$	$(s_1^3, s_2^5, s_2^5, s_4^9)$	$(s_0^3, s_1^5, s_1^5, s_1^9)$	$(s_0^3, s_0^5, s_1^5, s_0^9)$	$(s_2^3, s_2^5, s_4^5, s_5^9)$	$(s_2^3, s_3^5, s_4^5, s_6^9)$	$(s_1^3, s_2^5, s_3^5, s_4^9)$
C_3	$(s_1^3, s_2^5, s_2^5, s_5^9)$	$(s_0^3, s_2^5, s_2^5, s_5^9)$	$(s_0^3, s_0^5, s_0^5, s_0^9)$	$(s_0^3, s_1^5, s_0^5, s_1^9)$	$(s_2^3, s_4^5, s_4^5, s_8^9)$	$(s_2^3, s_4^5, s_4^5, s_8^9)$	$(s_2^3, s_2^5, s_2^5, s_6^9)$
C_4	$(s_2^3, s_3^5, s_3^5, s_7^9)$	$(s_0^3, s_2^5, s_0^5, s_6^9)$	$(s_0^3, s_2^5, s_0^5, s_5^9)$	$(s_0^3, s_0^5, s_2^5, s_2^9)$	$(s_1^3, s_2^5, s_3^5, s_5^9)$	$(s_1^3, s_2^5, s_3^5, s_4^9)$	$(s_1^3, s_1^5, s_3^5, s_3^9)$
C_5	$(s_2^3, s_3^5, s_3^5, s_6^9)$	$(s_2^3, s_1^5, s_1^5, s_2^9)$	$(s_0^3, s_2^5, s_1^5, s_1^9)$	$(s_0^3, s_0^5, s_2^5, s_0^9)$	$(s_1^3, s_1^5, s_3^5, s_2^9)$	$(s_1^3, s_2^5, s_3^5, s_5^9)$	$(s_1^3, s_1^5, s_2^5, s_4^9)$
C_6	$(s_2^3, s_3^5, s_4^5, s_8^9)$	$(s_2^3, s_3^5, s_4^5, s_8^9)$	$(s_1^3, s_3^5, s_3^5, s_7^9)$	$(s_2^3, s_4^5, s_3^5, s_6^9)$	$(s_2^3, s_4^5, s_3^5, s_7^9)$	$(s_2^3, s_4^5, s_4^5, s_8^9)$	$(s_2^3, s_3^5, s_4^5, s_7^9)$
C_7	$(s_1^3, s_3^5, s_3^5, s_7^9)$	$(s_2^3, s_3^5, s_4^5, s_7^9)$	$(s_2^3, s_3^5, s_3^5, s_7^9)$	$(s_2^3, s_4^5, s_4^5, s_8^9)$	$(s_1^3, s_4^5, s_3^5, s_8^9)$	$(s_2^3, s_4^5, s_4^5, s_8^9)$	$(s_2^3, s_4^5, s_4^5, s_8^9)$
C_8	$(s_1^3, s_3^5, s_2^5, s_7^9)$	$(s_2^3, s_2^5, s_3^5, s_5^9)$	$(s_2^3, s_3^5, s_3^5, s_7^9)$	$(s_2^3, s_3^5, s_2^5, s_6^9)$	$(s_2^3, s_3^5, s_2^5, s_6^9)$	$(s_1^3, s_2^5, s_4^5, s_6^9)$	$(s_2^3, s_2^5, s_4^5, s_6^9)$

Tablo 2. Alternatiflerin (A_i) ölçütlere (C_j) göre değerlendirmesi için karar vericilerden elde edilen veriler

	A_1	A_2	A_3	A_4
C_1	$(s_1^3, s_2^5, s_2^5, s_4^9)$	$(s_0^3, s_2^5, s_1^5, s_2^9)$	$(s_1^3, s_2^5, s_2^5, s_3^9)$	$(s_2^3, s_4^5, s_3^5, s_6^9)$
C_2	$(s_1^3, s_2^5, s_3^5, s_4^9)$	$(s_1^3, s_1^5, s_2^5, s_2^9)$	$(s_2^3, s_4^5, s_4^5, s_7^9)$	$(s_0^3, s_0^5, s_0^5, s_0^9)$
C_3	$(s_1^3, s_2^5, s_2^5, s_5^9)$	$(s_2^3, s_3^5, s_4^5, s_7^9)$	$(s_0^3, s_1^5, s_0^5, s_2^9)$	$(s_1^3, s_2^5, s_2^5, s_5^9)$
C_4	$(s_1^3, s_2^5, s_1^5, s_2^9)$	$(s_1^3, s_1^5, s_1^5, s_2^9)$	$(s_0^3, s_1^5, s_0^5, s_0^9)$	$(s_2^3, s_4^5, s_4^5, s_8^9)$
C_5	$(s_2^3, s_3^5, s_3^5, s_6^9)$	$(s_2^3, s_4^5, s_3^5, s_7^9)$	$(s_1^3, s_1^5, s_1^5, s_3^9)$	$(s_1^3, s_0^5, s_1^5, s_2^9)$
C_6	$(s_2^3, s_4^5, s_4^5, s_8^9)$	$(s_2^3, s_3^5, s_4^5, s_8^9)$	$(s_2^3, s_4^5, s_4^5, s_8^9)$	$(s_1^3, s_1^5, s_2^5, s_5^9)$
C_7	$(s_1^3, s_1^5, s_1^5, s_1^9)$	$(s_1^3, s_2^5, s_2^5, s_3^9)$	$(s_1^3, s_1^5, s_1^5, s_2^9)$	$(s_2^3, s_3^5, s_3^5, s_7^9)$
C_8	$(s_2^3, s_4^5, s_3^5, s_6^9)$	$(s_1^3, s_1^5, s_1^5, s_3^9)$	$(s_2^3, s_2^5, s_2^5, s_4^9)$	$(s_1^3, s_0^5, s_1^5, s_3^9)$

ağırlıkları sırasıyla 0.1183, 0.1110, 0.1129, 0.1027, 0.1004, 0.1557, 0.1609 ve 0.1380 olarak belirlenmiştir. C_1, C_2, C_4 ve C_5 azalan ölçüt olarak düşünülürken, C_3, C_6, C_7 ve C_8 artan ölçüt olarak kabul edilmiştir. Artan ölçütlerle ilgili değerlerin en büyüklenmesi amaçlanırken, azalan ölçütlerle ilgili değerlerin en küçüklenmesi hedeflenmektedir. C_1, C_2, C_4 ve C_5 ölçütleri için düşük değerlere sahip alternatifler tercih edilirken, diğer ölçütler için yüksek değerlere sahip alternatifler tercih edilmektedir.

Her ölçüt için en iyi (r_j^*) ve en kötü (r_j^-) değerler ve S_i, R_i ve Q_i değerleri Denklem (8-11) kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 3, önerilen metodoloji kullanılarak elde edilen sonuçları özetlemektedir.

Analiz sonuçlarına göre havalandırmalı lagün en uygun atık su arıtma alternatifi olarak belirlenmiştir. İkinci sırada aktif çamur yöntemi bulunmaktadır. Yapay sulak alanlar, yüksek maliyet ve düşük sürdürülebilirlik nedeniyle en geride yer almıştır.

Alternatif	S_i	R_i	Q_i	Sıralama
A_1	0.4865	0.1479	0.5446	2
A_2	0.4154	0.1235	0.2100	1
A_3	0.5593	0.1557	0.8266	3
A_4	0.5846	0.1609	0.8557	4

4. Sonuçlar

Arıtılmamış atık su hem çevre hem de insan sağlığı için önemli bir tehlikedir. Bu nedenle, atık su mümkün olduğunca hızlı bir şekilde kaynağından uzaklaştırılmalı ve nihai bertarafı önce uygun bir şekilde işleminden geçirilmelidir. Atık su arıtma teknolojisi seçim problemi, belirsiz ve kesin olmayan farklı ölçütler içeren yapıyla son derece önemli bir çok ölçütlü grup karar verme problemidir. Deterministik ÇÖKV yöntemleri, belirsiz ve sözel veriler içeren karar verme problemlerini etkin bir şekilde ele alamamaktadır. Bu çalışmada, klasik karar verme yöntemi kullanıldığında karşılaşılan problemleri çözmek için ikili sözel gösterim, sözel hiyerarşiler, DEMATEL yöntemi ve VIKOR metodunu birleştiren bir bulanık çok ölçütlü karar verme algoritması geliştirilmiştir.

Bulanık grup karar verme yaklaşımlarında, karar vericilerden tercihlerini daha önce belirlenmiş bir sözel değişken kümesi kullanarak ifade etmeleri beklenmektedir. Karar vericilerin problemle ilgili farklı kültürel birikimlere ve bilgi düzeyine sahip olmaları nedeniyle, tercihlerini farklı belirsizlik derecelerine sahip homojen olmayan sözel terimler kullanarak belirtmektedirler. Karar vericilerden elde edilen homojen olmayan verilerin işlenebilmesi için öncelikle bu verilerin aynı belirsizlik derecesine indirgenmesi gerekmektedir. Bu süreçte karşılaşılan asıl sorun veri kaybıdır. Geliştirilen yaklaşım, bu sorunun çözmek için ikili sözel gösterim yöntemini kullanmaktadır. Herrera ve Martinez [10] tarafından geliştirilen bu yaklaşım, bulanıklık içeren veya rastgele değişkenlerden türetilmiş olan verilerle işlem yaparken ortaya çıkan veri kaybını, verileri “bulanık terim” ve “bulanık terime olan yakınlıkları” olmak üzere ikili sözel gösterim şeklinde ifade etmektedir. Böylelikle, veriler belirlenmiş bir ölçekte değil aynı zamanda bu ölçekteki sözel değişkenlere yakınlıklarıyla da gösterilmekte ve veri kümesi genişletilmektedir.

Bu çalışmada geliştirilen yaklaşım olmaksızın, karar vericiler tarafından farklı sözel değişkenlerle ifade edilen verilerin birleştirilmesi ve karar verme sürecine dahil edilmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenle de karar vericilerden düşüncelerini aynı sözel değişken kümesini kullanarak belirtmeleri istenecek ve bu durumda, karar vericilerin kişisel deneyimlerine ve problem hakkındaki bilgi düzeylerine göre değişiklik gösterebilecek düşünceleri tam olarak karar verme sürecine dahil edilemeyecektir. Ayrıca, önerilen yaklaşım, ölçüt ağırlıklarını belirlemek için ölçütler arasındaki bağımlılığı göz önüne alan DEMATEL metodunu kullanmaktadır. DEMATEL metodu olmaksızın yapılacak çalışmada ölçüt ağırlıklarını belirlemek için ya karar vericilerden kişisel görüşleri istenecek ya da ölçüt ağırlıkları eşit kabul edilecektir. Bu durumda ölçütler arasındaki etkileşimler göz ardı edilecek ve dolayısıyla problem gerçekçilikten uzaklaşacaktır.

Önerilen yöntem kullanılarak elde edilen sonuçlar uzmanlarla paylaşılmış ve sonuçların ileride yapılacak değerlendirmelerde göz önüne alınacağı ve gerekli birimlerle paylaşılacağı öğrenilmiştir. Ayrıca gelecekte yapılması öngörülen çalışmalarda geliştirilen karar verme yönteminin tıp (tespit, teşhis, tedavi), dijital pazarlama (dijital pazarlama araçları değerlendirilmesi) ve enerji (sürdürülebilir enerji alternatifleri değerlendirilmesi) sektörlerinde farklı deneyimlere sahip karar vericilerin görüşlerine başvurulması gereken grup karar verme problemlerinin çözümünde uygulanması planlanmaktadır.

6. Kaynakça

1. Kalbar, P.P., Karmakan, S. and Asolekar, S.R. (2012). Selection of an appropriate wastewater treatment technology: A scenario-based multiple-attribute decision-making approach. *J. Environ. Manage.*, **113**: 158-169.
2. Aragonés-Beltrán, P., Mendoza-Roca, J.A., Bes-Piá, A., García-Melón, M. and Parra-Ruiz, E. (2009). Application of multicriteria decision analysis to jar-test results for chemicals selection in the physical-chemical treatment of textile wastewater. *J. Hazard. Mater.*, **164**: 288-29.
3. Sala-Garridoa, R., Molinos-Senante, M. and Hernández-Sancho, F. (2011). Comparing the efficiency of wastewater treatment technologies

- through a DEA metafrontier model. *Chem. Eng. J.*, **173**: 766–772.
4. Srdjevic, Z., Samardzic, M. and Srdjevic, B. (2012). Robustness of AHP in selecting wastewater treatment method for the coloured metal industry: Serbian case study. *Civ. Eng. Environ. Syst.*, **29(2)**: 147-161.
5. Kalbar, P.P., Karmakan, S. and Asolekar, S.R. (2013). The influence of expert opinions on the selection of wastewater treatment alternatives: A group decision-making approach. *J. Environ. Manage.*, **128**: 844-851.
6. Kalbar, P.P., Karmakan, S. and Asolekar, S.R. (2015). Selection of wastewater treatment alternative: Significance of choosing MADM method. *Environ. Eng. Manag. J.*, **14(5)**: 1011-1020.
7. Molinos-Senante, M., Hernandez-Sancho, F. and Sala-Garrido, R. (2015). Comparing the dynamic performance of wastewater treatment systems: A metafrontier malmquist productivity index approach. *J. Environ. Manage.*, **161**: 309-316.
8. Castillo, A., Vall, P., Garrido-Baserba, M., Comas, J. and Poch, M. (2017). Selection of industrial (food, drink and milk sector) wastewater treatment technologies: A multi-criteria assessment. *Journal of Cleaner Production*, **143**: 180-190.
9. Li, Y., Hub, Y., Zhanga, X., Denga, Y. and Mahadevanc, S. (2014). An evidential DEMATEL method to identify critical success factors in emergency management. *Applied Soft Computing*, **22**: 504-510.
10. Herrera, F. and Martínez, L. (2000). An approach for combining linguistic and numerical information based on 2-tuple fuzzy representation model in decision-making. *Int. J. Uncertain. Fuzz.*, **8(5)**: 539-562.
11. Herrera, F. and Martínez, L. (2000). A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. *IEEE T. Fuzzy. Syst.*, **8(6)**, 746-752.
12. Cordon, O., Herrera, F. and Zwir, I. (2002). Linguistic modeling by hierarchical systems of linguistic rules. *IEEE T. Fuzzy. Syst.*, **10(1)**: 2-20.
13. Herrera F. and Martínez, L. (2001). A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranular hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision-making. *IEEE T. Syst. Man Cy. B.*, **31(2)**: 227-234.

Sokaktan Tarama Yöntemiyle Binaların Bölgesel Deprem Risk Dağılımının Belirlenmesi: Erzurum – Yenişehir Örneği

Dilek OKUYUCU¹, Gökçe Kaan SAVAŞ², Burak GEDİK², M. Fatih ŞUŞARLIOĞLU² ve Tarık KARA²

¹ Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum.

² Erzurum Teknik Üniversitesi (mezun), ERZURUM
okuyucu@erzurum.edu.tr

(Geliş/Received: 19.09.2017; Kabul/Accepted: 11.02.2018)

Özet

Anadolu coğrafyası dünyanın sismik olarak en aktif bölgelerinden birisidir. Sıklıkla yıkıcı nitelikteki depremlerin yaşanıyor olması mevcut yapı stoğunun teknik olarak incelenmesini ve kentsel dönüşümü zorunlu kılmıştır. Yapılar için bölgesel sismik risk dağılımlarının tespiti kentsel dönüşüm çalışmalarına önemli bir altlık oluşturmaktadır. Bu çalışmada, 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun kapsamında tanımlanan riskli yapıların tespitine ilişkin esaslar çerçevesinde Erzurum ili Palandöken ilçesinde sınırları belirlenen alanda bulunan betonarme yapılar incelenmiştir. Uygulama, Erzurum Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğrencileri tarafından lisans bitirme tezi çalışması kapsamında yapılmıştır. Sunulmuş olan sonuçların proje destekçisi Palandöken Belediyesi tarafından kentsel dönüşüm faaliyetlerinde bölgesel önceliklendirmelerin belirlenmesi amacıyla kullanılması öngörülmektedir. Çalışma bölgesinde bulunan toplam 1194 adet betonarme yapı incelenmiş, yapıların 18 adedi 8 ve daha çok sayıda katlı olduğu için risk değerlendirmesi aşamasında yönetmelik gereği kapsam dışı bırakılmıştır. 6306 sayılı kanunun uygulama yönetmeliğinde yer alan birinci aşama değerlendirme yöntemi bina performans puanlarının hesap esaslarını belirlerken, puana göre yapı riskinin belirlenmesi işini çalışmayı yapan kişilere bırakmıştır. Bu durumda, bina performans puanlarının istatistiki olarak incelenmesi sonucunda yapılar 5 ayrı risk grubuna dağıtılmıştır. Değerlendirilen 1177 adet betonarme yapının %7.2' sinin yüksek riskli, %62.4' ünün orta derecede riskli, %7.3' ünün düşük riskli, %22' sinin güvenli ve %0.7' sinin çok güvenli olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: sokaktan tarama yöntemi, deprem riski, kentsel dönüşüm, Erzurum, Palandöken

Determination of Regional Seismic Risk Distribution of Structures by Sidewalk Survey Method: Erzurum – Yenişehir Example

Abstract

Anatolian land is one of the most active seismic zones of the world. Frequent occurrence of destructive earthquakes has made technical evaluation of existing building stock and urban renewal compulsory. Evaluation of regional earthquake risk distribution of buildings is of importance for urban renewal studies. In this study, seismic risk distribution of reinforced concrete (RC) buildings located in Erzurum-Palandöken town were studied in accordance with Law 6306 about Transformation of The Lands under Disaster Risk. The evaluation was conducted by senior class Civil Engineering students at Erzurum Technical University and presented as graduation thesis. Results of the study are expected to be valued by Palandöken Municipality for urban renewal studies. Total of 1194 reinforced RC were studied; and among these buildings 18 of them were omitted since the guideline of law is not valid for buildings having more than 8 stories. First level evaluation method of Law 6306 defines fundamentals of building performance score calculation and lets technical people to assign risk level of buildings. Hence, buildings were divided into 5 risk groups for 1177 RC buildings. 7.2% of the building stock was defined to be at the high-risk level; whereas 62.4% of moderate-risk level, 7.3% of low-risk level, 22% of safe and 0.7% of very safe.

Keywords: sidewalk survey method, earthquake risk, urban renewal, Erzurum, Palandöken

1. Giriş

Türkiye, sismik olarak dünyanın en aktif bölgelerinden birisi üzerine kuruludur. Geçmişte yaşanan yıkıcı depremler çok büyük mal ve can kayıpları ile sonuçlanmıştır. Yıkılan ve hasar gören yapıların teknik incelemeler sonucu pek çok yapısal kusur ile inşa edildikleri ve büyük çoğunluğunun nitelikli mühendislik hizmeti almamış yapılar olduğu tespit edilmiştir. 1992 Erzincan Depremi bu açıdan önemli derslerin çıkarıldığı bir felaket olarak tarihe geçmiş ve sonrasında başlatılan çalışmalar 1997 yılında Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY, 1997)' in yayınlanması ve 1998 yılında yürürlüğe girmesi ile sonuçlanmıştır. [1]

1999 Kocaeli Depremi ise binlerce insanımızın hayatını kaybettiği ve ülke ekonomisinin önemli kayıplar verdiği bir başka felaket olarak kayda geçmiştir. Anadolu coğrafyasında yaşanmış önceki depremlere benzer şekilde bir takım teknik kurallara uyulmasıyla birlikte önlenebilecek yapısal hasarlar nedeniyle yıkılan yapıların çokluğu; yeni yapılacak yapıların modern deprem yönetmeliklerine uygun olarak yapılması zorunluluğunu bir kez daha gözler önüne sermiştir. Yapılan kapsamlı çalışmalar neticesinde 1998' de yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik metni güncellenerek Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik olarak (DBYBHY, 2007) yürürlüğe girmiştir. [2] Söz konusu yönetmelik esasen yeni yapılacak yapılar için uyulması gereken teknik kuralları içermekle birlikte, mevcut yapıların sismik performanslarının değerlendirilmesi ve artırılmasına ilişkin temel kuralları da barındırmaktadır. Buna ek olarak, standartlara uygun kaliteli yapı yapılması için proje ve yapı denetimini sağlamak amacıyla 2001 yılında yürürlüğe giren 4708 sayılı Yapı Denetimi Hakkında Kanun ise ancak 2010 yılında tüm Türkiye'de uygulanmaya başlanmıştır. [3]

Yukarıda ifade edilen çalışmalar yeni yapılacak yapıların deprem güvenliğinin sağlanması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ülkemiz nüfusunun %90' ından fazlasının 1., 2., 3. ve 4. derece deprem bölgelerinde yaşadığı, 20 milyonu aşkın yapı stoğunun bulunduğu ve bu yapıların 5 milyon kadarının 1999 sonrası inşa

edildiği ifade edilmektedir. [4] Bu durum olası depremlerde oluşabilecek can ve mal kayıplarının önlenmesi ve azaltılması adına mevcut yapı stoğunun deprem güvenliğinin incelenmesi ve gerekli önlemlerin alınması sorununu gündeme getirmiştir. Yapıların tekil olarak incelenerek deprem güvenliklerinin araştırılması hususu ileri düzey mühendislik bilgisi gerektiren ve zaman alan bir çalışmadır. Anadolu coğrafyasının pek çok diri fay ile örülü olması ve modern yönetmelikler dâhilinde nitelikli mühendislik hizmeti almadan inşa edilmiş mevcut yapı stoğundaki bina sayısının çokluğu pratik yöntemlerle hızlı bir şekilde deprem risklerinin belirlenmesini zorunlu kılmıştır.

Binaların sismik risk durumlarının (*bölgesel sismik risk dağılımları şeklinde*) hızlı tarama yöntemiyle kısa zamanda ve pratik bir şekilde belirlenebilmesi adına Amerikan Acil Durum Yönetimi Ajansı (FEMA) tarafından yapılan çalışmalar 1988 yılında el kitabı olarak yayınlanmış ve yürürlüğe girmiştir. [5,6] Sokaktan tarama yöntemi olarak adlandırılan metod esasen 4 aşamalı bir çalışmanın yürütülmesi üzerine kuruludur:

1. Çalışmanın yapılacağı bölgenin belirlenmesi
2. İncelenen yapıya verilen bina performans başlangıç puanının yapıda mevcut yapısal kusurlar dikkate alınarak azaltılması suretiyle bina performans nihai puanının hesaplanması
3. Hesaplanan performans puanları üzerinde istatistiki çalışma yapılarak risk sınıflarının ve bu sınıflar için puan aralıklarının belirlenmesi
4. Binaların nihai performans puanları dikkate alınarak 3. aşamada belirlenen risk sınıflarına dağıtılması ve tekil olarak risk durumlarının belirlenerek bölgesel dağılımın ortaya konulması

Bununla birlikte, yöntemin tekil olarak yapılara uygulanabilen ve yapının deprem güvenliği hakkında çıkarım yapılmasına olanak sağlayan bir yöntem olmadığına altı çizilmelidir. Yöntem, istatistiki olarak anlamlı sonuçlar alınabilecek sayıda yapı barındıran bölgelerde uygulanabilmektedir. İncelenen bölgedeki yapıların tekil olarak hesaplanan bina performans puanları üzerinden gerçekleştirilen istatistiki çalışmalar neticesinde o bölgedeki binalar için sismik tehlike sınıflarının sınırlarını belirleyen

performans puanları belirlenir ve her bir binanın hangi tehlike sınıfında olduğu ortaya konulur. Yöntem bina performans puanlarının hesaplanması esaslarını net olarak ortaya koyarken, risk sınıflarının belirlenmesi ve puan aralıklarının ortaya konması işini uygulamacı teknik kişilere bırakmaktadır. FEMA tarafından ortaya konulan yöntem 2002 yılında güncellenmiş [7] ve mühendislik dünyasında bilinen adıyla FEMA P - 154 dokümanı üçüncü sürüm olarak 2015 yılında yayımlanmıştır. [8]

FEMA yöntemi olarak bilinen hızlı tarama tekniğinin ülkemiz için uyarlanması çalışmalarının geçmişı 2006 yılına dayanmaktadır. Temür (2006) çalışmasında mevcut yapıların hızlı bir şekilde durum tespitlerinin yapılabilmesine olanak sağlayan bir yazılım geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. [9] Sucuoğlu (2007) çalışmasında ülkemizin kentsel yerleşimlerinde bulunan orta yükseklikteki (1-6) katlı betonarme binalar için geliştirilen risk değerlendirme yöntemi açıklanmıştır. Geliştirilen yöntem yapı stokları içerisinde yer alan binalar için sokaktan gözlenebilen bina parametrelerini kullanarak (*bina serbest kat sayısı, yumuşak katlar, ağır çıkmalar, görünen yapı kalitesi*) bir risk sıralaması yapmaktadır. Çalışmada türetilen bina performans skorunun hesaplanması amacıyla kullanılan ortalama değer fonksiyonunun kalibrasyonunda 1999 Düzce depremi sonrasında yapılan saha çalışmalarında derlenen ve 454 binayı kapsayan bir veri tabanı kullanılmış ve İstanbul – Fatih ilçesinde gerçekleştirilen uygulama çalışmasının sonuçlarına yer verilmiştir. [10] İlgili çalışma ayrıca detaylandırılarak Sucuoğlu, Yazgan ve Yakut (2007) tarafından uluslararası camiaya sunulmuştur. [11] Yöntem birinci aşama değerlendirme yöntemi olarak işletilmekte ve bu değerlendirme sonucunda deprem riski yüksek olarak belirlenen binaların daha kapsamlı inceleme için ikinci kademe detaylı değerlendirme kapsamına alınması önerilmektedir.

Ülkemizdeki mevcut yapı stoğunun depreme dayanıklı hale getirilmesi çalışmaları kapsamında bir taraftan bina risk durumlarının belirlenmesi adına yöntem geliştirme çalışmaları yürütülürken öte yandan riskli olduğu tespit edilen yapıların dönüştürülmesine ilişkin yasal düzenlemeler

yapılmıştır. Özellikle 1997 öncesi inşa edilmiş olan yapıların depremde hasar görme ihtimalinin fazla olduğu teknik olarak düşünülebilir. Bu sebeple mevcut yapı stoğumuzun deprem performansı açısından değerlendirilmesi ve risk arz ettiği tespit edilenlerin en kısa zamanda dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu durum, ülkemizde kentsel dönüşümü bir zorunluluk haline getirmiş olup; bu kapsamda 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun hazırlanmış ve 16 Mayıs 2012 tarihli ve 28309 sayılı Resmî Gazete 'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. [12] Bu Kanun'un amacı afet riski altındaki alanların dönüşümünü ve riskli yapıların yıkımını sağlayarak ülke genelinde güvenli ve yaşanılabilir alanlar oluşturmak olup, bu amaç doğrultusunda Kanun kapsamında yapıların tekil olarak veya topluca dönüştürülmesi öngörülmektedir. 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun' un uygulama yönetmeliğinde yukarıda ana hatları ve geliştirilme süreci hakkında bilgiler sunulan birinci aşama değerlendirme yönteminin uygulama esasları detaylandırılmış ve yöntemin binaların bölgesel deprem risk dağılımını belirlemek için kullanılacak bir yöntem olduğu ifade edilmiştir.

Binaların bölgesel sismik risk dağılımının belirlenmesi ya da bir başka deyişle risk durumlarına göre sıralanması özellikle yerel yönetimlerin kentsel dönüşümde önceliklendirme yaparken doğru alandan başlamalarına olanak sağlayan bir çalışma olduğuna dikkat çekilerek; Tozlu, Anıl ve Şahmaran (2015) tarafından Niğde ilinde örnek bir çalışma gerçekleştirilmiştir. [13] 6306 Sayılı Kentsel Dönüşüm Yasası kapsamında yer alan hızlı değerlendirme tekniğinin geniş kapsamlı bir saha uygulaması olarak yayımlanan çalışma dâhilinde 1550 adedi betonarme olmak üzere toplam 2076 adet yapının incelendiği ifade edilmekte ve yönetmelikte sunulan yöntemle dair eleştiriler ortaya konmaktadır.

Bu çalışmada, 6306 sayılı Kentsel Dönüşüm Yasası uygulama yönetmeliği kapsamında yer alan hızlı değerlendirme tekniği Erzurum ili Palandöken İlçesi Yenişehir bölgesinde uygulanmıştır. Çalışma, Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü lisans son sınıf öğrencileri tarafından lisans bitirme tezi projesi

kapsamında gerçekleştirilmiştir. Proje, Palandöken Belediyesi tarafından desteklenmiş olup elde edilen bulguların Yenişehir bölgesinde gerçekleştirilecek kentsel dönüşüm çalışmalarına altlık oluşturması öngörülmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma yapılan bölge hakkında bilgi

Çalışma Erzurum ili Palandöken ilçesi sınırları içerisinde yer alan Yenişehir bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Bölge, Palandöken Dağı eteklerinde ve Palandöken Belediyesi sorumluluk alanı içerisinde yer almaktadır. 1980 sonrasında imara açılan alanda kooperatifleşme çalışmaları hızla yürütülmüş ve düzenli bir kentleşme örneği ortaya konmuştur. 2009 yılında Doğu Anadolu Bölgesi'nin ilk büyük alışveriş merkezinin Yenişehir bölgesinde açılmasıyla birlikte Erzurum'da ticaretin bölgesel olarak en yoğun olduğu semt Yenişehir olmuştur. Çalışmanın gerçekleştirildiği alana ait uydu görüntüsü Şekil 1' de sunulmaktadır.



Şekil 1. Uygulamanın gerçekleştirildiği Yenişehir bölgesi uydu görüntüsü [14]

Bölgede Palandöken Belediyesi tarafından belirlenen alan içerisinde büyük çoğunluğu 30 yaşın üzerinde 1194 adet betonarme bina değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Bölge 2. Derece deprem bölgesinde yer almakla birlikte MTA Diri Fay Haritası'nda açıkça gösterildiği üzere Palandöken Fay'ına oldukça yakın bir konumdadır. [15]

2.2. Sokaktan tarama tekniği uygulaması hakkında bilgi

Çalışma saha ve ofis çalışması olmak üzere 2 aşamada gerçekleştirilmiştir. Öncelikle çalışma yapılacak alan belirlenmiş ve yerinde incelemeler yapılmıştır. Çalışma yapılan bölgenin hâlihazır haritası ve hava fotoğrafları temin edilmiş ve saha çalışması öncesi binalar harita üzerinde kodlanmıştır. Sahada incelenen binanın GPS koordinatları alınmış, mümkün olan tüm açılardan fotoğrafları çekilerek arşivlenmiştir. Bina bilgi formlarının sahada matbu evrak üzerinde doldurulmasının ardından toplanan veri bina performans puanı hesabı için elektronik ortama aktarılmıştır. Veri işleme ve değerlendirme çalışmaları Microsoft Excel yazılımı kullanılarak yapılmıştır. [16] Bina performans puanı hesabı ve sonrasındaki istatistiksel çalışma detayları aşağıda sunulmaktadır.

2.2.1. Bina performans puanı hesabı

Bina performans puanı hesabında 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun'un uygulama yönetmeliği EK-A bölümünde detayları sunulan yöntem takip edilmiştir. Bina performans puanı hesabı için öncelikle Şekil 2' de sunulan ve betonarme binalar için hazırlanmış olan veri toplama formu doldurulmuş ikinci aşamada ise Denklem 1' de sunulan formül kullanılarak bina performans puanı hesabı gerçekleştirilmiştir.

$$PP = TP + \sum_{i=1}^n O_i * OP_i + YSP \quad (1)$$

Denklem 1 kullanılarak yapılan bina performans puanı hesabındaki temel yaklaşım; binaya kat sayısı ve bulunduğu tehlike bölgesi dikkate alınarak verilen *taban puan* ve yapısal taşıyıcı sistem dikkate alınarak verilen *yapısal sistem puanı* üzerinden binada tespit edilen *olumsuzluk parametreleri* için hesaplanan puanların toplamının düşülmesi ile nihai bir performans puanı elde edilmesidir. İlgili yönetmelikte betonarme yapılar için; yumuşak kat, ağır çıkma, görünen kalite, kısa kolon, tepe/yamaç etkisi, düşeyde ve planda düzensizlik unsurları olumsuzluk parametreleri olarak dikkate alınmaktadır. Denklem 1' de yer alan terimler aşağıda açıklanmaktadır. Bu terimlerin sayısal

karşılıkları yönetmelikte yer alan tablolardan elde edilmiştir.

PP: Bina performans puanı

TP: Taban puanı

O_i: Olumsuzluk parametre değeri

OP_i: Olumsuzluk parametre puanı

YSP: Yapısal sistem puanı

BETONARME BİNALAR İÇİN VERİ TOPLAMA FORMU					
					TARİH :
FORM 1 BİNA KİMLİK BİLGİLERİ				Sıra No:.....	
BÖLGE NO					
MAHALLE					
ÇADDE / SOKAK					
KAPI NO / BİNA ADI					
PAFTA / ADA / PARSEL					
KENT BİLGİ SİST.NO					
BİNANIN TAHMİNİ YAŞI					
COĞRAFİ KOORDİNATLAR (GPS) (E / N)					
FORM 2 BİNA TEKNİK BİLGİLERİ					
YAPISAL SİSTEM TÜRÜ	<input type="checkbox"/> BA ÇERÇEVE		<input type="checkbox"/> BA ÇERÇEVE VE PERDE		
SERBEST KAT ADEDİADET				
YAPI NİZAMI	<input type="checkbox"/> AYRIK	<input type="checkbox"/> BİTİŞİK	<input type="checkbox"/> KÖŞEDE BİTİŞİK		
BİTİŞİK BİNALARLA DÖŞEME SEVİYELERİ	<input type="checkbox"/> AYNI	<input type="checkbox"/> FARKLI			
AĞIR ÇIKMALAR	<input type="checkbox"/> VAR	<input type="checkbox"/> YOK			
ZAYIF / YUMUŞAK KAT	<input type="checkbox"/> VAR	<input type="checkbox"/> YOK			
KISA KOLONLAR	<input type="checkbox"/> VAR	<input type="checkbox"/> YOK			
DÜŞEYDE DÜZENSİZLİK	<input type="checkbox"/> VAR	<input type="checkbox"/> YOK			
PLANDA DÜZENSİZLİK	<input type="checkbox"/> VAR	<input type="checkbox"/> YOK			
BİNA GÖRSEL KALİTESİ	<input type="checkbox"/> İYİ	<input type="checkbox"/> ORTA	<input type="checkbox"/> KÖTÜ		
TABİİ ZEMİN EĞİMİ	<input type="checkbox"/> DÜZ	<input type="checkbox"/> EĞİMLİ (Eğim>30°)			
ZEMİN SINIFI	<input type="checkbox"/> Z1	<input type="checkbox"/> Z2	<input type="checkbox"/> Z3	<input type="checkbox"/> Z4	
NORMAL KATLAR FONKSİYONU	<input type="checkbox"/> KONUT	<input type="checkbox"/> TİCARET	<input type="checkbox"/> SANAYİ	<input type="checkbox"/> KAMU	<input type="checkbox"/> METRUK

Şekil 2. Betonarme binalar için veri toplama formu

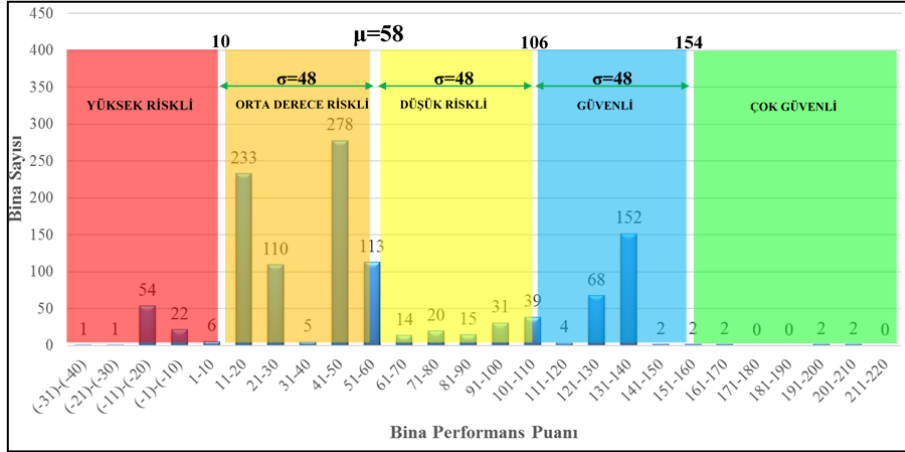
2.2.2. İstatistiki çalışma ve risk sınıflarının belirlenmesi

6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun' un uygulama yönetmeliği uyarınca yukarıda detayları açıklanan yöntem ile Palandöken İlçesi Yenişehir bölgesinde toplam 1194 adet betonarme bina için performans puanı hesabı yapılmıştır. Yönetmelik performans puanı hesabını detaylandırmakla birlikte bölgesel olarak risk sınıflarının belirlenmesi ve binaların risk durumlarının tespiti işini uygulamacı kişi/kişilere bırakmaktadır. Bu durumda, yöntem sadece istatistiki olarak güvenilir değerlendirmeler yapılabilecek sayıda yapı üzerinde gerçekleştirilen çalışma neticesinde bölgesel risk sınıflarının belirlenmesi işini mümkün kılmaktadır. 1194 adet binaya ilişkin istatistiki veri bu anlamda yeterli kabul edilmiştir.

Risk sınıflarının belirlenmesi işinde öncelikle bina performans puan ortalaması ve standart

sapma değerleri elde edilmiştir. Çalışma sonucunda bina performans puanı ortalaması 58.2 ve standart sapma değeri 48.2 olarak hesaplanmıştır. Ortalamadan standart sapma miktarınca uzaklaşmak suretiyle Şekil 3' te şematik olarak gösterilen risk sınıfları belirlenmiştir. Çalışmada; risk sınıfları olarak **yüksek riskli, orta derece riskli, düşük riskli, güvenli ve çok güvenli** olmak üzere toplam 5 grup oluşturulmuştur.

Risk sınıflarına ait performans puanı aralıkları ve hava fotoğrafı üzerinde yapının risk durumunu işaretlemek amacıyla belirlenen renkler Tablo 1' de sunulmaktadır. İncelenen binaya ait performans puanının Tablo 1' de sunulan aralıklar içerisindeki yerine bakılarak bina risk durumu belirlenmiş ve bina hava fotoğrafı üzerinde ilgili renk ile işaretlenmiştir.



Şekil 3. Bina sismik risk sınıflarının tespiti

Tablo 1. Bina performans puan aralıkları ve risk sınıfları

Renk	Bina performans puan aralığı	Risk sınıfı
Kırmızı	10' dan az	Yüksek riskli
Turuncu	11 - 60	Orta derece riskli
Sarı	61 – 105	Düşük riskli
Mavi	106 – 155	Güvenli
Yeşil	156' dan fazla	Çok güvenli

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Veri üzerinde genel değerlendirme

Mart – Haziran 2017 döneminde gerçekleştirilen çalışma neticesinde öncelikle incelenen bölgedeki binalara ait istatistiksel veri ortaya konmuştur. Binaların tahmini yaş ortalaması 27.8 yıl olarak belirlenirken, en yaşlı binanın tahminen 40 yıllık olduğu ve en genç binanın çalışma tarihi itibarıyla 2 yıl önce inşa edildiği tespit edilmiştir. Bölgenin zemin

özellikleri Palandöken Belediyesi tarafından sağlanan inceleme raporları üzerinden değerlendirilmiş ve çalışma alanının Z2 sınıfı zemin olduğu belirlenmiştir.

Değerlendirmeye alınan binaların %72.2'sinin konut, %19.1'inin ticaret amaçlı kullanılan yapılar olduğu tespit edilirken yapıların %3.2'sinin kamu yapısı ve %0.5'inin metruk yapı olduğu belirlenmiştir. Bölgede sanayi yapıları bulunmamaktadır. Bölgedeki yapıların kullanım durumlarına ilişkin istatistiksel veri Tablo 2' de sunulmaktadır.

Tablo 2. Bina fonksiyon dağılımına ilişkin sayısal veri

Bina Fonksiyonu:	Konut	Ticaret	Sanayii	Kamu	Metruk	Toplam
Bina Sayısı:	922	228	0	38	6	1194

Kat sayısı bakımından yapılan incelemede 6 katlı konut yapılarının çoğunluğu oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu durum esasen bölgenin düzenli kooperatifleşme ile yapılaşmış olmasının doğal bir sonucudur. 6 katlı yapılar incelenen binaların %73.1' ini oluştururken bu rakamı

%16.8 ile bir katlı yapılar takip etmektedir. Tek katlı yapıların tamamının ticari amaçla kullanılan iş yerleri olduğu tespit edilmiştir. Bölgedeki binaların kat sayısına ilişkin istatistiksel veri Tablo 3' te sunulmaktadır.

Tablo 3. Bina kat sayısı dağılımlına ilişkin sayısal veri

Kat sayısı:	Bir	İki	Üç	Dört	Beş	Altı	Yedi	Sekiz	Dokuz	Toplam
Bina sayısı:	200	29	17	16	16	873	25	6	12	1194

Bölgede yapılan çalışmada yapıların %99.4' ünün (1187 bina) düz ve kalan %0.6' lık kısmının (17 bina) eğimli arazide inşa edildiği belirlenmiştir. Yapıların nizam durumu incelendiğinde yarısından fazlasının kenar bitişik

nizam konumunda olduğu görülmüştür. Ayrık nizam olan yapıların %14.4, bitişik nizam olan yapıların %27.5 ve köşede bitişik nizam olan yapıların %58.1 oranında olduğu tespit edilmiş olup sayısal veri Tablo 4' te sunulmuştur.

Tablo 4. Bina nizam durumu dağılımlına ilişkin sayısal veri

Nizam durumu:	Ayrık	Bitişik	Köşede Bitişik	Toplam
Bina sayısı:	172	328	694	1194

Yapı taşıyıcı sistem türü bakımından yapılan inceleme neticesinde binaların %90.9' unun betonarme çerçeve türü taşıyıcı sisteme sahip olduğu ve kalan %9.1' lik kısmının ise betonarme

çerçeve + perde türü taşıyıcı sistem üzerine inşa edildiği belirlenmiştir. Bina taşıyıcı sistem türüne ilişkin istatistiki veri Tablo 5' te sunulmaktadır.

Tablo 5. Bina taşıyıcı sistem türü dağılımlına ilişkin sayısal veri

Taşıyıcı Sistem Türü:	Betonarme Çerçeve	Betonarme Çerçeve + Perde	Toplam
Bina Sayısı:	1085	109	1194

Planda ve düşeyde düzensizlikler konusunda yapılan çalışma sonucunda yapıların sadece %0.5' inde (6 bina) düşeyde düzensizlik tespit edilirken bu oran planda düzensizliğe sahip binalar için %0.3 (4 bina) olarak hesaplanmıştır.

Bina olumsuzluk parametreleri olarak incelenen kısa kolon, ağır çıkma ve yumuşak kat

durumuna ilişkin istatistiki veri Tablo 6' da sunulmaktadır. Burada herhangi bir binanın söz konusu olumsuzluk parametrelerinin birden fazlasına aynı anda sahip olabildiği dikkate alınmalıdır.

Tablo 6. Kısa kolon, yumuşak kat ve ağır çıkma unsurlarının varlığına ilişkin sayısal veri

Olumsuzluk parametresi:	Kısa kolon	Ağır çıkma	Yumuşak kat
Bina sayısı:	853	323	290

İncelenen yapılarda en çok gözlemlenen yapısal kusur kısa kolon varlığı olmuştur. Binaların %71.4' ünde kısa kolon durumu tespit edilmiştir. Yapılarda ağır çıkma ve yumuşak kat bulunma durumları oransal olarak nispeten birbirine yakın çıkmıştır. Ağır çıkma bulunan yapıların oranı %27.1 iken yumuşak kata sahip yapıların toplam yapı sayısı içerisindeki oranı %24.3 olarak tespit edilmiştir.

Çalışma esnasında proje ekibinin en çok zorlandığı husus bina görsel kalitesi parametresi hakkında karar vermek olmuştur. Uygulamacıyı

normal koşullarda dahi zorlayan, sübjektif bir değerlendirme kriteri olan bina görsel kalitesi parametresi hakkında karar vermek dışardan ısı yalıtımı yapılmış binalar için son derece zor olmuştur.

9 Ekim 2008 tarih ve 27019 tarihli Resmi Gazete' de yayımlanarak yürürlüğe giren Isı Yalıtımı Yönetmeliği her ne kadar yönetmeliğin yürürlüğe giriş tarihinden önce yapım işi ihalesi ilan edilmiş olan kamu binaları ve yapı ruhsatı alınmış özel binalar hakkında yönetmelik hükümlerinin uygulanmayacağını açıkça ifade

etse de; incelenen bölgedeki pek çok yapıda dışarıdan mantolama uygulamasıyla ısı yalıtımı işlemi gerçekleştirilmiş olduğu gözlemlenmiştir.[17] Isı yalıtımı uygulaması kullanıcılar tarafından bölgenin ağır kış iklim koşullarında enerji tasarrufu yapılması amacıyla

yapılmaktadır. İncelenen binalardaki ısı yalıtım uygulaması durumuna ilişkin istatistiki veri Tablo 7’ de sunulmaktadır. Değerlendirilen betonarme binaların %37.9’ unda dışarıdan mantolama uygulaması ile ısı yalıtımı yapıldığı tespit edilmiştir.

Tablo 7. Dışarıdan mantolama uygulamasıyla ısı yalıtımı durumuna ilişkin sayısal veri

Isı yalıtımı:	Var	Yok	Toplam
Bina sayısı:	453	741	1194

Dışarıdan ısı yalıtımı yapılmış binalar estetik olarak güzel görünmekle birlikte binanın gerçek görsel kalitesinin tespitini olanaksız kılmaktadır. Mantolama ile dış cephe görünümü yenilenmiş binalar için görsel kalite parametresi hakkında karar verilirken; 1997 yılında yayımlanan ve 1998 yılında yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik uygulaması referans alınmıştır. Uygulamada bölgenin ağır karasal iklim koşullarının durabilite sorunlarına yol açtığı gerçeğinden hareketle; söz konusu yönetmelik yürürlüğe girmeden önce inşa edilmiş ısı yalıtımlı binalar için görsel kalite orta olarak kabul edilirken, bu yönetmelik sonrası inşa edilmiş ısı yalıtımlı binalar için görsel kalite parametresi iyi olarak değerlendirilmiştir.

Saha çalışması esnasında pek çok binada balkon bulunduğu tespit edilmiştir. Balkon türü unsurlar için her ne kadar yönetmelik uyarınca bina performans puanı hesabında ayrıca bir kalem olmasa da gözlemlenen uygulamalar bu durumun da ayrıca incelenmesi gerektiği sonucunu doğurmuştur. İncelenen binaların 922 adedinde (toplam bina sayısının %72.2’ si) balkon bulunduğu tespit edilmiştir. Bu balkonların %21.1’ i gömme balkon kalan %78.9’ luk kısmı çıkma balkon şeklinde inşa edilmiştir. Balkonların %39.6’ sı sadece kat döşemesi devamı niteliğindeki konsol döşeme tarafından taşınmaktayken, %59.3’ ünün kirişler ile ve % 1.1’ inin yapı dışında imal edilmiş küçük kesitli düşey taşıyıcılar ile desteklendiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, özellikle çıkma balkonların büyük çoğunluğunun oldukça ağır duvar malzemeleri kullanılmak suretiyle kapatıldığı, pek çoğunun ise olası bir depremde dökülerek sokaktaki canlı ve cansız unsurlar için tehlike oluşturabilecek parçalara sahip olduğu sonucuna

varılmıştır. Benzer şekilde, çoğunluğu mermerden imal edilmiş pencere denizliklerinin de olası bir depremde binadan kopma ihtimalinin yüksek olduğu kanısına varılmıştır.

İncelenen balkonların % 28.1’ inden olası bir depremde parça koparak dış alana dökülme ihtimalinin olmayacağı öngörülmüştür. Bununla birlikte, parça kopma ihtimali az olan balkon oranı %57.3 iken ihtimalin yüksek olduğu balkon oranı %14.6 olarak hesaplanmıştır. Bu hususa ilişkin ulusal yönetmeliğimizde herhangi bir parametre yer almazken, FEMA-P 154 uyarınca sismik tehlikesi yüksek olan bölgelerde yapılan bina performans puanı hesabında kopma ihtimali olan parçalar değerlendirmeye alınmaktadır; ilgili form görüntüsü Şekil 4’ te sunulmaktadır. Söz konusu balkon uygulamaları için Şekil 5 ve Şekil 6’ da örnekler sunulmaktadır.

Formun içeriği aşağıdaki gibidir:

Address: _____ Zip: _____

Other Identifiers: _____

Building Name: _____

Use: _____

Latitude: _____ Longitude: _____

Sr: _____ Sr: _____

Screeners(s): _____ Date/Time: _____

No. Stories: Above Grade: _____ Below Grade: _____ Year Built: _____ ESI

Total Floor Area (sq. ft.): _____ Code Year: _____

Additions: None Yes, Year(s) Built: _____

Occupancy: Assembly Commercial Emer. Services Historic Shelter
Industrial Office School Government
Utility Warehouse Residential, #Units: _____

Soil Type: A B C D E F DNK
Hard Aug Dense Stiff Soft Poor /DNK, assume Type D.
Rock Rock Soil Soil Soil Soil

Geologic Hazards: Liquefaction: Yes/No/DNK Landslide: Yes/No/DNK Surf. Rupt.: Yes/No/DNK

Adjacency: Pounding Falling Hazards from Taller Adjacent Building

Irregularities: Vertical (type/severity) _____
 Plan (type) _____

Exterior Falling Hazards: Unbraced Chimneys Heavy Cladding or Heavy Veneer
 Parapets Appendages
 Other: _____

Şekil 4. FEMA-P 154 sismik tehlikesi yüksek bölgeler için bina bilgi formu

3.2.Bina risk durumu değerlendirmesi



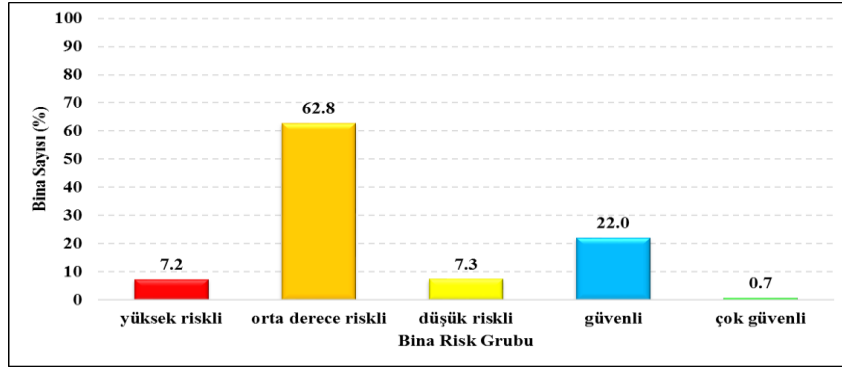
Şekil 5. Düşeyde yer yer çelik profillerle desteklenmiş balkon uygulaması



Şekil 6. Dış cephe kapatmak suretiyle odalara katılan balkon uygulaması

Veri değerlendirme sürecinin ikinci aşamasında bina performans puanları üzerinde yapılan istatistiki çalışma neticesinde risk sınıfları ve bu sınıflara ilişkin bina performans puanı sınırları Tablo 1’ de sunulduğu şekliyle belirlenmiştir. İncelenen yapılar için en küçük bina performans puanı -45 olarak hesaplanırken en yüksek puan 210 olarak belirlenmiştir. Kapsam dâhilinde (yönetmelik 8 kat ve üstü yapıları kapsamamaktadır) incelenen toplam 1177 adet bina için performans puanı ortalaması 58.2, standart sapması 47.6 olarak belirlenmiştir. Tablo 1’ de sunulan risk sınıfları dikkate alınarak yapılan hesaplama neticesinde 85 binanın yüksek riskli, 739 binanın orta derece riskli, 86 binanın düşük riskli, 259 binanın güvenli ve 8 binanın çok güvenli olduğu sonucuna varılmıştır. Bina risk durumuna ilişkin istatistiki veri Tablo 8 ve Şekil 7’ de sunulmuştur. Tablo 8’ de sunulan değerler bölgede incelenen toplam betonarme yapı sayısı üzerinden verilmiştir. **Tablo 8.** İncelenen binaların tamamı için risk durumu değerlendirmesine ilişkin sayısal veri

Renk	Risk sınıfı	Sayı	Yüzde (%)
Kırmızı	Yüksek riskli	85	7.2
Turuncu	Orta derece	739	62.8
Sarı	Düşük riskli	86	7.3
Mavi	Güvenli	259	22.0
Yeşil	Çok güvenli	8	0.7
TOPLAM:		1177	100



Şekil 7. Bina risk durumuna ilişkin istatistiki veri (toplam bina sayısına oranla % değerler)

Çalışma sonucunda, incelenen ve yönetmelik kapsamı dâhilinde değerlendirilen 1177 adet betonarme yapının %70' inin yüksek ve orta derece riskli yapılar sınıfında olduğu belirlenmiştir. Bu yapılar genel olarak Yenişehir bölgesinin imara açıldığı dönemin ilk zamanlarında inşa edilen konut yapılarıdır. Pek çoğu 30 yaşın üstünde olan yapıların bölgenin ağır iklim koşulları ile birlikte iyice yıprandığı ve ekonomik ömürlerini tamamlama aşamasında oldukları düşünülebilir. Güvenli olarak belirlenen

yapıların tamamına yakını tek katlı ticari yapılarıdır ve Marketler bölgesinde yoğunlaşmıştır.

Çalışmada ayrıca bina fonksiyonuna (konut, ticaret, sanayii, kamu ve metruk) bağlı olarak her yapı grubunun kendi içerisinde risk durumlarına ilişkin istatistiki veri tablolaştırılmış ve Tablo 9' da sunulmuştur. Çalışma alanında sanayii yapısı bulunmadığından bu yapılara ilişkin bir istatistik sunulmamaktadır.

Tablo 9. Konut Yapılarının Risk Durumunu Gösterir İstatistiki Veri

Bina fonksiyonu:		Konut		Ticaret		Kamu		Metruk	
Renk	Risk Sınıfı	Sayı	Yüzde (%)	Sayı	Yüzde (%)	Sayı	Yüzde (%)	Sayı	Yüzde (%)
Kırmızı	Yüksek riskli	101	11.0	0	0.0	1	2.6	0	0.0
Turuncu	Orta derece riskli	731	79.3	1	0.4	6	15.8	1	16.7
Sarı	Düşük riskli	60	6.5	13	5.7	12	31.6	4	66.7
Mavi	Güvenli	30	3.3	213	93.4	12	31.6	1	16.7
Yeşil	Çok güvenli	0	0.0	1	0.4	7	18.4	0	0.0
TOPLAM:		922	100	228	100	38	100	6	100

Yenişehir bölgesinin güncel hava fotoğrafı üzerinde Şekil 7' de kullanılan renklendirme ölçeği dikkate alınarak binalar işaretlenmiş ve bölgesel risk durumu görsel olarak ifade edilmiştir. İlgili çalışma Şekil 8' de sunulmaktadır. Fotoğraf incelendiğinde yüksek ve orta derece riskli yapıların bölge geneline yayılmış olduğu görülmektedir. Güvenli olarak

kabul edilen yapılar mavi etiketle işaretlenmiş ve Marketler bölgesi olarak adlandırılan alanda yoğunlaşmıştır. Çok güvenli olarak kabul edilen 8 adet yapının en yaşlısı 16 yıllık olup en fazla 4 katlı binalar bu grupta yer almıştır. Çok güvenli grupta yer alan yapıların tamamı betonarme çerçeve+perde türü taşıyıcı sisteme sahip yapılarıdır.



Şekil 8. Yenişehir bölgesi betonarme bina risk dağılım durumunu gösteren hava fotoğrafı

4.Değerlendirme ve Öneriler

Bu çalışmada, 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun kapsamında tanımlanan riskli yapıların tespitine ilişkin esaslar çerçevesinde Erzurum ili Palandöken ilçesi sınırları içerisinde Palandöken Belediyesi tarafından sınırları belirlenen alanda bulunan betonarme yapıların deprem risk durumları belirlenmiştir. Uygulama, Erzurum Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü son sınıf öğrencileri tarafından lisans bitirme tezi çalışması kapsamında grup çalışması olarak yapılmıştır. Çalışma sonuçlarının proje destekçisi Palandöken Belediyesi tarafından kentsel dönüşüm faaliyetlerinde bölgesel önceliklendirmelerin belirlenmesi amacıyla kullanılması öngörülmektedir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar ana hatlarıyla aşağıda sunulmaktadır.

- Çalışma kapsamında toplam 1194 adet bina için değerlendirme yapılmış 18 adedi yönetmelik uyarınca kat sayısının 8’den fazla olması nedeniyle kapsam dışı bırakılmıştır. Toplam 1177 adet bina üzerinde deprem risk değerlendirmesi yapılmıştır.
- Çalışma incelenen bölgedeki binaların birbirlerine göre risk durumlarını ortaya

koyan, bölgesel bir risk dağılımı değerlendirme çalışmasıdır. Bir başka deyişle, *incelenen bölgedeki yapıların risk durumlarına göre kendi içlerinde sıralanması* çalışmasıdır. Tekil olarak bina bazında yapılmış deprem güvenliği belirleme çalışması değildir.

- İncelenen bölgedeki betonarme yapıların %7.2’ nin yüksek riskli, %62.8’ inin orta derece riskli, %7.3’ ünün düşük riskli, %22’ sinin güvenli ve %0.7’ sinin çok güvenli sınıfında olduğu hesaplanmış ve güncel hava fotoğrafı üzerinde risk durumlarına gösterir renklendirme çalışması yapılmıştır.
- Palandöken Belediyesi’ nin kentsel dönüşüm çalışmalarına yüksek riskli binalardan başlaması ve çalışmayı orta derece riskli binalar ile devam ettirmesi önerilmektedir.
- Saha çalışması süresince halkın kentsel dönüşüm konusunda genel olarak bilinçli ve binalarının yenilenmesi konusunda talepkâr oldukları gözlemlenmiştir.
- İmar planları oluşturulmadan önce benzer çalışmaların yapılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.
- Çalışma neticesinde bir tür sağlama yapılması amacıyla her risk grubundan belli sayıda bina seçilerek ikinci aşama incelemelerinin yapılması ve elde edilen

sonuçların birinci aşama değerlendirme sonuçlarıyla kıyaslanmasına ilişkin çalışma devam etmektedir.

Bu çalışmada, 6306 sayılı Kentsel Dönüşüm Yasası uygulama yönetmeliği kapsamında yer alan hızlı değerlendirme tekniğinin geniş kapsamlı bir saha uygulaması yapılmıştır. Uygulama neticesinde yönetmeliğe ilişkin olarak aşağıdaki öneriler oluşturulmuştur:

- Bina performans puanı hesabında kullanılan görsel kalite parametresinin ısı yalıtımı amacıyla sonradan dışarıdan mantolama yapılmak suretiyle dış cephesi giydirilen binalar için değerlendirilmesi oldukça güç bir hal almıştır. Sıklıkla rastlanmaya başlanan bu durum için Yönetmelikte güncelleme yapılması önerilmektedir.
- Deprem esnasında bina dış cephesinden koparak yere düşmek suretiyle risk oluşturacak unsurlar ulusal yönetmelik kapsamında değerlendirilmeye alınmamaktadır. Yapılan saha çalışmasında çok sayıda yapıda bu tür unsurların bulunduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte 2015 yılında güncellenen Amerikan FEMA P – 154 dokümanında yer verilen benzer yöntemde (*sismik tehlikesi yüksek olan bölgelerde*) dış cepheden dökülme potansiyeli olan unsurlar bina performans puanı hesabında dikkate alınmaktadır. Yapılan çalışmanın bir risk değerlendirme çalışması olması nedeniyle Yönetmelikte bu hususu dikkate alan bir güncelleme çalışması yapılması önerilmektedir.
- Yönetmelik bina performans puanı hesabını detaylandırırken risk gruplarının belirlenmesi hususunu uygulamacılara bırakmaktadır. Çalışma bölgesel risk dağılımı değerlendirmesi amacıyla yapıldığından risk grupları için peşinen puan sınırları belirlemek gerçekçi değildir. Ancak; Yönetmelikte uygulamacılara risk gruplarının belirlenmesi hususunda yol gösteren bir yaklaşıma yer verilmesi önerilmektedir.

5. Teşekkür

Çalışma süresince proje ekibine her türlü teknik ve maddi desteği sağlayan Palandöken Belediyesi yönetimine belediye başkanı Sayın

Orhan BULUTLAR ve başkan yardımcıları Sayın Zafer Bülent ENGİN ve Sayın Turgay DÜRÜST nezdinde teşekkürü borç biliriz. Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. İlker KAZAZ' ın teknik değerlendirmeleri çalışmaya önemli katkılar sunmuştur; kendisine teşekkürlerimizi sunarız.

6. Semboller ve Kısaltmalar

RC:	Reinforced concrete
ABYYHY:	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
DBYBHY:	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
FEMA:	Federal Emergency Management Agency
PP:	Bina performans puanı
TP:	Taban puanı
O_i:	Olumsuzluk parametre değeri
OP_i:	Olumsuzluk parametre puanı
YSP:	Yapısal sistem puanı

7. Kaynaklar

1. ABYYHY:Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik.(1998). Mülga Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. Ankara.
2. DBYYHY:Deprem bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik.(2007). Mülga Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. Ankara.
3. 4708 Sayılı yapı denetimi hakkında kanun. (2001). 13/07/2001 tarih ve 24461 sayılı Resmî Gazete. Ankara.
4. Ekonomik Göstergeler-2012. (2012). Türkiye İstatistik Kurumu.TÜİK Matbaası. ISBN 978-975-195632-3. Ankara.
5. FEMA 154 - ATC-21: Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: a handbook. (1988). Applied Technology Council. Federal Emergency Management Agency. Washington DC.
6. FEMA 155-ATC-21-1:Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards:supporting documentation. (1988). Applied Technology Council. Federal Emergency Management Agency. Washington DC.
7. FEMA-154, FEMA 155: Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: a handbook. (2002). Second Edition. Applied Technology Council.

Federal Emergency Management Agency. Washington DC.

8. FEMA P-154: Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: a handbook. (2015). Third Edition. Applied Technology Council. Federal Emergency Management Agency. Washington DC.

9. Temür R.(2006). Hızlı durum tespit (DURTES) yöntemi ve bilgisayar programının geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi.İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 108s.

10.Sucuoğlu, H. (2007). Kentsel yapı stoklarında deprem risklerinin sokaktan tarama yöntemi ile belirlenmesi. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.

11. Sucuoğlu H, Yazgan U and Yakut A. (2007). A screening procedure for seismic risk assessment in urban building stocks. *Earthquake Spectra*. **23**. 441-458.

12. 6306 Sayılı afet riski altındaki alanların dönüştürülmesi hakkında kanun. (2012). 15/12/2012 tarih ve 28498 sayılı Resmî Gazete. Ankara.

13. Tozlu, Z., Anıl, Ö., ve Şahmaran, M. (2015). 6306 sayılı kentsel dönüşüm yasası kapsamında yer alan hızlı değerlendirme tekniğinin geniş kapsamlı saha uygulaması: Niğde örneği. *3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*. İzmir.

14. Google Earth. (2017). 15 Mart 2017 tarihli erişim. Erzurum.

15.1:250.000 Ölçekli Türkiye diri fay haritası serisi Erzurum (NJ 37-4) paftası. (2014). Seri No: 48. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Ankara.

16.Microsoft Excel - Office 2017. (2017). Erzurum Teknik Üniversitesi. Erzurum.

17. Isı yalıtımı yönetmeliği.(2008). 9/12/2008 tarih ve 27019 sayılı Resmi Gazete. Ankara.

Plazma Transferli Ark Kaynak Yöntemiyle Hardox 400 Çelik Malzemenin Yüzeyinin Farklı Oranlardaki FeCrC Tozuyla Alaşımlandırılması

Ali Kaya GÜR, Muhammet Hulusi CENGİZ*, Tülay YILDIZ, Semih TAŞKAYA
Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metallurji ve Malzeme Mühendisliği, Elazığ, Türkiye
*mhcengiz@hotmail.com

(Geliş/Received: 01.10.2017; Kabul/Accepted:02.11.2017)

Özet

Bu çalışmada, aşınmaya dayanıklı olan Hardox 400 çelik malzemenin yüzeyi B₄C, TiC, SiC tozlarını sabit olmak koşuluyla, FeCrC tozlarının farklı kombinasyonları kullanılarak plazma transferli ark (PTA) kaynak yöntemiyle alaşımlandırılmıştır. PTA kaynak ile yapılan kaplama işleminde FeCrC tozunun Hardox 400 çelik üzerine etkisi araştırılmıştır. Kaplama tabakası; mikrosertlik, optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışın difraktogramı (XRD) ve X ışını enerji dağılım spektrometresinden (EDS) faydalanılarak incelenmiştir. Optik mikroskop, mikroyapı incelemeleri ve mikrosertlik değerleri neticesinde, kaplama tabakası ile alt tabakanın birbirlerine metalurjik olarak bağlandığı, FeCrC'nin varlığında sertlik değerlerinde gözle görülür bir artış meydana geldiği ve aynı zamanda yapıda MC (metal karbür) ve Me-B (metal borür) fazları oluştuğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hardox 400, Plazma Transferli Ark, FeCrC, Borür ve Karbür

The Alloying of FeCrC Powder Different Rates at Hardox 400 Steel Surface by Plasma Transfer Arc Transfer Welding Method

Abstract

In this study, Hardox 400, which is resistant to abrasion, is alloyed with plasma transfer arc (PTA) welding method using different combinations of FeCrC powders, provided that B₄C, TiC, SiC powders are fixed to the steel surface. The effect of FeCrC powder on Hardox 400 steel was investigated in the PTA welding process. The coating layer was analysed using optical microscope (OM), scanning electron microscope (SEM), X-ray diffractogram (XRD) and X-ray energy dispersive spectrometer (EDS). As a result of optical microscope, microstructure analyses and microhardness, coating layer and the sub-layer were connected to each other metallurgical, there is a visible increase in hardness values in the presence of FeCrC and also MC (metal carbide) and Me-B (metal boride) phases were detected in the structure.

Keywords: Hardox 400, Plasma Transferred Arc, FeCrC, Boride And Carbide

1.Giriş

Yüzey mühendisliği konusundaki çalışmalar, insanoğlunun malzemeleri kullanması kadar eskidir. Geride kalan yüzyılda, bilim adamları yüzey mühendisliğini bir kavram olarak bilmemelerine karşın; bu konuda önemli geliştirici çalışmalarda bulunmuşlardır [1]. Metal yüzeylerinin dış ortamın zararlı etkilerinden korunması veya kullanım alanına göre; maruz kaldığı sürtünme, yorulma ve aşınmaları tamamen ve ya minimuma indirmek amacıyla çeşitli yüzey işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır

[2-4]. PTA tekniği, yoğun ve homojen kaplamalar, yüksek derecede tekrarlanabilirlik, maliyet etkinliği, endüstriyel olarak kolay bulanabilirliği, 6 mm kalınlığına kadar kolay kaplamalar ve güçlü metalurjik bağ meydana getirmesi sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır [5-8]. Bu yöntemde, kaplama tozları kaplanacak malzemenin yüzeyinde PTA kaynak yöntemiyle oluşturulan ergiyik havuza ayrı bir toz besleme ünitesiyle yedirilir [9]. Bununla birlikte, kaplama tozları malzemenin yüzeyine özel bağlayıcılarla yapıştırılarak da kaplama işlemi gerçekleştirilmektedir [10].

Tozlar, PTA kaynak yöntemi tarafından verilen enerjiyle ergitilerek kaplama ve alaşımlama işlemi yapılmaktadır [11]. Yüzey özellikleri ve kalitesi, kaplama işlemi gerçekleştirecek kaplama yöntemine ve seçilen alaşımlara bağlıdır [12]. Bu sebepten dolayı, PTA kaynak yöntemi ve lazer kaplama gibi yüksek enerji yoğunluklu kaynaklar kullanılarak yapılan yüzey kaplamaları, yüzeylerin mekanik, korozyon ve tribolojik özelliklerini geliştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır [13-16]. Liu, vd. (2006), orta karbonlu çelik yüzeyine Fe-Cr-C-Ni elementi tozlarını kullanarak PTA kaynak yöntemiyle $(Cr,Fe)_7C_3$ karbür takviyeli kompozit kaplamasını üretmişlerdir [17]. Pandey, vd. (2016), Hardox 400 çelik yüzeyinin aşınma özelliklerini geliştirmek amacıyla tungsten karbid elektrot kullanarak, metal ark kaynak yöntemiyle kaplama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Kullanılmış olan elektrot, 4.0 mm çap ve 350 mm uzunluğa sahiptir. Yüzey kaplama işleminde kaynak işlemi, 140A(Amper) ve 160A tercih edilmiştir. Tungsten karbid elektrotundaki karbonun varlığı ve Cr, Si gibi elementlerin sertliğe olan etkisi vurgulanmıştır. Kaplama işlemiyle birlikte ana metalin sertlik değeri 1.7 kat arttığı ve Amerikan Test Malzemeleri Derneği (ASTM) B117 tuz spreyle yapılan korozyon testi sonucunda herhangi bir pas ve leke meydana gelmediği belirtilmiştir. Aşınma direnci, artan amperle ve alaşım elementlerinin nufuziyeti sayesinde arttığı belirtilmiştir [18]. Xibao, vd. (2005), düşük karbonlu çelik yüzeyinde Fe-Ti alaşımı ile B_4C karbür tozları ergitilerek kaplama tabakaları üretilmiştir. Kaplama tabakalarının katılma sonrası mikroyapıları ve mekanik özellikleri ark enerji yoğunluğuna, kaplama tozunun miktarı, biçimi ve boyutundan önemli derecede etkilendiği belirlenmiştir [19]. Yao, vd. (2005), plazma transferli kaynak yöntemiyle ürettikleri Co esaslı Cr-W-C-Mo Stellite alaşımlarının kaplama malzemesinin abrazyon, adhezyon ve erozif aşınma gibi mekanik özellikleriyle beraber, korozyon-oksidasyon dirençlerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, kaplama tabakasının mikroyapısında ötektik üstü ve ötektik altı karbürlerin varlığı sayesinde aşınma ve korozyon direncinin ana malzemeye göre oldukça iyi olduğunu belirlemişlerdir [20]. Tabur, M. (2008), Hardox 400 çeliği ile dişlilerin

üretiminde yaygın olarak kullanılan AISI 8620 sementasyon çelikliğini borlayarak yüzey kaplama işlemi yapmıştır. Borlama işlemi için katı ortam tercih edilmiştir. Borlama işlemi sonucunda, Hardox 400 çeliğinin yüzey kaplama işlemi için uygun olduğu düzgün, çatlaksız bir yüzey morfoloji sayesinde kanıtlamıştır. Borlama işlemiyle Hardox 400 ve AISI 8620 çeliklerinin sertliği, x-ışını kırınım analizi ile görüntülenen FeB, Fe_2B borürler sayesinde arttığı vurgulanmıştır [21]. Zhang, vd. (2007), plazma transferli kaynak yöntemiyle düşük karbonlu çeliğin yüzeyini Fe esaslı alaşımlarla kaplama işlemi yapmışlardır. Üretilen kaplama tabakasının karakteristiklerini incelemişlerdir. Kaplama tabakasında östenit ve hiperötektik yapılar elde edilmiştir. Kaplama tabakasında birincil fazlar, dentritik östenit γ -Fe ile $(Fe,Cr)_7(C,B)_3$ ve $(Fe,Cr)_3C_2$ elde edilmiştir. γ -Fe fazı dengesiz katı çözelti fazıdır. Fe esaslı kaplama tabakası abrasiv aşınma testi sonuçlarında, kaplama tabakasının aşınma direncinin düşük karbonlu çelikten çok yüksek çıktığı tesbit edilmiştir. Buna dağınık dentritik östenitler, sert karbür ve borürler katkıda bulunmuştur. Kaplama tabakasının maksimum mikrosertliği 780 vickers sertliği (HV) çıkmıştır [22]. Liu, vd. (2006), PTA yöntemiyle yapılan $(Cr,Fe)_7C_3 / \gamma$ -Fe seramik kompozit kaplamaların adhesiv aşınma direnci ve mikroyapılarını incelemişlerdir. Çalışmada alt tabaka olarak 0,45 C'lu çelik yüzeyine PTA metoduyla FeCrC kaplanmıştır. Kaplama tabakasında hızlı katılma seramik ikincil dentritler $(Cr,Fe)_7C_3$, ve dentritler arası $(Cr,Fe)_7C_3 / \gamma$ -Fe içeren ötektik fazlar oluşmuştur. Kaplama işlemi 120 A' de ve Ar atmosferinde yapılmıştır. Oluşan M_7C_3 ve M_7C_3 / γ fazlarının varlığından dolayı kaplama tabakasının aşınma direnci oldukça yüksek çıkmıştır. Kaplama tabakasının aşınma davranışı alt malzeme olan % 0,45 C'lu çelikten çok daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca kaplama tabakasının maksimum mikrosertliği 850 HV civarına çıkmıştır [23]. Gür, vd. (2017), AISI 304 çeliğinin yüzeyine Fe-Cr- B_4C kompozit kaplamasıyla, PTA kaynak yöntemi kullanılarak kaplanma işlemi yapmışlar. PTA kaynak yönteminde yüksek ısı girdisiyle kaplanan numunede Fe-Cr- B_4C toz karışımı başarıyla ergitildiği, kaplama da herhangi bir çatlama olmadığı bununla birlikte M_7C_3 karbürü,

$M_{23}(C,B)_6$ borür karbürü ve (Cr,Fe) B borürlerin oluştuğu dolayısıyla sertliklerinde karbürlerin önemli bir faktör oluşturduğu görülmüştür [24]. Kononov, vd. (2016), aşınmaya dayanıklı çelik gruplarından Hardox 450'nin yüzeyine Özlü tel kullanarak yüzey kaplama işlemi yapılmış ve bu oluşumun metalografik incelemesi yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, yapıda $M_{23}C_6$ ($(Cr, Fe, W)_{23}C_6$), NbC karbürler tesbit edilmiştir. Malzemenin aşınma direnci, Hardox 450 çeliğinden daha yüksek olduğu ve ikinci birikmiş tabakanın malzemenin tribolojik özelliklerini pek fazla etkilemediği sonucuna varmışlardır. Gelişen çok fazlı mikron altı ve nanoyapıya bağlı olarak, çökelmiş tabakanın mekanik ve tribolojik özelliklerinin geliştirilmesinin mümkün olduğu bulunmuştur. Ayrıca Fe, Cr, W ve Nb karbürlerinin mukavemet özelliklerini artırdığı tespit edilmiştir [25]. Mindivan, H. [26] darbeli plazma nitrürleme ve borlama işlemlerinin bir kombinasyonunu içeren dubleks muameleyle, Hardox 400 çeliği için iki aşamalı bir yöntemle kaplama işlemi yapılmış ve XRD işlemi sonucu FeB, Fe_2B , Fe_4N gibi sert fazlar tespit edilmiş, akabinde aşınma testine maruz bırakılarak, darbeli plazma nitrasyonundan sonra borlama işleminin, sürtünme katsayısını ve aşınma oranını azaltmada faydalı bir etkiye sahip olduğunu mikroskopik incelemelerle ortaya koymuştur.

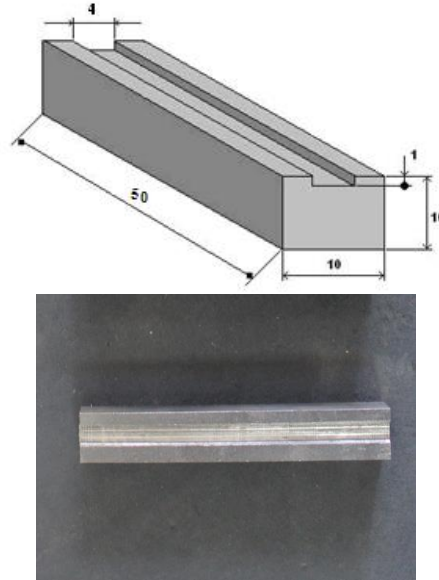
Bu çalışmada, PTA kaynak yöntemiyle, Hardox 400 çeliğinin yüzeyi diğer tozlar sabit olmak koşuluyla, FeCrC tozlarının farklı kombinasyonları kullanılarak alaşımlandırılmıştır. Kaplama tabakası sabit akım ve sabit hız değerleriyle, koruyucu gaz atmosferinde yapılmıştır. Kaplama tabakasının ve Hardox 400 çelik ile kaplama tabakasının arayüzeyi, optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X ışın analizleriyle incelenerek mikrosertlikleri tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Method

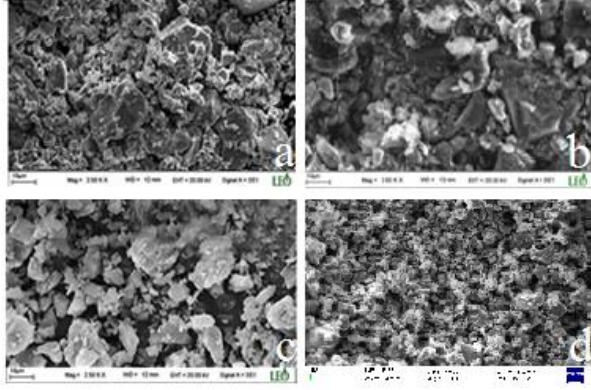
Yüzey alaşımlama işleminde alt tabaka malzemesi olarak, 10 mm x 10 mm x 50 mm ölçülerindeki aşınmaya dayanıklı Hardox 400 çelik kullanılmıştır (Şekil 1). PTA ile alaşımlama yöntemi öncesinde, çelik malzemelerinin yüzeyleri aseton ile temizlenerek kurutulmuştur.

4 mm genişlik ve 1 mm derinliğine sahip kanallar açılarak, alaşımlanacak tozların kanallara yerleştirilmesi sonrasında alkol ile karıştırılıp sıvanarak preslenmiştir. Kullanılan tozun SEM görünüşü Şekil 2' de verilmiştir. Alaşımlama tozları olarak Tablo 1' de kimyasal bileşimleri verilen B_4C , SiC, TiC, oranları sabit tutulmuş FeCrC %70, %55, %40 ve %25 oranlarında tatbik edilmiştir. PTA yüzey alaşımlama yönteminde ark üflemesinin sebep olacağı tozların sıvanan yüzeyden uzaklaşmaması için bir miktar sodyum silikat bağlayıcıyla kaplama yüzeyinde tutulup 50 °C sıcaklıkta 30 dk kurutulmuştur. Bu görüntü SketchUp Pro 2016' da çizilerek sunulmuştur (Şekil 3).

Numuneler kurutulduktan sonra PTA yöntemiyle Hardox 400 çelik malzeme Şekil 4'de ki gibi Tablo 2'de ki parametrelere uygun olacak şekilde Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü atelyesinde bulunan Thermal Dynamic/Arc marka PTA kaynak makinesi kullanılarak alaşımlandırılmıştır. Bu işlem sırasında birinci N_1 nununesi %70 oranında FeCrC, N_2 nununesi %55 FeCrC, N_3 nununesi %40 FeCrC, N_4 nununesi %25 FeCrC oranında alaşımlandırılmıştır.



Şekil 1. Hardox 400 numune boyutları ve optik resmi

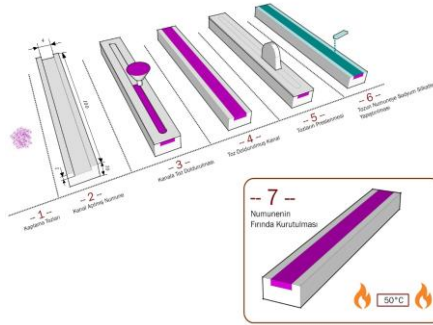


Şekil 2. Alaşımlamada kullanılan tozların morfolojisi, SEM resmi (a. B₄C Tozu, b. FeCrC Tozu, c. SiC Tozu, d. TiC Tozu)

PTA yöntemiyle yapılan yüzey alaşımlama işleminde üretim parametreleri Tablo 2’ de verilmiştir. PTA kaynak yöntemiyle yüzey alaşımlama işlemi 130A’de gerçekleştirilmiştir. Argon koruyucu gazının debisi 25 lt/dak ve plazma gazının debisi 0,5 lt/dak olarak seçilmiştir. PTA kaynak yöntemiyle yapılan alaşımlama işleminde kaplama malzemesinin makro görünüşü Şekil 5’ de verilmiştir. Alaşımlama sonrası katılma işlemi neticesinde yüzeyde herhangi bir makro çatlğa rastlanılmamıştır.

Tablo 1. Hardox 400 çelik tabakası ile alaşım tozlarının kimyasal bileşimleri

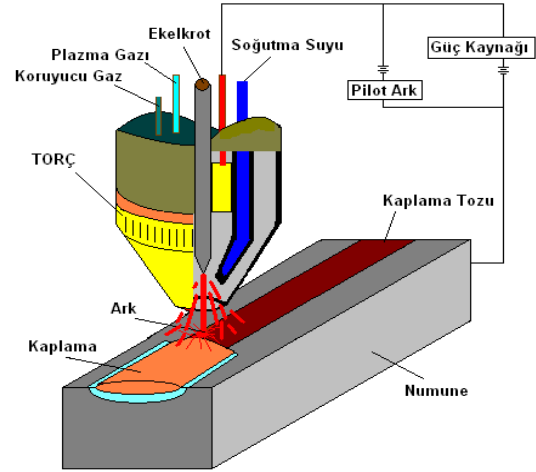
	Kimyasal Bileşim (% ağırlık)										
	Cr	C	B	Ni	Si	Mn	W	P	S	Mo	Fe
Hardox 400	0,50	0,15	0,004.	0,25	0,70	1,60	-	0,025	0,010	0,25	-
FeCrC	70.21	12.44	-	-	1.08	-	-	-	-	-	Diğ.
B ₄ C	%99 Saflıkta										
SiC	%99 Saflıkta										
TiC	%99 Saflıkta										



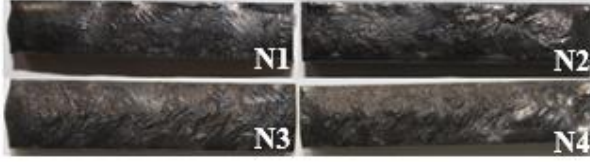
Şekil 3. Alaşımlanacak olan Hardox 400 numunenin kaynak işlemine hazırlanması

Tablo 2. PTA kaynak yöntemiyle alaşımlama işlem parametreleri

Akım (A)	130
Gerilim (V)	18
Koruyucu gaz debisi (m ³ /h)	25
Plazma gaz debisi (m ³ /h)	0,5, Ar
Elektrod çapı (mm)	4,7
Elektrot Türü	% 2 thoryumlu tungsten elektrot
İlerleme Hızı (m/dak)	0,15
Torç Malzeme Arası Mesafe (mm)	3~4
Torç Uç Çapı (mm)	3,25
Set Back (mm)	4
Isı Girdisi (KJ) Q	9,3
Enerji Girdisi (KJ) Qw	5,115
η:0,55	

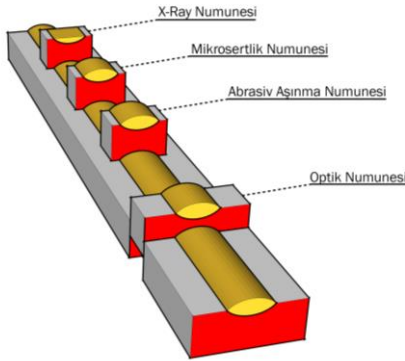


Şekil 4. PTA kaynağı ile alaşımlama yönteminin şematik resmi[27].



Şekil 5. Alaşımlama yapılmış numunelerin makro resimleri

Mikroyapı incelemeleri için optik mikroskop (OM) taramalı electron mikroskobu (SEM), faz analizleri için X-ışını difraksiyonu (XRD) ve X ışını enerji dağılım spektrometresinden (EDS)' den faydalanılmıştır. Alaşımlanmış yüzey tabakasının mikrosertlikleri yan kesit kaplama ara tabakasından başlanıp, 100 µm(mikrometre) mesafelerde, Fırat Üniversitesi Prof.Dr Nuri ORHAN Metalografi Laboratuvarında bulunan Duraschan 20 mikrosertlik cihazında mikrosertlik alınmıştır.



Şekil 6. İnceleme numunelerinin çıkarılışı

3. Sonuçlar ve Tartışma

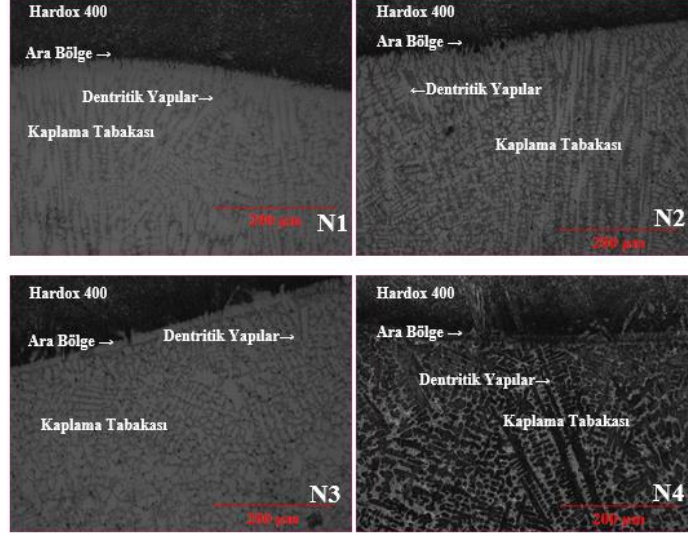
PTA yöntemiyle, aşınmaya dayanıklı Hardox 400 çelik yüzeyinde oluşturulan ve Şekil 7'de optik görünüşü verilen kaplama tabakasının kalınlığı ısı girdisinin varlığıyla 1.4 ± 0.7 mm arasında değişmektedir. Kaplama tabakası ile alt tabaka arayüzey bölgesinde dendritik katılma gerçekleşmiştir. Katılma yönü kaplama alt tabaka arayüzeyine dik yöndedir. Dendritik bölge, kaplama tabakasında ortalama 400 µm'lik bir bölgesinde meydana gelerek ikincil, yer yer üçüncül dendritik kollar şeklinde göstermiştir. Bununla birlikte ara bölgeden uzaklaştıkça taneler küresel, hegzagonik bir görüntü almıştır. PTA kaynak yönteminde, hem yüzeyi hem de

kaplanan toz ve karbürlere verilen enerji oldukça yüksektir. Yerel olarak ergitilen alt tabaka malzemesiyle kaplama malzemesinin soğuma ve katılma hızı da bir o kadar yüksektir. Yüksek sıcaklıkta karbür ve alaşım elementlerin çözünmesi neticesinde eğiyik havuz içerisinde katılma sırasında yeni bir faz ve karbürlere oluşturarak katılır [27]. Bununla birlikte yeterli sıcaklık ve zaman bulunmadığında toz taneleri çözünmez, taneler eğiyik havuz içerisinde çözünmeden yapı içerisinde blok halinde bir katılma sergiler [19]. Şekil 5' de de görüldüğü üzere, FeCrC karbür ve diğer element tozlarıyla yapılan kompozit kaplamasında, tüm toz taneleri tamamiyle çözünerek, yapı içerisinde homojen bir şekilde katılma göstermiştir.

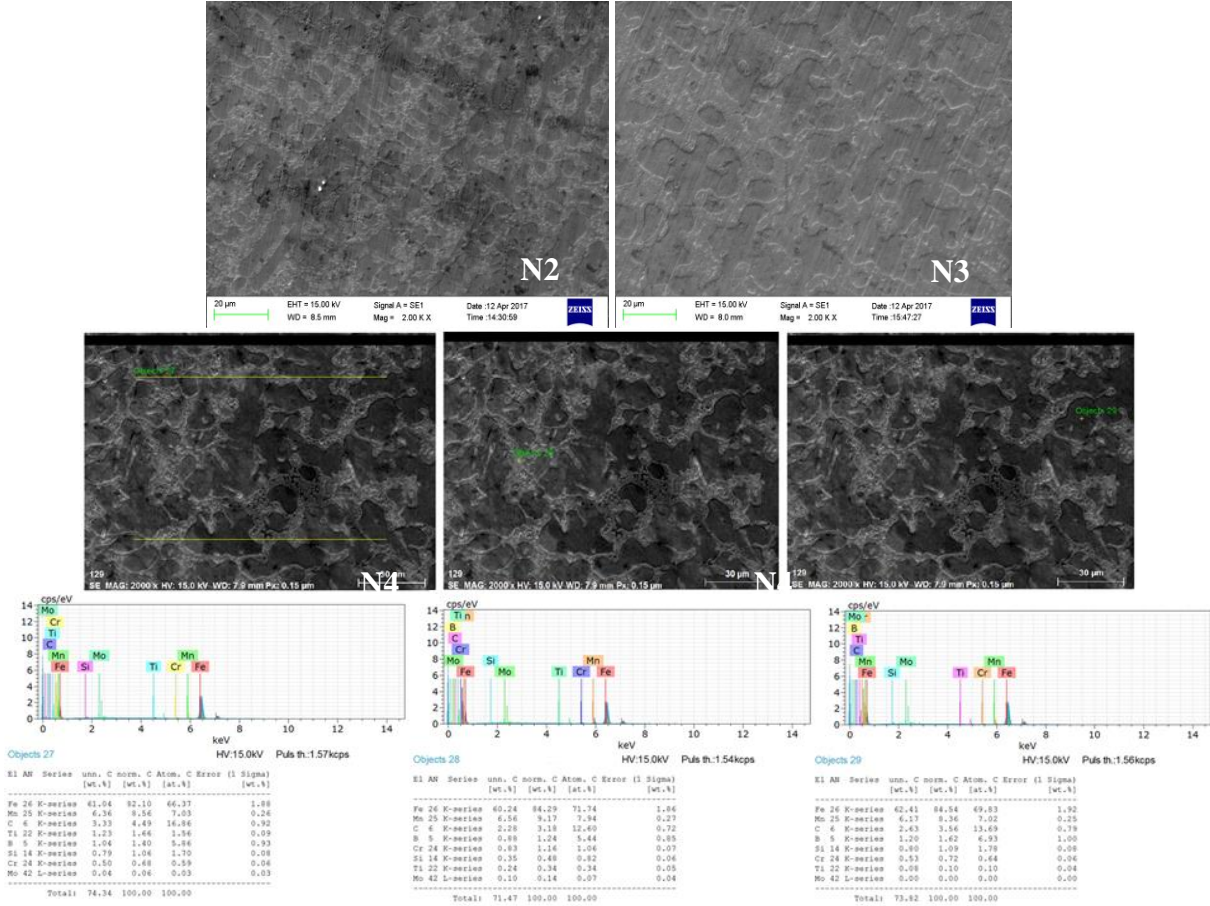
Alaşımlanmış kaplama tabakasının üst yüzey bölgesine bakıldığında dendritik yapı daha çok martenzitik görünümüne sahip küçük tanelere bırakmıştır. PTA işlemi sonrasında alaşımlanmış kaplama tabakasının ovale yakın bir görüntü aldığı, maksimum nüfuziyetin ortada olduğu kenar bölgelerine doğru gidildikçe ise kalınlığın incelendiği görülmektedir. Bu görüntünün oluşumuna enerji yoğunluğunun elektrot ucuna dik olan doğrultuda daha yoğun şekilde meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 6' da Fırat Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı EVO MA10 cihazında alınan SEM ve EDS görüntülerinde fazlar matrisi çepeçevre sarmıştır. Ötektik matristen alınan EDS verilerine dayanarak elementlerin yapı içine nüfuz ettiği, Şekil 6 (N2) numunesinde dendritik yapılar kendisini ikincil, yer yer üçüncül dendritik kolları şeklinde göstermiştir. Şekil 6 (N3)' de dendritler arası ötektik matriste katılan fazlar, yapı içerisinde görüldüğü gibi yoğundur. Bununla birlikte östenit yapı yüksek sıcaklığa çıkıldıktan sonra katılma bırakılırsa, yüksek konsantrasyonlu Cr elementine sahip bir yapı oluşarak malzemeyi korozyona karşı daha dayanıklı yaparak koruyacaktır [20]. Şekil 6 (N4)' de oluşan fazlar, FeCrC oranındaki azalmayla birlikte dendritik kollar arasındaki mesafeler daha genişleyerek katılma meydana geldiği görülmektedir. Şekil 6 (N4) bölgesel ve noktasal EDS analizinde tespit edilen Fe, Cr, C elementlerinin alaşımlanan altlığa yüksek oranda geçtiği görülmektedir. Yapıda bulunan karbürlere ise ısı girdisinin artmasına bağlı olarak altlık

malzemenin daha yoğun ergimesiyle kimyasal kompozisyon farkından ve katılaşma zamanının değişmesinden ötektik yapı içinde dağıldığı düşünülmektedir. Bu sonuç Şekil 7 XRD analizinde, N1-N4 numaralı numunelerinin

alaşımlanmış kaplama tabakasının X-ışını difraktogramında verilmiştir.



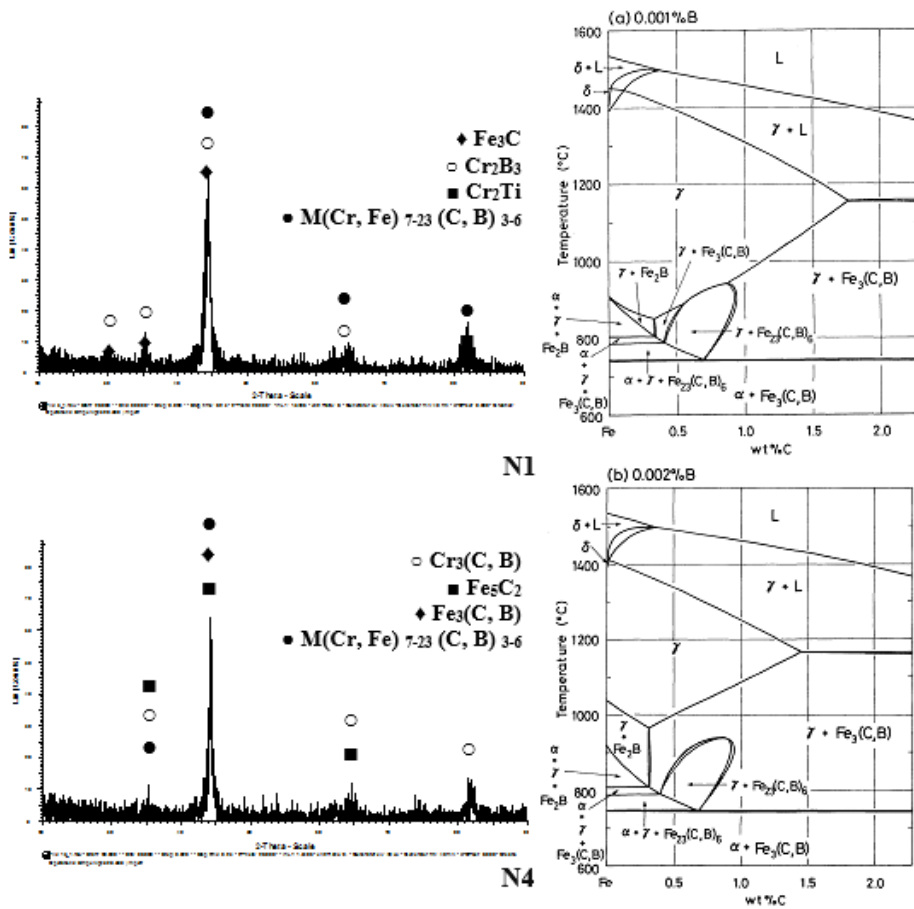
Şekil 7. FeCrC toz karışımıyla elde edilen alaşımlanmış kaplama/ alt tabaka arayüzünün optik görüntüleri



Şekil 8. Numunelerin alaşımlanmış kaplama tabakasının SEM ve EDS analizleri

Fırat Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı D8 Advance'den alınan EDX verilerindeki elementlerin varlığına dayanarak X-ışını sonucu, PTA yardımıyla kaplama tabakasında $Fe_3(C, B)$, $M(Cr, Fe)_{7-23}(C, B)_{3-6}$, $Cr_3(C, B)$, Cr_2B_3 , Fe_5C_2 , Cr_2Ti karbür ve intermetalik bileşikler Şekil 8'de varlığını göstermektedir. Şekil 9'da ki Fe-C-B üçlü denge diyagramının varlığında oluşabilecek fazların göstergesidir. N1 nolu numunenin aksine N4 numunesinde Fe_3B borürü tespit edilmiştir. Bu oluşumun meydana gelme sebebi yüksek ısı girdisinden dolayı katılma hızının değişmesi

ile daha fazla demirin yapıya karışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.[28] EDX sonuçlarında bu numunenin kaplama tabakasında daha fazla demirin bulunduğunu doğrulanmaktadır. $FeCrC$ ile alaşımlandırılmış numunelerin kaplama tabakasından alınan sertlik değerlerinin ortalaması N1:946, N2:941, N3:879 ve N4:815 Hv değerlerine çıkmıştır. Bu değerlerin yüksek çıkmasında kaplama tabakasında oluşan sert karbür fazların varlığı söz konusu olduğu düşünülmektedir



Şekil 9. N1 ve N4 alaşımlanmış numunelerin kaplama tabakasından alınan XRD analizi ve Fe-C-B üçlü denge diyagramı.

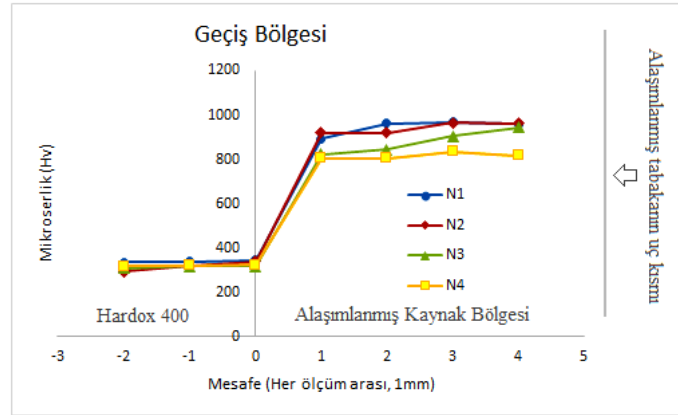
PTA yöntemi yüksek enerji girdisi avantajı ile birlikte $FeCrC$ bileşiğinin kaplama sonrasında yüzeye nüfuz ettiği ve arayer fazı oluşturması sebebiyle sertleşmeyi artırdığı düşünülmektedir. Ayrıca yüksek enerji girdisine sahip PTA yönteminin yine mikroyapıda oluşan karbürlerin ergimesine yardımcı olmasıyla mikroyapıda karbürlerin homojen bir şekilde yapıya dahil olmasına sebep olup, sertlik değerlerini olumlu

yönde etkilemiştir. Geleneksel tekniklerle üretilen $Fe+Cr+C$ alaşımlarında mikroyapı içerisinde ferrit ve kompleks M_3C , M_7C_3 ve $M_{23}C_6$ karbürlerinin şekillendiği tespit edilmektedir [29]. Cr_7C_3 ile iyi süneklik, dayanım ve uyuma sahiptir. Kaplama ile oluşturulan bu kompozit tabaka $(Cr, Fe)_7C_3$ fazı ile güçlendirilerek iyi aşınma direnci ve yüksek sertliğe sahip olmuştur [30]. Bu değerlerin

yüksek çıkmasında, oluşan $Fe_3(C, B)$, $M(Cr, Fe)_{7-23}(C, B)_{3-6}$, $Cr_3(C, B)$, Cr_2B_3 , Fe_5C_2 , sert faz, karbür ve borürlerin oluşması sebep olmuştur. Ayrıca FeCrC tozunun karbon oranının fazla olmasından, kaynak banyosunda karbür affinitesi yüksek olan krom ile yoğun bir karbür ağı oluşmaktadır. FeCrC ilavesiyle bu durum daha da yükselmesine sebep olmaktadır. Kaplanan ana malzemeden başlanarak, kaplama tabakasının altında gerçekleşen az orandaki difüzyonla birlikte sertlik artmaya başlamış (Şekil 8); daha sonra karbür bileşiklerinin oluşmasıyla ara tabakada hızla sertlik artışı gözlenmiş ve ara tabakadan yaklaşık 0,2 mm uzaklıktan itibaren sertlik 804–969 HV değerlerine kadar ulaşmıştır [23]. Kaplama tabakasında oluşan karbür ve metalik bileşiklerin homojen dağılımı sonucunda, tabaka içerisinde sertlik dağılımı tamamen dengeli bir şekilde gerçekleşmiştir. Şekil 10’ da görüldüğü gibi ortalama maksimum mikrosertlik N1’ de gözlenmektedir. Bu değer Hardox 400 çeliğinin sertliğinden önemli oranda fazladır. En düşük sertlik değeri ise N4 numunesinde ölçülmüştür. Tüm numunelerinin

kaplama bölgesi sertlik dağılımları, homojen bir dağılım göstermektedir.

Genel sonuçlar olarak, PTA kaynak yöntemi kullanılarak Hardox 400 aşınmaya dayanıklı çelik yüzeyinde FeCrC tozu ve diğer karbür element tozları başarılı bir şekilde ergitilerek alaşımlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaplama tabakasının makroyapısına göre herhangi bir makro ve mikro çatlak meydana gelmemiştir. Katılama sonrası mikroyapıda Cr_2B_3 , $Fe_3(C, B)$, Fe_5C_2 , $M(Cr, Fe)_{7-23}(C, B)_{3-6}$, $Cr_3(C, B)$, Cr_2Ti karbür ve intermetalik bileşikler meydana gelmiştir. Altlık malzemesinin sertliği 319 HV iken en yüksek 969 HV değerleriyle N1 numaralı numunede saptanmıştır. Sertlik değerlerinin bu kadar yüksek çıkmasında alaşımlama tozunda bulunan karbür yapıcı tozların ilavesiyle kaplama tabakasında oluşan MC ve MB sert fazlarının [31-34] ve dağınık halde bulunan dentritik yapılar sebep olmuştur. Sonuçta; Hardox 400 çelik altlığına PTA yardımıyla alaşımlama işlemi yapılmış ve altlık malzemeye nazaran, kaplama tabakasının sertliği oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 10. Mikrosertlik değerleri

4. Teşekkür

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) Proje No: TEKF-1622 tarafından desteklenmiştir.

5. Kaynaklar

1. Burakovski, T., Wierzchon, T. (1999). Surface engineering of metals, (Ed) Ralph B., CRC Press LLC, London press, 1: 1-52.

2. Lo, K.H., Cheng, F.T. and Man, H.C. (2003). Cavitation erosion mechanism of S31600 stainless steel laser surface-modified with unclad WC, *Materials Science and Engineering A*, **357**: 168–180.

3. Bourithis, L., Milonas, Ath. and Papadimitriou, G.D. (2003). Plasma transferred arc surface alloying of a construction steel to produce a metal matrix composite tool steel with TiC as reinforcing particles: *Surface and Coatings Technology*, **165**: 286–295.

4. Lu, S.P., Kwon, O.Y. and Guo, Y. (2003). Wear behavior of brazed WC/NiCrBSi(Co) composite coatings, *Wear*, **254**: 421–428.
5. Fauchais, P.L., Heberlein J.V.R. ve Boulos, M.I. (2014). Plasma-Transferred Arc Thermal Spray Fundamentals, *Thermal Spray Fundamentals*, 631–673.
6. Takano, E.H., Queiroz, D.D. and D'Oliveira, A.S.C.M. (2010). Evaluation of processing parameters on PTA hardfacing surfaces, *Welding International*, **24**: 1754-2138.
7. Yaedu, A.E., D'Oliveira, A.S.C.M. (2005). Cobalt based alloy PTA hardfacing on different substrate steels, *Materials Science and Technology*, **21**: 459-466.
8. Sigolo, E., Soyama, J., Zepon, G., Kiminami, C.S., Botta, W.J. and Bolfarini, C. (2005). Wear resistant coatings of boron-modified stainless steels deposited by Plasma Transferred Arc, *Surface & Coatings Technology*, **302**: 255-264.
9. Xibao, W., Hua, L. (1998). Metal powder thermal behaviour during the plasma transferred-arc surfacing process, *Surface and Coatings Technology*, **106**: 156-161.
10. Bourithis, L., Papadimitriou, G.D. (2009). The effect of microstructure and wear conditions on the wear resistance of steel metal matrix composites fabricated with PTA alloying technique, *Wear*, **266**: 1155-1164.
11. Xibao, W., Chunguo, L., Xiaomin, P., Libo, S. and Hong, Z. (2006). The powder's thermal behavior on the surface of the melting pool during PTA powder surfacing, *Surface and Coatings Technology*, **201**: 2648-2654.
12. Krishna, B.V., Misra, V.N., Mukherjee, P.S. and Sharma, P. (2002). Microstructure and properties of flame sprayed tungsten carbide coatings, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, **20**: 355-374.
13. Liu, X.B., Gu, Y.J. (2006). Plasma jet clad $\gamma/\text{Cr}_7\text{C}_3$ composite coating on steel, *Materials Letters*, **60**: 577-580.
14. Skarvelis, P., Papadimitriou, G.D. Plasma transferred arc composite coatings with self lubricating properties. (2009). Based on Fe and Ti sulfides Microstructure and tribological behavior, *Surface and Coatings Technology*, **203**: 1384-1394.
15. Bourithis, E., Tazedakis, A. and Papadimitriou, G. (2002). A study on the surface treatment of “Calmax” tool steel by a plasma transferred arc (PTA) process: *Journal of Materials Processing Technology*, **128**: 169-177.
16. Huang, Z., Hou, Q. and Wang, P. (2008). Microstructure and properties of Cr_3C_2 -modified nickel-based alloy coating deposited by plasma transferred arc process, *Surface and Coatings Technology*, **202**: 2993-2999.
17. Liu, Y.F., Xia, Z.Y., Han, J.M., Zhang, G.L. and Yang, S.Z. (2006). Microstructure and wear behavior of $(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$ reinforced composite coating produced by plasma transferred arc weld-surfacing process, *Surface and Coatings Technology*, **201**: 863-867.
18. Pandey, K.P., Ranjit, S. (2016). Experimental Investigation of Surface Properties of Hardox 400 Hardfaced with WC, *International Journal of Engineering Research & Technology*, **5(5)**: 622-626.
19. Xibao, W., Xiaofeng, W. and Zhongquan, S. (2005). The composite Fe–Ti–B–C Coatings by PTA powder surfacing process, *Surface and Coatings Technology*, **192**: 257-262.
20. Yao, M.X., Wu, J.B.C., Xu, W. and Liu, R. (2005). Metallographic study and wear resistance of a high-C wrought Co-based alloy Stellite 706K, *Materials Science and Engineering A*, **407**: 291-298.
21. Tabur, M. (2008). Examination Of The Abrasive Wear Behaviour Of Boron Carbide Coated AISI 8620 And Hardox 400 Steels. MSc Thesis, *Gazi University*. 173-176.
22. Zhang, L., Sun, D., Yu, H. and Li, H. (2007). Characteristic of Fe-based Alloy Coating Produced By Plasma Cladding Process, *Materials Science and Engineering A*, **457**: 319-324.
23. Liu, Y.F., Han, J.M., Li, R.H., Li, W.J., Xu, X.Y., Wang, J.H. and Yang, S.Z. (2006). Microstructure and dry-sliding wear resistance of PTA clad $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3/\gamma\text{-Fe}$ ceramal composite coating, *Applied Surface Science*, **252**: 7539-7544.
24. Gür, A. K., Kaya, S. (2017), “Abrasive wear resistance optimization of three different carbide coatings by the Taguchi method”, *Materials Testing*, **59(5)**: 450-455.
25. Kononov, S., Kormyshev, V., Gromov, V. and Ivanov, Yu. (2016). Metallographic Examination of Forming Improved Mechanical Properties via Surfacing of Steel Hardox 450 with Flux Cored Wire, *Materials Science Forum*, **870**: 159-162.
26. Mindivan, H. (2013). Effects of Combined Diffusion Treatments on the Wear Behaviour of Hardox 400 Steel, *Procedia Engineering*, **68**: 710-715.
27. Yildiz, T., Gür, A.K. (2011). Microstructural characteristic of N₂ shielding gas in coating FeCrC composite to the surface of AISI 1030 steel with PTA method, *Archives of Metallurgy and Materials*, **56(3)**: 723-729.
28. Gürgeç, T., Özel, C. (2016). Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of FeCrC, FeB and FeW Alloys Coated AISI 1020 Steel Using PTA Method, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **28(2)**: 221-232.
29. Yılmaz, O., Ozenbaş, M. and Korkut M.H. (2002). Microstructural Characteristics of Gas Tungsten Arc Synthesised Fe-Cr-Si-C Coating, *Material Science and Technology*, **18**: 1209-1216.

- 30.** Liu ,Y.F., Xia, Z.Y., Han, J.M., Zhang, G.L. and Yang, S.Z. (2006). Microstructure and wear behavior of (Cr,Fe)7C3 Reinforced Composite Coating Produced by Plasma Transferred Arc Weld-Surfacing Process, *Surface and Coating Technology*, **201**: 863–867.
- 31.** Gür, A.K. (2013). Investigating the wear behaviour of FeCrC/B4C powder alloys coating produced by plasma transferred arc weld surfacing using the Taguchi method, *Materials Testing*. **55**: 462-467.
- 32.** Gür, A.K, Ozay, C., Orhan, A., Buytoz, S., Çalgülü, U and Yigittürk, N. (2014). Wear Properties of Fe-Cr-C and B4C Powder Coating on AISI 316 Stainless Steel Analyzed by the Taguchi Method, *Materials Testing*, **56**: 393-398.
- 33.** Gür, A.K., Yildiz, T. (2008). The Effect at Wear Behavior Of Coating Layer of Proportion Gases N2, *Technological Applied Sciences*, **3(4)**: 627-635.

Retinal Görüntülerden Optik Diskin Aktif Kontur Yöntemi ile Bölütlenmesi

Seda Arslan TUNCER

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yazılım Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ
satuncer@firat.edu.tr

(Geliş/Received:23.10.2017; Kabul/Accepted:11.02.2018)

Özet

Optik disk, genellikle gözün ortasına konumlanmış sarımsı renkte, parlak ve yuvarlak disk görünümündedir. Optik Disk'in retinal görüntülerinden elde edilmesi Diyabetik Retinopati, Yaşa Bağlı Makula Dejenerasyonu (YBMD) , Glukoma gibi hastalıkların teşhisi için önemlidir. Optik diskin manuel elde edilmesi hastalık teşhisinde hekim iş yükünü arttırmaktadır. Bunun yanı sıra hekim dikkat dağılmasına bağlı olarak hastalık teşhisinde yanılmalar olabilmektedir. Bu dezavantajları ortadan kaldırmak ve hekimin hastalık teşhisine yardımcı olmak için bu makalede Aktif Kontur yöntemi ile Optik Diskin bölütlenmesi sunulmuştur. Bölütleme işlemi Dice katsayısı ve karışıklık matrisi ile tanımlanabilen doğruluk, kesinlik ve duyarlılık parametreleri ile incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Optik Disk, Aktif Kontur, Dice Benzerlik Katsayısı

Optic Disc Segmentation from Retinal Images by Active Contour Method

Abstract

The optic disc is usually a yellowish, bright, round disc that is located in the center of the eye. Obtaining of Optic Disc from Retinal Images is important for the diagnosis of diseases such as Age-Related Macular Degeneration (AMD), Diabetic Retinopathy, Glucoma. Obtaining manuel of optic disc increases physician workload in diagnosis of disease. Besides, the physician can be mistaken in diagnosing the disease due to distraction. In order to eliminate these disadvantages and to help the physician diagnose the disease, in this paper, optic disc segmentation is presented by Active Contour method. The segmentation process is investigated with the accuracy, precision, sensitivity , Dice coefficient parameters which can be defined by the complexity matrix.

Keywords : Optic Disc, Active Contour, Dice Similarity Coefficient

1. Giriş

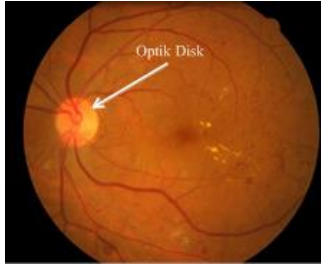
Teknolojinin gelişmesi ile birlikte görüntüler sayısal ortama aktarılmıştır. Görüntü işleme, görüntüyü işlemek, görüntüyü değiştirmek veya görüntüyü iyileştirmek gibi nedenlerle kullanılır. Görüntü işlemenin yaygın olarak kullanıldığı alanlardan birisi ise tıbbi görüntüleme sistemleridir. Röntgen, Bilgisayarlı Tomografi (BT), Ultrason, Sintigrafi, Manyetik Rezonans (MR) vb. gibi cihazlar ile tıbbi görüntüler elde edilir.

Gelişen bilgisayarlı teknikler sayesinde retina görüntülerinde hastalıkların teşhisi ve ön tanı kolaylıkla yapılabilmektedir. Retinal görüntülerdeki damarlar, optik disk, gibi yapılar ve üzerlerinde oluşan bozulmaların tespiti retinal

görüntü üzerinde hastalık teşhisi ve takibi için çok önemlidir. Örneğin, Diyabetik Retinopati, Yaşa Bağlı Makula Dejenerasyonu (YBMD) , Glukoma vb. bazı hastalıklar retinal görüntüler üzerindeki dejenerasyonlardan tespit edilebilmektedir. Özellikle göz için hayati önem taşıyan DP ve glukoma gibi hastalıkların tespiti için ilk aşamayı optik diskin tespiti oluşturmaktadır. Hekimlerin optik disk üzerindeki anormallikleri belirlerken ki yorgunluk vb. fiziksel sebeplerden dolayı hatalı tanımlar konulabilmektedir. Hata oranını ve hekimlerin iş yükünü azaltmak, hastalığın teşhisine yönelik parametrelerin belirlenmesini hızlandırmak için otomatik sistemlere ihtiyaç duyulmuştur. Otomatik sistemlerin geliştirilip kullanılması çok büyük veri yığınlarını görsel

olarak inceleyip analiz eden sağlık personelinin iş yükünü de önemli ölçüde azaltacaktır[1].

Optik disk, genellikle gözün ortasında konumlanmış sarımsı renkte, parlak ve yuvarlak disk görünümünde sinir başlarının gözden çıktığı ve optik sinirlerin retinaya bağlandığı kısımdır. İçerisinden kan damarları geçen ve ışık algılayıcısı olmayan bölgedir. Ortalama çözünürlüğe sahip retinal görüntülerde optik diskin çapı yaklaşık 80-100 pikseldir [2]. Retina üzerinde ki optik disk yapısı Şekil 1 deki gibidir.



Şekil 1. Retinal Görüntüde Optik Disk

Retinal görüntülerden optik diskin bölütlenmesi, Retinal kan damarlarının belirlenmesi, glokoma, diabetik retinopati gibi hastalık teşhis ve takibinde ilk aşamayı oluşturmaktadır.

Bu makalede retinal hastalıkların tespit ve takibi için ilk aşama olan optik disk tespitinin Aktif Kontur Metodu ile bölütlenmesi sunulmuştur. Retinal görüntüler Fırat Üniversitesi Göz Hastalıkları Anabilim dalından temin edilmiştir. Görüntüler jpeg formatında olup toplam 20 retinal görüntü analiz edilmiştir. Optik Diskin bölütlenmesi için makalenin geri kalan bölümleri aşağıdaki gibi organize edilmiştir. İkinci bölümde optik diskin bölütlenmesi ile ilgili literatür taraması verilmiştir. Üçüncü bölümde uygulamada kullanılacak retinal görüntüye ait özellikler verilmiştir. Dördüncü bölümde önerilen Aktif Kontur yöntemi sunulmuştur. Bu bölümde önerilen Aktif Kontur yönteminin performans değerlendirmesi verilerek son bölümde de elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2. Literatür Çalışmaları

Literatürde retinal görüntüler üzerinde optik diskin bulunması ile ilgili piksel tabanlı veya

model tabanlı çok sayıda çalışma bulunmaktadır [3, 4, 5]. Literatürde optik diskin konumunun belirlenmesi için yapılan çalışmalar incelendiğinde morfolojik işlemler, kenar çıkarma filtreleri, bölütleme, hough dönüşümü, eşikleme gibi birçok görüntü işleme teknikleri kullanılmıştır. Genellikle bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar retinal görüntüdeki optik diskin yer tespiti veya kenar bölütlenmesi ile yapılmıştır. Yer tespiti ile elde edilen sonuçta optik diskin merkezini belirleme veya optik diskin çevresini en az hata ile sınırlama şeklinde yapılmaktadır. Bölütleme ile de optik diski gözdeki diğer yapılardan ayırt etmeye çalışılmaktadır.

Li ve ark. piksel tabanlı gri seviyeye dönüştürülmüş retinal görüntü üzerinde parlak piksellerin toplandığı bölgeleri aday kümesi olarak tespit edip, bu kümelerden optik disk için en uygun olanı, model tabanlı bir yöntemle belirlemektedir [4]. Renk morfolojisinin kullanılarak yapılan başka bir çalışma da ise otomatik olarak başlatılmış Aktif Kontur Model (AKM) kullanılarak damarların görüntüden yok edilmesiyle analize hazır hale getirilmiştir [5]. Glokoma hastalığının teşhisi için yapılan başka bir çalışmada, optik diskin otomatik olarak bulunması için görüntüde gürültüler yok edilip parlaklık normalleştirildikten sonra eşikleme yöntemi ile optik diskin yeri tespit edilmiştir [6]. Morales ve arkadaşları retinal görüntüyü ilk olarak Temel Bileşen Analiz yöntemi ile gri skalaya dönüştürmüştür. Dönüştürülen bu görüntüye Stokastik Watershed algoritması uygulanarak optik diskin yer tespitini ve kenar bölütlemesini de gerçekleştirmiştir. 110 göz dibi görüntüsünde %86.89 başarı sağlamıştır [7]. Lalonde ve arkadaşları yeşil renk kanalı üzerinden Haar Dalgacık dönüşümü metodu ile optik diskin yerini tespit edip Hausdorff tabanlı eşleştirme yöntemi ile de kenar çıkarma işlemini gerçekleştirmiştir. 40 görüntü üzerinden %93 başarı sağlamıştır [8]. Chaichana ve arkadaşları, retinal görüntüye Sobel Kenar Çıkartma Filtresi uygulayarak görüntü üzerindeki kenarları çıkartmıştır. Çıkartılan bu görüntü üzerinde Çembersel Hough Dönüşümü uygulanarak optik diskin yerini tespit etmişlerdir. 40 görüntü üzerinden % 97.5 başarı sağlamıştır [9].

3. Materyal

Bu makalede kullanılan retinal görüntüler Fırat Üniversitesi Göz Hastalıkları Anabilim dalı retina veri tabanından temin edilmiştir. Bölütleme için toplam 20 adet 45 ° FOV ve jpeg formatında retinal görüntü kullanılmıştır. Sağ ve sol gözlere ait görüntüler veri tabanından rasgele seçilmiştir. Görüntülerin mekansal çözünürlüğü 565 × 584 pikseldir.

4. Aktif Kontur Metodu ve Bölütleme

4.1. Aktif Kontur Metot

Aktif kontur modeli (AKM), görüntü üzerindeki bir nesnenin sınırlarını görüntüdeki diğer bölgelerden bölütlemek için kullanılan yöntemdir. Aktif kontur modeli bozunabilir modellerin içerisinde en çok kullanılan model tabanlı bir metottur. Bozunabilir modellerde iç, dış ve imge kuvvetlerinin etkisi ile bölütleme yapılır. Optik diskin sınırlarını tanımlayabilmek için öncelikle kapalı eğriler tanımlanmak istenen sınıra yakın konumlandırılmalıdır. Daha sonra iterasyon sayısı kadar eğri oluşur. İç kuvvetler eğrinin biçim değiştirme boyunca düzgün şekilde kalmasını sağlamaktadır. Dış kuvvetler ise eğriyi yerel minimum düzeyde tutulmasını sağlamaktadır. İmge kuvvetleri ise retinal görüntüdeki kenar vb. gibi belirgin noktalara doğru yönlendirilmesini sağlamaktadır. Aktif kontur modeli iterasyon ile enerji fonksiyonunu minimize ederek yarı otomatik bölütleme yapmayı sağlayan yöntemdir [10]. Optik sınıra yakın olacak şekilde kullanıcı tarafından seçilen başlangıç noktası enerji minimizasyonu yapılarak eğriyi oluşturacak yol belirlenir [11]. Başka bir deyişle optik diskin iç veya dış kısmına bir eğri çizmekte; eğri optik diskin şeklini alacak şekilde iterasyonlar yapılarak oluşturulan enerji minimizasyonu ile eğri hareket edip bölütleme Denklem.1'deki gibi sağlamaktadır [11,12].

$$E(v) = E_{img}(\vec{v}) + E_{int}(\vec{v}) + E_{ext}(\vec{v}) \quad (1)$$

Burada E_{int} kıvrımdan kaynaklanan iç kuvveti gösterir. Konturun gerginlik ve esneklik bozulmaları ile ifade edilir. E_{img} imge kuvvetini; E_{ext} ise dış kuvveti temsil etmektedir [13].

Burada ki bütün kuvvetler dengelendiği noktada AKM'nin konumu toplam yerel minimumuna karşılık gelmektedir. Yani Denklem.2 sınır bölgelerini tespit ederek dış kuvvetler ve imge kuvvetleri tarafından yönlendirilen enerjiyi minimize eder.

Aktif Kontur Model algoritmasındaki imge enerjisini Denklem.2' deki gibidir.

$$E_{img}(\vec{v}) = - \int_0^1 P(\vec{v}(s, t)) ds \quad (2)$$

Denklem.3' te verildiği gibi $P(\vec{v}(s, t))$, AKM algoritmasını kenarlara çekerken, görüntü gradyentinin büyüklüğüne eşit alınmaktadır [13].

$$P(\vec{v}(s, t)) = |\nabla I(\vec{v}(s, t))| \quad (3)$$

$\nabla I(\vec{v}(s, t))$, görüntünün yumuşatılmasını ve önemsiz noktaların kaldırılmasını sağlayarak algoritmanın daha düşük görüntü enerjili konumlara hareketini önler. Yani daha belirgin olan detaylara yönlendirir [13]. Denklem.4 iç kuvvet değişimini vermektedir.

$$E_{int}(\vec{v}) = \frac{1}{2} \int_0^1 \alpha(s) \left| \frac{\partial \vec{v}(s, t)}{\partial s} \right|^2 + \beta(s) \left| \frac{\partial^2 \vec{v}(s, t)}{\partial s^2} \right|^2 ds \quad (4)$$

Burada $\alpha(s)$ ve $\beta(s)$ AKM algoritmasının katılığını ve gerilimini düzenleyen fonksiyonlardır. Kontur gerginliği $\alpha(s)$ gerilimi ise $\beta(s)$ ile kontrol edilmektedir. Gerilim için kısıtlamalar ilk sıradaki terimler tarafından gerçekleştirilerek AKM algoritmasının zar gibi davranmasını sağlar. Katılık için ikinci derece terimler ile kısıtlaması sağlanarak AKM algoritmasının ince bir tabaka gibi hareket etmesini sağlamaktadır. Bu şekilde enerjilerin dengelenmesi amaçlanmaktadır [13]. Denklem.5 dış kuvvet değişimini vermektedir.

$$E_{ext}(\vec{v}) = \int_0^1 P(\vec{v}(s)) ds \quad (5)$$

Bu dış kuvvet denklemi, Denklem.6' da verildiği gibi algoritmayı retinal görüntüdeki çizgi ve kenarlar gibi görüntü detaylarına yönlendirmektedir [13].

$$E(\vec{v}) = - \int_0^1 P(\vec{v}(s, t)) ds + \frac{1}{2} \int_0^1 a(s) \left| \frac{\partial \vec{v}(s, t)}{\partial s} \right|^2 + \beta(s) \left| \frac{\partial^2 \vec{v}(s, t)}{\partial s^2} \right|^2 ds \quad (6)$$

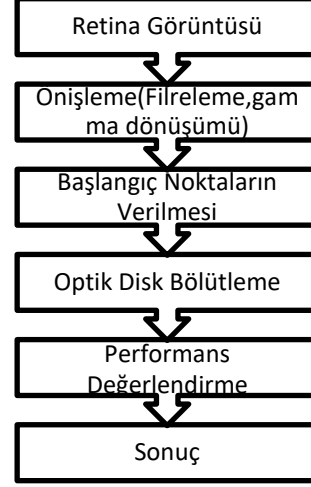
Buda AKM algoritmasının toplam enerji fonksiyonunu Denklem.7' deki gibi ifade eder[13].

$$E(\vec{v}) = - \int |\nabla I(v)|^2 ds + a(s) \int |(v_s)|^2 ds + \beta(s) \int |(v_{ss})|^2 ds \quad (7)$$

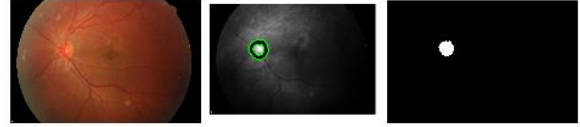
Burada $a(s)$ ve $\beta(s)$ ağırlık parametrelerini, v_s eğri parametresi s 'ye göre ilk türevini v_{ss} parametresi de ikinci türevini ifade etmektedir. Bu denklemler doğrultusunda eğri yüksek görüntü gradyanının olduğu optik disk sınırlarına ulaştığında ilerleme durur ve böylece optik disk sınırları tespit edilmiş olur[14,15,16].

4.2.Bölütleme

Bölütleme için yapılması gereken süreç Şekil.2'deki gibidir. İlk olarak retinal görüntü üzerinde filtreleme ve gamma dönüşümü gibi temel ön işlemler uygulanmıştır. Ön işleme sürecinde renkli retinal görüntüler gri seviye görüntülere dönüştürülmüştür. Bu işlem ile uygulanan yöntemin zaman performansının da artması sağlanmıştır. Optik diskin belirlenmesi için manuel olarak iki başlangıç noktası aktif kontur metoduna girdi olarak verilmiştir. Daha sonra aktif kontur metodu çalıştırılarak optik diskin sınırları belirlenmiştir. Elde edilen bölütlenmiş optik disk alanının doğru belirlendiğini göstermek için uzman doktor bilgisine başvurulmuştur. Her bir görüntü için hekim tarafından optik disk alanları, Aktif kontur ile belirlenen optik disk konumu ve boyutları ile değerlendirme işlemine tabi tutulmuştur. Performans değerlendirmesi için Dice katsayısı doğruluk, kesinlik, duyarlılık parametreleri kullanılmıştır. Yukarıda belirtilen süreç sonucunda bir retinal görüntüden elde edilen optik disk Şekil.3' te gösterilmiştir.



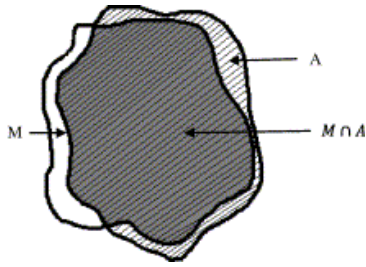
Şekil 2. Uygulanan yöntem ve bölütleme aşamaları



Şekil 3. Aktif Kontur yöntemi kullanılarak bölütlenmiş optik disk sonuçları

4.3. Performans Değerlendirmesi

Retinal görüntülerden hekim tarafından manuel olarak elde edilen optik disk alanı ve Aktif Kontur yöntemi ile elde edilen optik disk alanlarını değerlendirmek için Şekil.4'deki temsili gösterim kullanılmıştır. Burada A bölgesi Aktif Kontur yöntemi ile elde bölütlenen alanı, M hekim tarafından çıkartılan gerçek optik disk alanını göstermektedir. Kesişim alanı ise uygulanan yöntem tarafından doğru olarak tespit edilen optik disk alanını göstermektedir. Aktif kontur ile elde edilen optik disk alanı öncelikle Dice katsayısı kullanılarak değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra optik disk alanının doğru belirlenip belirlenmediği karışıklık matrisi ile tanımlanabilen doğruluk, kesinlik ve duyarlılık parametreleri ile de değerlendirilmiştir.



Şekil 4. Bölütleme için temsili optik disk alanı

Bölütleme alanlarının başarımlarını değerlendirmek için Dice katsayısının yanı sıra Tablo.1’de gösterilen karışıklık matrisi kullanılabilir. Karışıklık matrisinde satırlar hekim tarafından belirlenen optik disk alanlarını, sütunlar ise Aktif Kontör ile tespit edilen optik disk alanlarını göstermektedir. Matriste verilen a,b,c,d parametreleri piksel cinsinden değerlerdir.

Tablo.1 Karışıklık Matrisi

		Öngörülen Sınıf	
		Sınıf=1	Sınıf=0
Doğru Sınıf	Sınıf=1	a	B
	Sınıf=0	c	D

a:TP (True Pozitif) c:FP (False Pozitif)
c:FN (False Negatif) d: TN (True Negatif)

Literatürde model başarımlarının ölçülmesinde kullanılan en popüler ve basit parametreler doğruluk, kesinlik ve duyarlılık

orandır. Piksel cinsinden doğru tespit edilmiş optik disk alanının doğruluğu için Denklem.8, Denklem.9 ve Denklem.10 kullanılmaktadır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{a+d}{a+b+c+d} \quad (8)$$

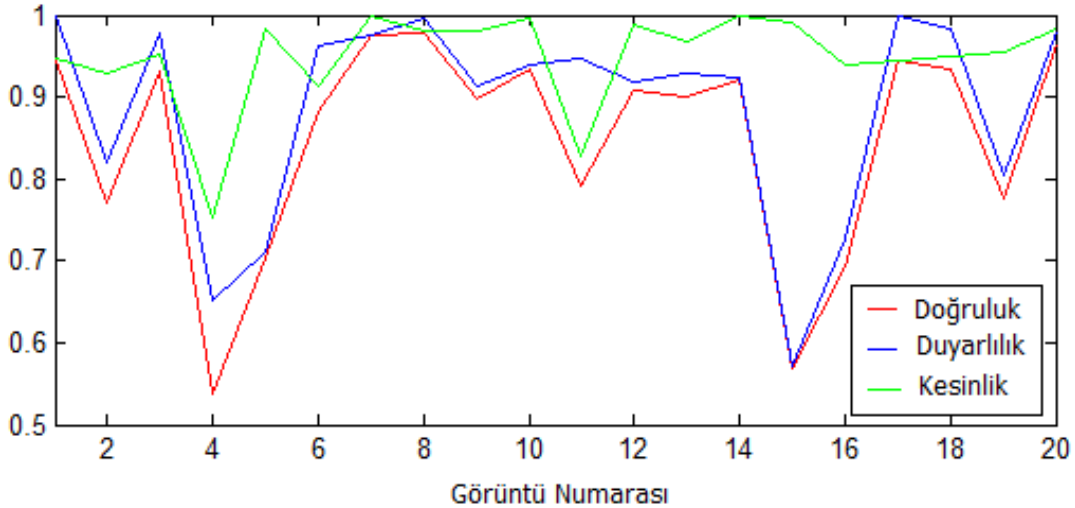
Denklem.9’da verilen Kesinlik, doğru olarak belirlenmiş piksel sayısının, hekim tarafından belirlenen optik Disk alanına oranıdır.

$$\text{Kesinlik} = \frac{a}{a+d} \quad (9)$$

Doğru sınıflandırılmış pozitif örnek sayısının toplam pozitif örnek sayısına oranıdır.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{a}{a+b} \quad (10)$$

Şekil. 5 20 retinal görüntü için elde edilen Doğruluk, Duyarlılık ve Kesinlik parametrelerinin değişimini göstermektedir.



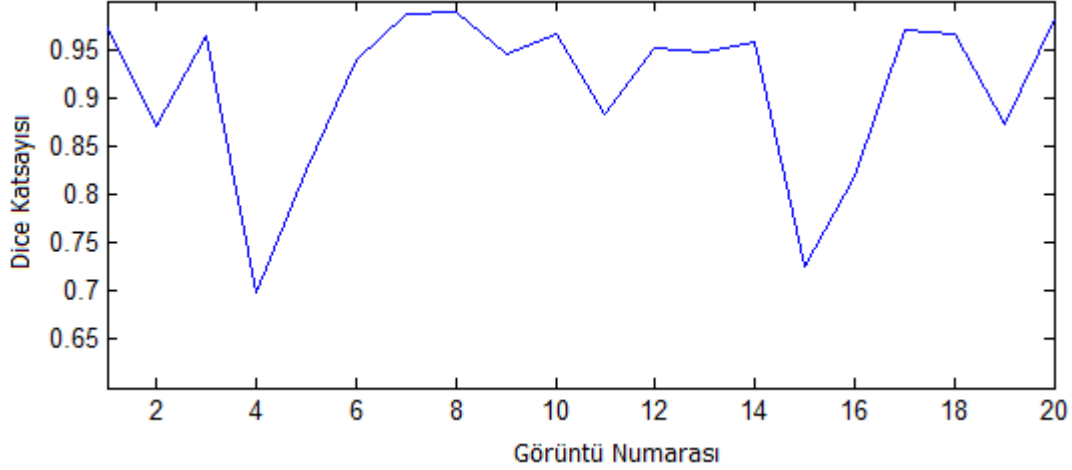
Şekil 5. Doğruluk, Duyarlılık ve Kesinlik değişimleri

Doğruluk, kesinlik ve duyarlılık ölçütleri tek başına anlamlı bir karşılaştırma sonucu çıkarmaya yeterli değildir. Bu yüzden f-ölçüt olarak bilinen Dice katsayısının da belirlenmesi gereklidir. DICE Benzerlik Katsayısı 0 ile 1

arasında değer alır. Değerin 1 e yakın olması bulunan sonucun hekimin bulduğu sonuca yakınlığını ifade eder. Literatüre göre Dice katsayısının 0.7 den büyük elde edilmesi bölütleme işleminin kabul edilebilir olduğunu

gösterir. Denklem 11 Dice katsayısının matematiksel ifadesini gösterirken, Şekil.6 toplam 20 retinal görüntü için Dice katsayısı değişimini göstermektedir.

$$\text{Dice} = 2 * \frac{|M \cap A|}{|M| + |A|} \quad (11)$$



Şekil 6. Herbir retinal görüntü için Dice Katsayısı

5. Sonuçlar

Bu makalede Fırat Üniversitesi Göz Hastalıkları Anabilim Dalından temin edilen retina görüntülerinden Optik Diskin bölütlenmesi yapılmıştır. Bunun için Optik Diskin gözün diğer alanlarından ayrılması için Aktif Kontur yöntemi kullanılmıştır. Glom ve diyabetik retinopati gibi birçok hastalığın tespiti için ön hazırlık aşamaları Optik Diskin bölütleme işlemiyle gerçekleştirilir. Elde edilen sonuçlara göre 4. ve 15. retina görüntülerinde Dice katsayısı sınır değerlerde tespit edilmiştir. Tüm görüntüler için elde edilen ortalama Dice Katsayısı 0.9115'tir. Bunun yanı sıra doğruluk, kesinlik ve duyarlılık parametreleri de 4. ve 15. görüntüler için 0.7'den küçük belirlenmiştir. Tüm görüntüler için bu parametrelerin ortalama değerleri sırasıyla 0.847, 0.949 ve 0.886 hesaplanmıştır. Sonuç olarak aktif kontür ile elde edilen parametrelerin ortalama değerleri 0.7 değerinden büyük hesaplandığından bölütleme işlemi kabul edilebilir olarak belirlenmiştir.

6. Kaynaklar

1. Yavuz Z., İkibas C., Şevik U., Köse C., "Retinal Görüntülerde Optik Diskin Otomatik Olarak Çıkartılması İçin Bir Yöntem ", 5th International

Advanced Technologies Symposium, Karabük, Türkiye, pp.8-8, 2009

2. Kaur, J., Sinha, H.P., "Automated localisation of optic disc and macula from fundus images", International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 2(4), 2012.

3. İkibaş, C., "Retinal İmgelerde Optik Disk ve Makulanın Tespiti ve Değerlendirilmesi", Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2002.

4. Li, H., Chutatape, O., "Automatic location of optic disk in retinal images", in Proc. IEEE-ICIP, vol. 2, pp. 837– 840, 2001.

5. Osareh, A., Mirmehdi, M., Thomas, B., Markham, R., "Colour Morphology and Snakes for Optic Disc Localisation", 16th IEEE Int. Conf. Pattern Recognition, vol.1, pp. 743–746, 2002.

6. Ahmed, A., Ritambhar, B., Kaamran, R., Vasudevan, L., "Optic Disc and Optic Cup Segmentation Methodologies for Glaucoma Image Detection: A Survey", Journal of Ophthalmology, Article ID 180972, p:28, 2015.

7. Moales, S., Naranjo, V., P'erez, D., Navea, A., Alca'niz, M., "Automatic detection of optic disc based on PCA and Stochastic Watershed", 20th European Signal Processing Conference Proceedings of the, pp. 2605 – 2609, 27-31, 2013.

8. Lalonde, M., Beaulieu, M., Gagnon, L., "Fast and robust optic disc detection using pyramidal decomposition and hausdorff-based template

matching”, Medical Imaging, IEEE Transactions vol: 20, no: 11, pp. 1193 – 1200, 2001.

9. Chaichana, T., Yoowattana, S., Sun, Z., Tangjitkusolmun, S., Sookpotharom, S., Sangworasil, M., “Edge detection of the optic disc in retinal images based on identification of a round shape”, International Symposium Communications and Information Technologies, , pp. 670 –674, 2008.

10. Chan, T.F., Vese L.A., “Active contours without edges” IEEE Transactions on Image Processing, 10, (2), 2001.

11. Kass, M., Witkin, A., Terzopoulos, D., “Snakes: active contour models”, International Journal of Computer Vision, 1, 321-331, 1988.

12. Filho, P.P.R., Cortez, P.C., Barros, A.C. da S., ve Albuquerque, V.H.C.De, “Novel Adaptive Balloon Active Contour Method based on internal force for image segmentation A systematic evaluation on

synthetic and real images”, Expert Systems with Applications, 41, 7707–7721, 2014.

13. Seker,D.Z., Eker. O., “Aktif Kontür Modeller ve Düzey Kümesi Kullanarak Çizgisel Detayların Yarı Otomatik Olarak Çizilmesi”, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 2005.

14. Isıkcı,E., Duru D. G., (2015), “Multiple Skleroz Manyetik Rezonans Görüntülerinde Aktif Kontur Modeli ile Lezyon Tespiti”, Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi, 2015.

15. Tuncer, S. A., Alkan,A., (2015), "Segmentation of thyroid nodules with K-means algorithm on mobile devices," 16th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI), Budapest, pp. 345-348, 2015.

16. Alkan, A., Tuncer, S.A., Gunay M., “Comparative MR image analysis for thyroid nodule detection and quantification” Measurement, 47, pp. 861-868, 2014.

Kars İlindeki Binalar İçin Isıtma Yükü ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi

Meral ÖZEL¹, Dilek TUNÇ

¹Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 23119 ELAZIĞ
mozel@firat.edu.tr

(Geliş/Received:25.10.2017; Kabul/Accepted:15.01.2018)

Özet

Bu çalışmada, Türkiye'nin en soğuk şehirlerinden biri olan Kars ilindeki bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiştir. Bu amaçla Kars ilinin meteorolojik verileri kullanılarak ısıtma yükleri derece-gün olarak güneş ışınımı değerleri dikkate alınarak ve alınmadan hesaplanmıştır. Hesaplamalar yalıtım maliyeti ve binanın 10 yıllık ömrü üzerinden enerji tüketim maliyetini içine alan bir maliyet analizine göre yapılmıştır. Bu durumda, artan yalıtım kalınlıklarına göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Sonuç olarak, derece-gün değerleri 18°C denge sıcaklığı için güneş ışınımı değerleri dikkate alınarak ve alınmadan sırasıyla 3897 ve 4867 °C.gün olarak elde edilmiştir. Kars ili için, bu derece-gün değerlerine göre optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla 8 ve 9 cm olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dış ortam sıcaklığı, Güneş ışınımı, Derece-gün, Optimum yalıtım kalınlığı.

Determination of The heating Load and Optimum Insulation Thickness for Buildings in Kars city

Abstract

In this study, optimum insulation thickness of external walls of building in Kars city which is one of the coldest cities of Turkey was determined. For this purpose, heating loads as degree-days were calculated with and without solar radiation by using meteorological data of Kars city. Calculations were done with respect to life-cycle cost analysis over lifetime of 10 years of the building. The optimum insulation thickness with respect to increasing insulation thicknesses was calculated. As result, degree-day values were obtained to be respectively, 3897 and 4867 °C.gün by considering with and without solar radiation for 18°C equilibrium temperature. The optimum insulation thicknesses according to these degree-day values were obtained to be respectively, 8 and 9 cm for Kars city

Keywords: Outdoor temperature, solar radiation, degree-days, Optimum insulation thickness.

1. Giriş

Enerji tüketimi; sanayi, bina, ulaştırma ve tarım gibi dört ana sektör arasında dağılım göstermektedir. Ülkemizde enerji tüketiminin %35'i konutlarda, %36'sı sanayide, %21'i ulaşımda, %5'i tarımda ve %3'ü ise diğer alanlarda tüketildiği belirtilmektedir. Binalarda ise enerji tüketiminin %80'i ısıtma amaçlı, %10'u mutfak ve banyolarda ve %10'u ise elektrikli ev aletlerinde tüketilmektedir. Konutlarda ısı yalıtımı yapılarak kullanılan enerjinin yaklaşık %50-60'ı tasarruf edilebilmektedir [1].

Bilindiği gibi yalıtım kalınlığı arttıkça ısı kazanç ve kayıpları önemli ölçüde azalırken,

yalıtım maliyeti ise artacaktır. Bu durumda yalıtım kalınlığının optimum değeri maliyet analizi yapılarak belirlenmelidir. Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde binaların yıllık ısıtma ve soğutma gereksinimleri genellikle ısıtma derece gün metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Çomaklı ve Yüksel, Erzurum, Kars ve Erzincan gibi Türkiye'nin en soğuk üç şehri için optimum yalıtım kalınlığını derece gün sayılarını esas alarak araştırmışlar [2]. Gölcü vd., Denizli' deki binalarda, ısıtma için farklı enerji kaynaklarının kullanılması halinde dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığını Derece-Gün sayısını esas alarak hesaplamışlar [3]. Bolattürk, Isparta bölgesindeki binaların duvar ve çatı döşemeleri için optimum yalıtım kalınlıkları ve

enerji tasarruflarını araştırmıştır. Bunun için yine Derece-Gün sayısı esas alınmıştır [4].

Bolattürk' ün başka bir çalışmasında, Türkiye'nin 4 iklim bölgesinden seçilen 16 Şehir için ısıtma derece-gün fikrini kullanarak optimum yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır [5]. Hasan, duvarların optimum kalınlığını bulmak için ömür maliyet analizini ve derece gün fikrini kullanmıştır. Sonuç olarak duvar yapısının tiplerine bağlı olarak geri ödeme periyodunun polistiren yalıtımı için 1 ile 1.7 yılları arasında değiştiğini ve taş yünü yalıtımı için ise 1.3 ile 2.3 yılları arasında değiştiğini göstermiştir [6]. Özel ve Şengür, üç farklı yalıtım malzemesi ve üç farklı yakıt türü için Antalya ve Kars illerinin optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme sürelerini sadece ısıtma, sadece soğutma ve hem ısıtma hem de soğutma derece-gün sayılarını göz önüne alarak ayrı ayrı hesaplamışlardır [7].

Yamankaradeniz ve Kaynaklı, 4. bölge derecegün il grubunda yer alan örnek bir il için yıllık dış hava sıcaklık verilerinden yararlanarak derece-gün sayısını tespit ederek ısıtma sezonunun başlama ve bitiş tarihlerini belirlemişlerdir. Daha sonra ise optimum yalıtım kalınlıklarını farklı derece-gün sayıları, duvar tipleri ve yalıtım malzemeleri için tespit etmişlerdir [8]. Yıldız vd., yapılarda ısı yalıtım kalınlığının ekonomik ve çevresel analizini yapmışlar. Bunun için ekonomik analizde kullanılan ısı yükleri derece gün metodu kullanılarak hesaplanmıştır [9]. Özel ve Pıhtılı, ısıtma ve soğutma derece gün değerlerini kullanarak beş farklı il için optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemişlerdir [10].

Bolattürk, binaların dış duvarlarındaki optimum yalıtım kalınlığı yıllık ısıtma ve soğutma yüklerine dayandırılarak analiz edilmiştir. Bunun için yıllık ısıtma ve soğutma derece saatleri hesaplanarak, ekonomik model P1-P2 metoduna göre belirlenmiştir [11]. Kaynaklı, Bursa' daki binaların dış duvarları için 1992' den 2005' e kadar dış hava sıcaklık değerleri dikkate alınarak ısıtma mevsimi için derece-saat değerleri hesaplanmış ve optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiştir [12]. Kaynaklı vd., güneş ışınlımını dikkate alarak Farklı yönlere bakan bina dış duvarları için gerekli yalıtım kalınlıklarının değişimini incelemişlerdir [13].

Dağıdır ve Bolattürk, İzmir ili için güneş radyasyonlu ve radyasyonsuz ısıtma ve soğutma yüklerini kullanarak optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme sürelerini belirlemişlerdir. Hesaplamalarda ısıtma derecesaat sayıları için 18 °C, soğutma derece-saat sayıları için ise 26 °C denge sıcaklığı kullanmışlardır [14].

Bu çalışmada ise, Türkiye'nin en soğuk Şehirlerinden biri olan Kars ilindeki bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiştir. Bu amaçla ilk önce Kars ilinin meteorolojik verileri kullanılarak ısıtma yükleri derece-gün ve derece-saat olarak ve güneş ışınlım değerleri de dikkate alınarak belirlenmiş ve daha sonra bu değerleri kullanarak optimum yalıtım kalınlıkları binanın 10 yıllık ömrü üzerinden enerji tüketim maliyetini içine alan bir maliyet analizine göre hesaplanmıştır.

2. Kars ilinin ısıtma periyodunun tespiti

Bu çalışmada Kars ilinin Isıtma Periyodu belirlenirken güneş ışınlım dikkate alınmadan ve güneş ışınlım Şiddeti dikkate alınarak ayrı ayrı hesaplanmıştır.

1.Yöntem

Bu yöntemde Derece-Gün (DG) değerleri sadece dış ortam sıcaklığı dikkate alınarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$DG = \sum_1^N (T_i - T_o)^+ \quad (1)$$

Burada T_i denge sıcaklığı, T_o günlük ortalama dış hava sıcaklığı ve N ısıtma yapılan toplam gün sayısıdır. Parantezin üzerindeki + işareti ise sadece pozitif değerlerin hesaba katılacağını göstermektedir.

2.Yöntem

Bu yöntemde ise dış ortam sıcaklığı ve güneş ışınlım Şiddeti göz önüne alınarak eşdeğer çevre sıcaklığı ve denge sıcaklığına göre Derece-Gün değerleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$DG = \sum_1^N (T_i - T_e)^+ \quad (2)$$

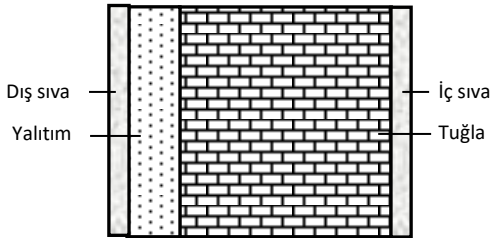
T_e eşdeğer çevre sıcaklığı olarak adlandırılır ve dış hava sıcaklığıyla güneş ışınımı şiddetini birlikte ifade edebilen ve gün boyunca periyodik bir değişim gösteren bir teorik sıcaklık olup aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır (Threlkeld, 1998):

$$T_e(t) = T_o(t) + \frac{\alpha \cdot I(t)}{h_o} - \frac{\varepsilon \cdot \Delta R}{h_o} \quad (3)$$

Burada T_o dış hava sıcaklığı ve α dış yüzeyin güneş ışınımını yutma oranı olup 0.6 alınmıştır. h_o değeri dış ortamın taşınım katsayısı olup 22 W/m²K alınmıştır. $\varepsilon \cdot \Delta R/h_o$ uzun dalga ışınım için düzeltme faktörü olup yatay yüzeyler için 4 °C ve dik yüzeyler için de 0 °C olarak kabul edilmiştir (Threlkeld, 1998). I ise güneş ışınım şiddeti olup meteorolojiden temin edilmiştir.

3. Dış duvarların yapısı

Optimum yalıtım kalınlığını hesaplamak için şekil 1.' de görülen dıştan yalıtımlı bir duvar yapısı ele alınmıştır. Şekilden görüldüğü gibi duvar; dış ve iç yüzeyinde 2 cm lik sıva ($k=0.72$ W/mK), 20 cm kalınlığında tuğla ($k=0.62$ W/mK) ve yalıtım malzemesinden oluşmaktadır. Yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılmıştır.



Şekil 1. Dış duvarların yapısı

4. Dış duvarların ısı kazanç ve kaybı

Binalardaki ısı kazanç ve kayıpları genel olarak dış duvarlardan, pencerelerden, tavan ve döşemeler ile hava infiltrasyonu sonucu gerçekleşmektedir. Ancak bu çalışmada sadece dış duvarlarda oluşan ısı kazanç ve kayıpları göz önüne alınarak optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Dış duvarın birim yüzeyinden oluşan ısı kazanç ve kaybı aşağıdaki şekildedir:

$$q = U \cdot \Delta T \quad (4)$$

Burada U toplam ısı transfer katsayısı ΔT ise gün boyunca değişen dış ortam sıcaklığı ile sabit iç ortam sıcaklığının farkıdır. Bu durumda derece-gün sayılarına bağlı olarak birim yüzeyden gerçekleşen yıllık ısı kazanç ve kaybı,

$$q_A = 86400 \cdot DG \cdot U \quad (5)$$

şeklinde dir. Duvarın toplam ısı transfer katsayısı ise aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_y + R_o} \quad (6)$$

Burada R_i ve R_o iç ve dış ortamın ısı dirençleri, R_w yalıtımsız duvar tabakalarının ısı direncidir. R_y ise yalıtım malzemesinin ısı direnci olup aşağıdaki şekilde yazılmaktadır.

$$R_y = \frac{x}{k} \quad (7)$$

Burada x yalıtım malzemesinin kalınlığı, k ise ısı iletkenliğidir. R_{wt} yalıtım malzemesi hariç duvarın toplam ısı direnci olmak üzere toplam ısı transfer katsayısı aşağıdaki gibidir:

$$U = \frac{1}{R_{wt} + (x/k)} \quad (8)$$

Duvarın iç ve dış yüzeyindeki ısı transfer katsayısı sırasıyla 6 ve 22 W/m²K olarak alınmış ve $R_{wt}=0.5903$ m²K/W olarak elde edilmiştir.

5. Optimum yalıtım kalınlığı için maliyet analizi

Binaların dış duvarlarına yalıtım uygulanarak ısı kazanç ve kaybı önemli ölçüde azaltılmış olur. Bu durumda enerji tasarrufu açısından yalıtımın optimum kalınlığının bilinmesi gerekmektedir. Yalıtımın optimum kalınlığı, yalıtım maliyeti ve binanın ömrü üzerinden enerji tüketim maliyetini içine alan minimum toplam maliyeti sağlayan değerdir Bu yüzden maliyet analizi yapılarak optimum yalıtım kalınlığı tespit edilmelidir. Isıtma için yıllık enerji maliyeti aşağıdaki gibidir:

$$C_A = \frac{86400U.DG.C_f}{H_u \cdot \eta} \quad (9)$$

Burada, C_f , C_e , H_u ve η ise sırasıyla yakıt fiyatı (TL/kg), elektriğin fiyatı (TL/kWh), yakıtın alt ısıl değeri (J/kg) ve ısıtma sisteminin verimidir. Bu durumda yalıtılmış bir binanın toplam maliyeti aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$C_t = C_A \cdot PWF + C_y \cdot x \quad (10)$$

Burada C_y ve x sırasıyla, yalıtımın fiyatı (TL/m³) ve kalınlığıdır. C_A birim yüzey için yıllık ısıtma maliyetidir. Optimum yalıtım kalınlığı belirlenirken, N yıllık ömür üzerinden toplam ısıtma maliyeti şimdiki değer faktörü (PWF) ile birlikte değerlendirilmelidir. PWF , faiz oranı (i) ve enflasyon oranı (g)'ye bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N}, \quad \left\{ \begin{array}{l} i > g \quad r = \frac{i-g}{1+g} \\ i < g \quad r = \frac{g-i}{1+i} \end{array} \right\} \quad (11)$$

Toplam maliyeti minimum yapacak yalıtım kalınlığı bize optimum yalıtım kalınlığını vermektedir. Buna göre optimum yalıtım kalınlığı, toplam maliyeti veren (9) nolu denklemin yalıtım kalınlığına (x) göre türevi alınarak aşağıdaki gibi elde edilir

$$x_{op} = 293.94 \cdot \left(\frac{DG.C_f.PWF.k}{C_y.H_u \cdot \eta} \right)^{1/2} - k.R_{wt} \quad (12)$$

Maliyet hesaplamalarında kullanılan parametreler Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Hesaplamalarda kullanılan parametreler [16-18].

Parametre	Değeri
Yakıt: Doğal Gaz	
Fiyatı	0.92 TL/m ³
H_u	34.526*10 ⁶ J/kg
η	% 92
Yalıtım: XPS	
k	0.029 W/mK
Fiyatı	240 TL/m ³
R_{wt}	0.5903 m ² K/W
Faiz oranı, (i)	% 12
Enflasyon oranı, (g)	% 9
N	10 yıl

6. Sonuçlar ve değerlendirme

Bu çalışmada; ilk olarak Kars ili için ısıtma periyodu, güneş ışınımı dikkate alınarak ve alınmadan belirlenmiş. Daha sonra ise elde edilen derece-gün (veya derece-saat) değerlerine bağlı olarak optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Isıtma periyodunu belirleyebilmek için meteorolojiden Kars iline ait yaklaşık 10 yıllık dış ortam sıcaklığı ve güneşlenme şiddeti verileri kullanılmıştır. İlk olarak güneş ışınımı dikkate alınmadan sadece dış ortam sıcaklığı verileri kullanılarak ısıtma periyodu belirlenmiş. Daha sonra ise güneş ışınımı değerlerinin de dikkate alındığı eşdeğer çevre sıcaklığına göre ısıtma periyodu ve dolayısıyla derece gün değerleri tespit edilmiştir. Kars ilinin dış hava sıcaklıklarının yıl boyunca değişimi Şekil 2 ve 4' de görülmektedir. Bu çalışmada ısıtma periyodu için iki farklı denge sıcaklığı (15 ve 18 °C olarak) alınmıştır. Şekillerden görüldüğü gibi, sezonun başlangıç ve bitiş noktaları, eğrinin kesim noktaları olup 15 °C denge sıcaklığı için, sırasıyla yılın 249. (6 Eylül) ve 160. (9 Haziran) günleridir. Yani teorik olarak ısıtma sezonu 6 Eylül de başlamakta ve 9 Haziran tarihinde ısıtma son bulmaktadır. Şekil 3 ve 5 ise sırasıyla 15 ve 18 °C denge sıcaklıkları için Derece gün değerlerinin yıl boyunca değişimini göstermektedir. Şekil 3 de görüldüğü gibi yılın 160. ve 249. günleri arasında ısıtma yapılmadığından Derece gün (DG) sıfırdır. Her gün için bulunan DG değerleri toplandığında 15 °C denge sıcaklığı için DG=4867 °C.gün olarak hesaplanmıştır. Şekil 4 de görüldüğü gibi, 18 °C denge sıcaklığı için ise, sezonun başlangıç ve bitiş yılın sırasıyla 232. (20 Ağustos) ve 182. (1 Temmuz) günlerine denk gelmektedir. Kars ilinin eşdeğer çevre sıcaklıklarının yıl boyunca değişimi ise 15 ve 18 °C denge sıcaklıkları için sırasıyla Şekil 6 ve 7' de görülmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi, sezonun başlangıç ve bitiş noktaları, 15 °C denge sıcaklığı için, sırasıyla yılın 266. (23 Eylül) ve 128. (8 Mayıs) günleridir. Yani ısıtma sezonu 23 Eylül de başlamakta ve 8 Mayıs tarihinde son bulmaktadır.

Kars ilinin ısıtma periyodu iki farklı denge sıcaklığı (15 ve 18 °C olarak) için güneş ışınımı dikkate alınmadan sadece dış ortam sıcaklığı verileri kullanılarak ve güneş ışınımı

değerlerinin de dikkate alındığı eşdeğer çevre sıcaklığına göre Tablo 2-3' de gösterilmiştir.

Tablo 2. Sadece dış ortam sıcaklığına göre ısıtma periyodunun tespiti

SITMA PERİYODU		
Denge sıcaklığı	Başlangıç Günü	Bitiş Günü
15°C	249. gün (6 Eylül)	160. gün (9 Haziran)
18°C	232. gün (20 Ağustos)	182. gün (1 Temmuz)

Görüldüğü gibi güneş ışınımının dikkate alınmasıyla ısıtma periyodu kısalmaktadır. 15 °C denge sıcaklığı için güneş ışınımı dikkate alınmadığında 6 Eylül - 9 Haziran arasında ısıtma yapılması gerekirken güneş ışınımı dikkate alındığında 23 Eylül - 8 Mayıs arasında ısıtma yapılması gerektiği görülmektedir. Buda yaklaşık 45 günlük enerji tasarrufu demektir.

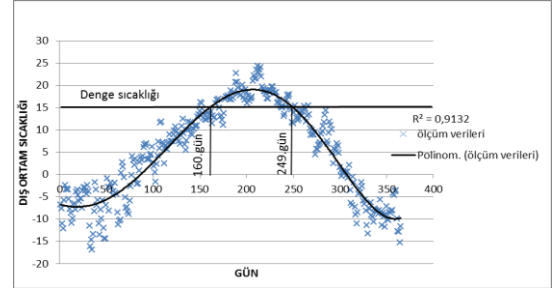
Tablo 3. Eşdeğer çevre sıcaklığına (güneş ışınımı ve dış ortam sıcaklığı) göre ısıtma periyodunun tespiti

ISITMA PERİYODU		
Denge sıcaklığı	Başlangıç Günü	Bitiş Günü
15°C	266. gün (23 Eylül)	128. gün (8 Mayıs)
18°C	250. gün (7 Eylül)	144. gün (24 Mayıs)

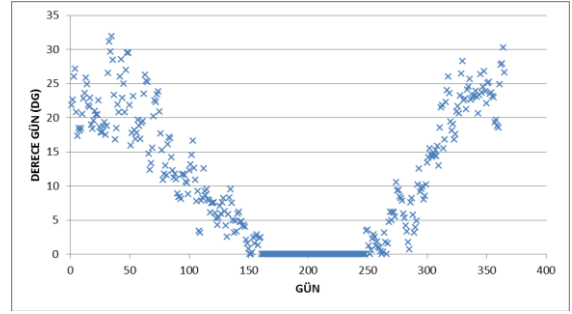
Denge sıcaklıklarına göre belirlenen Derece-Gün değerleri güneş ışınımsız ve ışınımlı olarak Tablo 4' de ayrıca gösterilmiştir. Bu değerler daha sonra optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi için maliyet analizi hesaplamalarında kullanılmıştır.

Tablo 4. Denge sıcaklıklarına göre belirlenen Derece-Gün Sayıları (°C.gün)

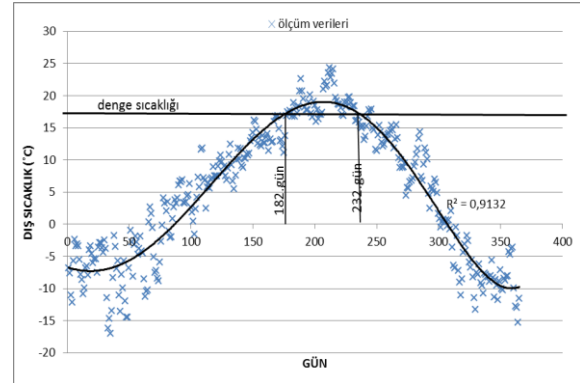
Denge sıcaklığı	Derece-Gün sayısı, (°C.gün)	
	Güneş ışınımı ihmal	Güneş ışınımı varken
15 °C	3932	3199
18 °C	4867	3897



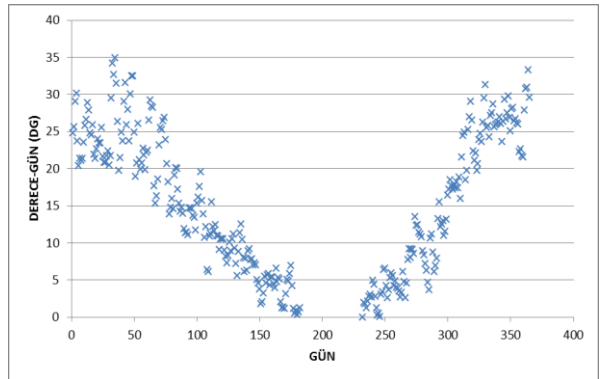
Şekil 2. Kars ili için dış hava sıcaklığının yıl boyunca günlük değişimi ($T_i=15^\circ\text{C}$)



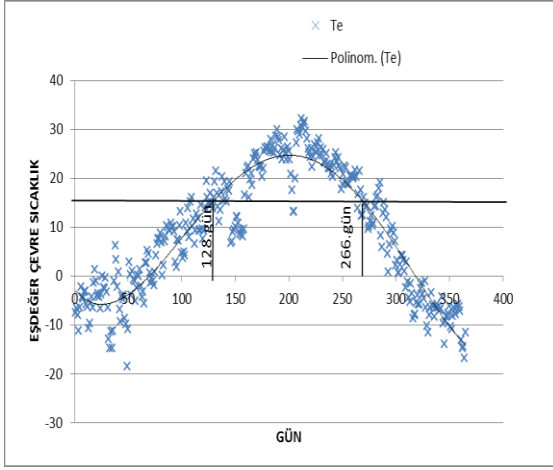
Şekil 3. Derece-Gün (DG) değerlerinin değişimi ($T_i=15^\circ\text{C}$)



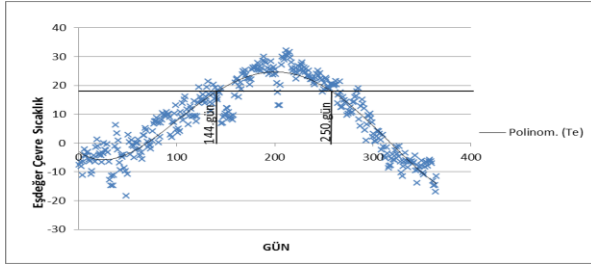
Şekil 4. Kars ili için dış hava sıcaklığının yıl boyunca günlük değişimi ($T_i=18^\circ\text{C}$)



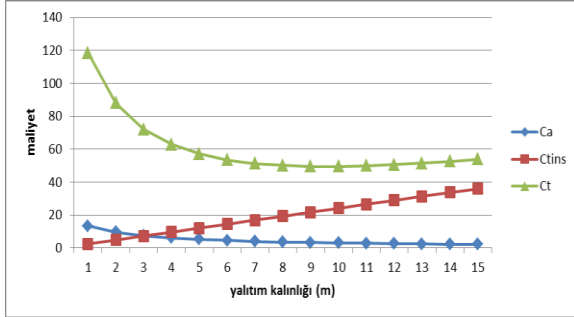
Şekil 5. Derece-Gün değerlerinin değişimi ($T_i=18^\circ\text{C}$)



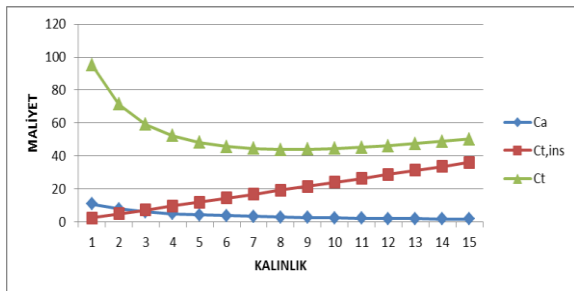
Şekil 6. Kars ili için eşdeğer çevre sıcaklığının yıl boyunca günlük değişimi ($T_i=15^\circ\text{C}$)



Şekil 7. Kars ili için eşdeğer çevre sıcaklığının yıl boyunca günlük değişimi ($T_i=18^\circ\text{C}$)



Şekil 8. Yalıtım kalınlığına göre maliyetlerin değişimi (Güneş ışınımı yokken $DG=4867^\circ\text{C.gün}$ için)



Şekil 9. Yalıtım kalınlığına göre maliyetlerin değişimi

(Güneş ışınımı varken $DG=3897^\circ\text{C.gün}$)

Şekil 8 ve 9 Kars ilinde 18°C denge sıcaklığı için sırasıyla güneş ışınımı yokken ve dikkate alındığında yalıtım kalınlığına göre maliyetlerin değişimini göstermektedir. Şekillerden görüldüğü gibi artan yalıtım kalınlığı ile yakıt maliyeti azalırken yalıtım maliyeti ise lineer olarak artmaktadır. Toplam maliyet ise belirli bir değere kadar azalmakta ve bu değerden sonra artmaktadır. Dolayısıyla toplam maliyetin minimum olduğu değer optimum yalıtım kalınlığını vermektedir. Burada Kars ili için optimum yalıtım kalınlıkları, güneş ışınımı yokken ve dikkate alındığında sırasıyla 9 ve 8 cm olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak güneş ışınımının dikkate alınması ile, optimum yalıtım kalınlığının 1 cm daha az elde edildiği görülmüştür. Buda yalıtım malzemesi için harcanan maliyetten tasarruf edilmesi demektir.

7. Semboller

- C_A :Toplam yıllık enerji maliyeti, (TL/m^2 yıl)
- C_f :Yakıt fiyatı, (TL/kg)
- C_y :Yalıtımın fiyatı, (TL/m^3)
- DG :Derece-gün sayısı, ($^\circ\text{C.gün}$)
- g :Enflasyon oranı
- H_u :Yakıtın alt ısıl değeri, (J/kg)
- I :Güneş ışınım şiddeti, (W/m^2)
- i :Faiz oranı
- k :Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı, (W/mK)
- N :Ömür (yıl)
- x :Yalıtımın kalınlığı, (m)
- PWF :Şimdiki değer faktörü
- R_{wt} :Yalıtım malzemesi hariç duvarın toplam ısıl direnci, ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)
- T_i :Denge sıcaklığı, ($^\circ\text{C}$)
- T_o :Dış hava sıcaklığı, ($^\circ\text{C}$)
- T_e :Eşdeğer çevre sıcaklığı, ($^\circ\text{C}$)
- U : Duvarın toplam ısı transfer katsayısı, ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

8. Kaynaklar

1. Kaya, M., Fırat, İ. Ve Çomaklı, Ö., (2016). Erzincan İlindeki Binalarda Isı Yalıtımının Enerji Tasarrufuna Etkisinin Ekonomik Analizi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 36, 1, 47-55.
2. Çomaklı, K. and Yüksel, B., (2003). Optimum Insulation Thickness of External Walls for Energy Saving. *Applied Thermal Engineering*, 23, 473-479.
3. Gölcü, M., Dombaycı, Ö. A. ve Abalı S., (2006). Denizli için Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi ve Sonuçları. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 21(4), 639-644.
4. Bolattürk, A., (2003). Binalarda Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Hesabı ve Enerji Tasarrufundaki Rolü. 14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 41-47.
5. Bolattürk, A.,(2006). Determination of Optimum Insulation Thickness for Building Walls With Respect to Various Fuels and Climate Zones in Turkey. *Applied Thermal Engineering*, 26, 1301-1309.
6. Hasan, A.,(1999). Optimizing Insulation Thickness for Buildings using Life Cycle Cost. *Applied Energy*, 63, 115-124.
7. Özel, M., Şengür, S., (2013), Farklı Yakıt Türü ve Yalıtım Malzemelerine Göre Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 6-11.
8. Yamankaradeniz, R. ve Kaynaklı, Ö., (2007). Isıtma Süreci ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi, İzmir, 187-195.
9. Yıldız, A., Gürlek, G., Erkek, M. and Özbalta, N.,(2008). Economical and Environmental Analyses of Thermal Insulation Thickness in Buildings. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 28(2): 25-34.
10. Özel, M., Pıhtılı, K.,(2008). Isıtma ve soğutma derece gün değerlerini kullanarak optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 26(3): 191-198.
11. Bolattürk, A., (2008). Optimum Insulation Thicknesses for Building Walls with Respect to Cooling and Heating Degree-Hours in the Warmest Zone of Turkey. *Building and Environment*, 43: 1055-1064.
12. Kaynaklı, O., (2008). A Study on Residential Heating Energy Requirement and Optimum Insulation Thickness. *Renewable Energy*, 33, 1164-1172.
13. Kaynaklı, O., Özdemir S. ve Karamangil, M.İ.,(2012). Güneş Işınımı ve Duvar Yönü Dikkate Alınarak Optimum Isıl Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 27 (2): 367-374.
14. Dağdır, C. ve Bolattürk, A., (2011), Sıcak İklim Bölgelerindeki Binalarda Isıtma ve Soğutma Yüküne Göre Tespit Edilen Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Karşılaştırılması. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 17 (124): 64-77.
15. Threlkeld, J.L., (1998). *Thermal Environmental Engineering*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
16. İZOCAM fiyat listesi. <http://www.dosider.org>.
17. <http://www.tcmb.gov.tr>.

Düzce İlinde Kentsel ve Yarı Kentsel Örneklemeye Noktalarında Atmosferik İnorganik İyonların Kaynaklarının Belirlenmesi

Zehra Bozkurt

Çevre Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Konuralp Yerleşkesi, Düzce 81620
zehrabozkurt@duzce.edu.tr

(Geliş/Received:27.10.2017; Kabul/Accepted: 15.01.2018)

Özet

Bu çalışmada, Düzce ilinde atmosferik partiküllerin (PM₁₀) yapısında bulunan suda çözünür inorganik iyonların konsantrasyonları belirlenmiştir. Örneklemeler eş zamanlı olarak kentsel ve yarı kentsel özellikte iki örneklemeye noktasında, yaz ve kış olmak üzere iki mevsimde gerçekleştirilmiştir. Partikül madde örneklerinde bulunan inorganik iyonların analizleri için iyon kromatografisi cihazı kullanılmıştır. Çalışmada, iyonların yaz ve kış konsantrasyonlarını karşılaştırmak için Mann-Whitney U testi uygulanmıştır. Test sonuçlarına göre kentsel örneklemeye alanında SO₄²⁻ ve Ca²⁺ iyonları dışında, yarı kentsel örneklemeye alanında ise NO₂⁻, Mg²⁺, NH₄⁺ iyonları dışında tüm iyonlar istatistiksel olarak anlamlı (p < 0.05, % 95 güven seviyesi) mevsimsel farklar göstermiştir. Ölçülen iyonik türlerinin kaynaklarının açıklanabilmesi amacı ile veri setlerine Temel bileşenler analizi (PCA) tekniği uygulanmıştır. PCA çalışması sonucunda kentsel bölgede inorganik iyonlara ait sistem varyansının yaklaşık % 88'ini yarı kentsel örneklemeye noktasında % 80'ini açıklayabilen toplam 3 faktör belirlenmiştir. Bu faktörler altında toplanan iyonlar incelendiğinde Düzce atmosferinde inorganik iyon içeriğinin en önemli kaynaklarının, trafik, yanma, deniz tuzu ve toprak olduğu belirlenmiştir. Kirleticilerin uzun menzilli taşınımını belirlemek için çalışmaya HYSPLIT modeli uygulanmıştır. Böylece, hava kütlelerinin geri yörüngeleri ve kaynak bölgeleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düzce, Hava kirliliği, Aerosol, İnorganik iyonlar, PM₁₀, PCA

Source Assessment of Atmospheric Inorganic Ions at Urban and Sub-Urban Sampling Points in Düzce

Abstract

In this study, water-soluble inorganic ion concentrations contained in atmospheric particles (PM₁₀) were determined in Düzce. The samples were collected concurrently at two sampling points with urban and sub-urban features in two seasons, summer and winter. The inorganic ion content in the collected samples were determined by ion chromatography device. In the study, Mann-Whitney U test was used to compare the summer and winter concentrations of ions. According to the test results, except SO₄²⁻ and Ca²⁺ ions at the urban sampling point, except NO₂⁻, Mg²⁺, NH₄⁺ ions at the sub-urban sampling point, all ions showed statistically significant (p < 0.05, 95% confidence level) seasonal differences. The principal component analysis (PCA) technique was applied to the data sets for source apportionment of the measured ionic species. As a result of the PCA, 3 factors were identified that could explain about 88% and 80% of the system variance for the urban and sub-urban sampling points, respectively. Loadings of grouped ions on these factors showed that the most significant sources of inorganic ion content in Düzce atmosphere were traffic, combustion, sea salt and soil.

Keywords: Düzce, Air pollution, Aerosol, Inorganic ions, PM₁₀, PCA

1.Giriş

Özellikle kentsel alanlarda atmosferik partiküler madde (PM) konsantrasyonlarının artması, solunum yolu hastalıklarından kaynaklanan mortalite ve morbidite oranlarının artması gibi sağlık sorunlarına ve görünürlüğü azalması, iklim değişikliği gibi çevre sorunlarına neden olmaktadır [1-3]. Bu nedenle, hava

kirliliği ile ilgili bir çok çalışmada atmosferik partiküler maddelerin boyut dağılımları, konsantrasyon seviyeleri ve bileşimindeki maddelerin neler olduğu üzerine çeşitli araştırmalar yapılmaktadır [4-8]. Atmosferik PM'in bileşimi, kirletici kaynaklar, atmosferdeki kimyasal dönüşümler, uzun menzilli taşınım ve uzaklaşma gibi faktörlerin birbiri arasındaki denge sonucunda oluşur [3]. Atmosferik PM'in

bileşiminde organik ve inorganik özellikle çok çeşitli birçok madde bulunmaktadır. Bununla birlikte, araştırmalar partikül maddelerin içeriğinin büyük bir kısmını suda çözünür inorganik iyonların oluşturduğunu göstermektedir [1-2]. Bu nedenle atmosferik partiküler maddelerin kaynakları ve etkileri araştırılırken iyonik içeriğinin belirlenmesi önemlidir. Atmosferik inorganik iyon türleri anyonlar (F^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) ve katyonlar (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) olarak iki grupta değerlendirilmektedir. Bu gruplardaki bileşenlerin her birinin PM seviyelerine katkısı örnekleme yapılan bölgenin meteorolojik, iklimsel ve coğrafi özelliklerine ve aynı zamanda PM boyutuna bağlı olarak oldukça değişkendir [9]. Kentsel inorganik iyonlar antropojenik ve doğal olmak üzere birçok kaynaktan atmosfere yayılabilir. Bununla birlikte, atmosferde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar ve yoğunlaşma süreçleri ile gaz halindeki öncü maddelerden ikincil olarak da oluşabilirler. Sülfat, nitrat ve amonyum iyonları atmosferik ikincil partiküllerin en çok bilinen ve inorganik iyonlar içerisinde partikül madde kütle konsantrasyonlarında en yüksek miktarlarda bulunan bileşenlerdir. Bu partiküller, atmosferde sülfür dioksit (SO_2), azot oksitler (NO_x) ve amonyak (NH_3) gazlarının birincil emisyonlarından, ikincil reaksiyonlarla oluşur [1-2]. Bu çalışmada Düzce ilinde kentsel ve yarı kentsel iki noktada eşzamanlı yapılan PM_{10} örnekleme ile ildeki partikül madde kirliliğinin boyutu, elde edilen örnekler üzerindeki F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} iyonlarının konsantrasyonlarının belirlenmesi ile de içeriği hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Örnekleme noktaları kirletici kaynaklarının belirlenebilmesi açısından trafik, ısınma ve endüstri gibi kaynaklar dikkate alınarak seçilmiştir. Bununla birlikte, PCA analizi tekniği kullanılarak yapılan değerlendirme sonucunda bölgedeki kirletici kaynaklarının neler olabileceği belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma alanı

Düzce, Türkiye'nin kuzey-batısında yer alan bir ildir. İlin yaklaşık %85'i dağlık ve tepelik bir

topografyaya sahiptir. Düzce merkezinde hakim rüzgar akışı etrafını çevreleyen dağ ve tepeler tarafından engellenmektedir. İlde sanayi gelişmekte olup endüstriyel tesislerin yerleri genellikle yerleşim alanları ile iç içe geçmiş durumdadır. Ayrıca, Türkiye'nin önemli otoyolları olan D-100, D-655 ve O-4 ilin sınırları içerisinde geçmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2015 yılı Düzce İli çevre durum raporundan elde edilen verilere göre Düzce ilinde evlerde ve sanayide 2015 yılında toplam 48.722 ton kömür, 119.688.617 m³ doğal gaz ve 90,65 m³ fuel oil kullanılmıştır. Elimizdeki bilgilere göre, toplam doğal gaz tüketiminin % 37'si, toplam kömür tüketiminin ise %97'si konutlarda kullanılmıştır. Fuel oil ise yalnızca endüstride kullanılmıştır [10]. Düzce'de 2006 yılından beri doğal gaz kullanılmaktadır. Ancak, konutların %50'si kışın ısınma amaçlı hala kömür veya biyokütle kullanılmaktadır [11].

Çalışmada, partikül madde (PM_{10}) örnekleme noktaları, şehir merkezinde bulunan Düzce Üniversitesi Meslek Yüksekokulunda ve yarı kentsel özellikteki Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi'nde eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Örnekleme noktalarının konumları Şekil 1.'de gösterilmektedir. Kış örnekleme 28 Ocak-25 Mart 2015 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Yaz örnekleme ise 22 Haziran-16 Ağustos 2015 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Düzce ili için belirlenen meteorolojik faktörlere ait veriler Tablo 1. de verilmiştir. Bu veriler Düzce İli Meteoroloji Müdürlüğünden elde edilmiştir.



Şekil 1. Düzce ili partikül madde örnekleme noktaları

Tablo 1. Düzce'de örnekleme tarihlerinde ölçülen meteorolojik parametreler

Örnekleme Zamanı	Bağıl Nem (%)	Ort. Rüzgar Hızı (m/s)	Mak. Rüzgar Hızı (m/s)	Sıcaklık (C°)	Ort. Yağış (mm)	Toplam Yağış (mm)	Basınç (hPa)	Hakim Rüzgar Yönü
28.01-26.03								
/2015	76,4	1,08	5,4	7,2	3,1	108,9	1000	N, W, SW
22.07-16.08								
/2015	68,5	1,23	6,5	24,2	1,6	54,3	995,5	N

2.2. Örnekleme ve analiz

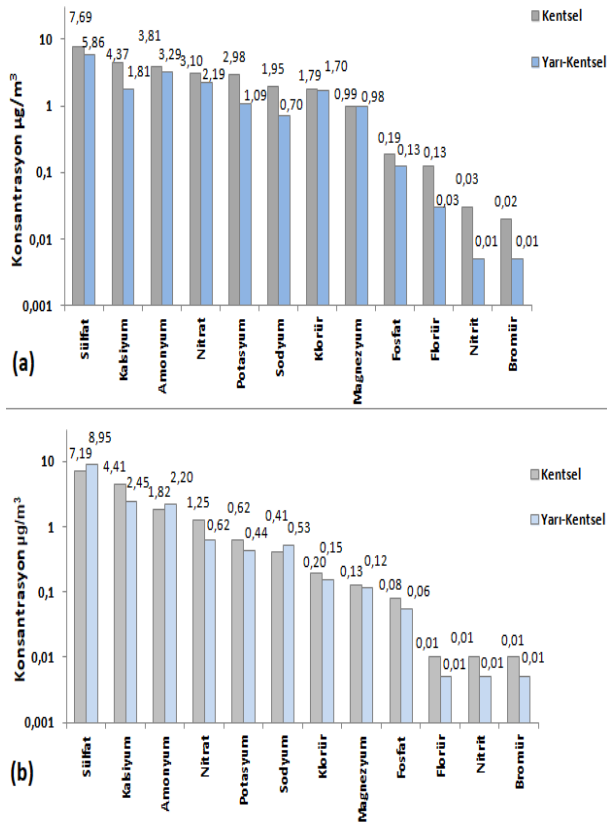
Bu çalışmada Thermo marka yüksek hacimli hava örnekleme cihazı kullanılmıştır. Cihazda PM₁₀ başlığı bulunmaktadır. PM₁₀ örnekleri Palm marka quartz filtre üzerine toplanmıştır. Örnekleme süresi 24 saat olarak belirlenmiştir. Örnekleme sırasında cihazın hava akış debisi 1,13 m³/dk olarak ayarlanmıştır. Örneklemeden önce quartz filtreler sabit tartıma gelinceye kadar 24 saat sabit sıcaklık ve nem koşullarının sağlandığı desikatörlerde bekletilerek tartılmıştır. Örnekleme sonrasında quartz filtreler uygun koşullarda laboratuara taşınarak 24 saat süresince desikatörde bekletilmiş ve son tartımları alınmıştır. Örnekler analiz edilmeden önce 4 eşit parçaya ayrılmış, bu parçalardan biri iyon analizleri için kullanılmıştır. İyon analizleri için kullanılacak filtre parçaları tartıldıktan sonra suda çözünen iyonik türlerin analizi için filtrelere suda çözündürleştirme işlemi yapılmıştır. Bunun için ilk olarak filtreler küçük parçacıklara ayrılmıştır ve üzerlerine iyonlarından tamamen arındırılmış 18,3 MΩ ultra saf sudan 50 mL ilave edilmiştir. Bu karışım, filtre üzerinde bulunan partiküllerin suya daha kolay geçmesi amacıyla *Bandelin Sonorex* ultrasonik karıştırıcıda 45 dakika karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi tamamlanan örnekler oda sıcaklığına gelmeleri için laminer akışlı kabinde yarım saat bekletilmiştir. Ardından, 0,22 µm gözenekli şırınga filtrelerden süzülen örnekler steril deney tüplerine doldurulmuştur. Hazırlanan örnekler analiz edilene kadar buzdolabında bekletilmiştir. İyon analizleri *Dionex dual system 5000 plus* iyon kromatografisi cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Her bir bileşen için kalibrasyon aralığındaki en düşük ikinci konsantrasyona sahip standardın 10 tekrarlı analizi sonucu elde edilen değerlerin standart sapmasının üç katı alınarak metot dedeksiyon limiti (MDL) belirlenmiştir. Kalite kontrol ve kalite güvence çalışmaları standart referans

malzeme (SRM) olarak Thermo Scientific Dionex seven anion standard II ve Thermo Scientific Dionex six cation II standard kullanılmıştır. Çalışmada, geri kazanım yüzdeleri analizlerin standart referans malzeme (SRM) kullanılarak tekrar edilmesi ile 79,3 ile 99,9 aralığında belirlenmiştir. Analizlerin tekrarlanabilirliğinin anlaşılabilmesi için de SRM'lerin görece standart sapmaları hesaplanmıştır. Tekrarlanabilirlik yüzdeleri 0,5 ile 15,7 aralığında değişmektedir [11].

3. Sonuçlar

3.1. Suda çözünür inorganik iyon seviyeleri

Çalışmada kentsel ve yarı kentsel örnekleme noktalarında ölçülen inorganik iyon konsantrasyonlarının kış ve yaz mevsimleri için hesaplanan ortalama konsantrasyon değerleri Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'de verilen ortalama anyon ve katyon konsantrasyonları incelendiğinde, hem kış hem de yaz mevsimlerinde kentsel örnekleme noktasında yarı kentsel örnekleme noktasına göre genellikle daha yüksek değerlerin elde edildiği görülmektedir. Bu durum kent merkezinin kaynaklara olan yakınlığı, rakımın düşük olması ve etrafının dağlık ve tepelik olması nedeni ile kirleticilerin dağılmasından kaynaklanmaktadır. İki örnekleme noktasında da en yüksek iyon konsantrasyonları SO₄²⁻ iyonu için en düşük konsantrasyonlar ise Br⁻ iyonu için belirlenmiştir. İyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişikliklerinin anlaşılabilmesi için kış mevsiminde ölçülen konsantrasyonların yaz mevsiminde ölçülen konsantrasyonlara oranları hesaplanmıştır.



Şekil 2. Kentsel ve Yarı Kentsel örnekleme noktalarında ölçülen inorganik iyon konsantrasyonları: (a) kış, (b) yaz

Çalışmada, mevsimsel konsantrasyon değişikliklerinin anlamlı bir farklılığa sahip olup olmadığını belirlemek için veri setlerine Sosyal Bilimler İstatistiksel Paket programı (SPSS Inc., Chicago, USA, Version 21) kullanılarak parametrik olmayan bir test olan Mann Whitney U testi uygulanmıştır. Test sonucunda belirlenen p değerlerinin 0,05 değerinden düşük olması (%95 güven seviyesinde) karşılaştırma yapılan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığın olduğunu göstermektedir [12]. Tablo 2'de Kentsel ve yarı kentsel örnekleme noktaları için Kış/Yaz konsantrasyon oranları ve Mann Whitney U testi kullanılarak belirlenen p değerleri verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde kentsel örnekleme noktasında SO_4^{2-} ve Ca^{2+} iyonlarının dışında kalan diğer iyonlar için Kış/Yaz konsantrasyon oranlarının "1" in üzerinde olduğu ve p değerlerine göre de anlamlı istatistiksel mevsimsel farklılıkların ($p < 0,05$) olduğu görülmektedir. SO_4^{2-} ve Ca^{2+} iyonları için ise, kış örnekleme noktasında elde edilen

konsantrasyonların yaz örnekleme noktasında elde edilen konsantrasyonlarla birbirine yakın seviyelerde olduğu belirlenmiştir. İstatistiksel analiz sonucunda belirlenen p değerleri de ($p > 0,05$) SO_4^{2-} ve Ca^{2+} iyonlarının yaz ve kış mevsimlerinde anlamlı istatistiksel farklılıklar göstermediğini işaret etmektedir. Yarı kentsel örnekleme noktasında ise Kış/Yaz oranları "1" değerine yakın olan NO_2^- , Mg^{2+} , NH_4^+ iyonları için p değerleri ($p > 0,05$) anlamlı mevsimsel farklılıkların olmadığını doğrulamaktadır. Bununla birlikte, yarı kentsel örnekleme noktasında, kentsel örnekleme noktasından farklı olarak SO_4^{2-} ve Ca^{2+} iyonları için yaz konsantrasyonlarının, kış konsantrasyonlarından yüksek ölçüldüğü ve bu farklılığın istatistiksel olarak da anlamlı seviyelerde ($p < 0,05$) olduğu anlaşılmıştır. Tablo 2'de PO_4^{3-} , Cl^- , F^- , NO_3^- , Na^+ , K^+ , Br^- iyonları için ise kış konsantrasyonlarının yaz konsantrasyonlarından anlamlı seviyede ($p < 0,05$) yüksek olduğu görülmektedir. İnorganik iyon konsantrasyonlarının kış mevsiminde yaz mevsiminden yüksek olmasında kış mevsiminde yaz mevsiminden farklı olarak ısınma amaçlı yakıtların kullanılması etkilidir. Öyle ki, biyokütle ve klor yanmasından kaynaklanan F^- ve Cl^- iyonları [13,14] ile biyokütle yanması ve tarımsal amaçlı gübre kullanımından kaynaklanabilen PO_4^{3-} iyonlarının kış/yaz oranları en yüksek değerlere sahiptir [15,16]. Bununla birlikte, yine kış konsantrasyonları yaz konsantrasyonlarından yüksek olan K^+ iyonları da biyokütle yanmasından kaynaklanmaktadır [17]. Kış mevsiminde ölçülen konsantrasyonların yaz mevsimine göre yüksek olması, kış mevsiminde kaynakların artmasının dışında konsantrasyonların kış mevsiminde meteorolojik koşulların etkisi ile yükselmesine de bağlıdır. Ayrıca, yaz mevsiminde iyonların uçucu faza geçerek partikül fazdan ayrılması yaz mevsiminde ölçülen konsantrasyonların kış mevsimine göre düşük olmasının bir başka nedenidir. Düzce ilinin coğrafi konumu ve meteorolojik koşulları sebebi ile kış mevsiminde kirliliğin dağılamamasına bağlı olarak PM konsantrasyonlarında ve buna bağlı olarak kirletici konsantrasyonlarında artış olduğu söylenebilir. Bununla birlikte SO_4^{2-} ve NH_4^+ iyonları atmosferde öncü gazların fotokimyasal reaksiyonları sonucunda ikincil olarak

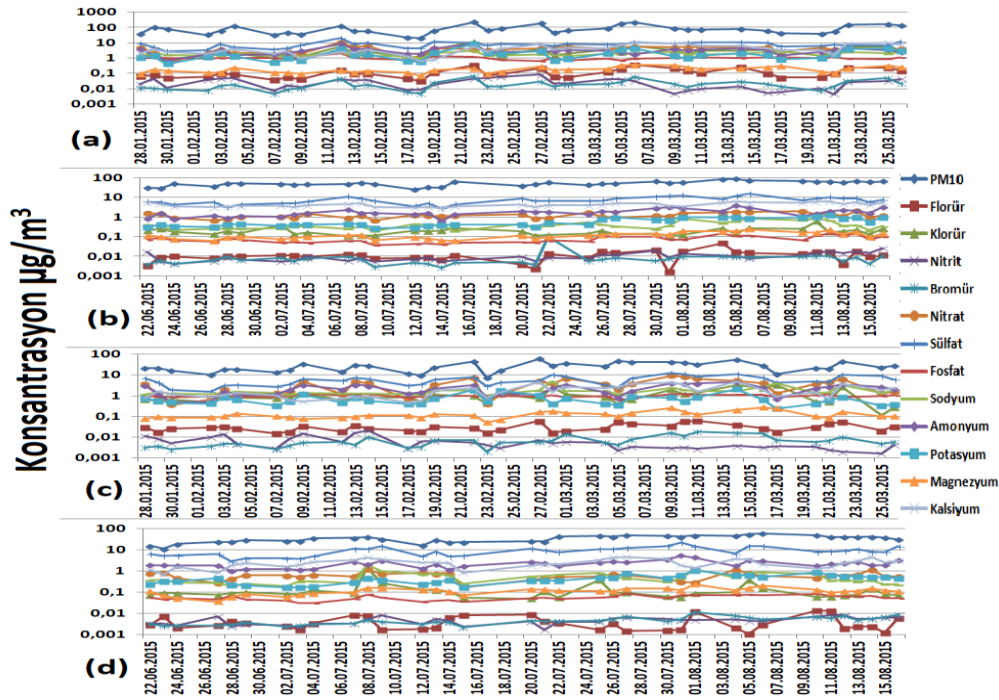
oluşmaktadır [18]. Bu iyonlarının kış ve yaz mevsimlerinde ölçülen konsantrasyonlarının birbirine yakın hatta yarı kentsel örnekleme noktasında yaz mevsiminde ölçülen konsantrasyonların kış mevsiminden daha yüksek olması bu iyonların öncü gazlardan oluşabilmeleri için gerekli olan fotokimyasal reaksiyonların yaz mevsiminde daha fazla gerçekleşmesi ile ilgilidir [18,19]. Bu nedenle de söz konusu iyonların kış mevsiminde kaynak sayısı artmasına rağmen konsantrasyonları yaz konsantrasyonlarına yakın bulunmuştur. Kalsiyum iyonunun yaz konsantrasyonlarının, kış konsantrasyonlarından yüksek olması ise bu iyonun toprak kaynaklı olması ile ilişkilidir [17]. Toprak kaynaklı iyonların atmosferik konsantrasyonları, yaz mevsiminde yağış miktarındaki azalmaya bağlı olarak kuru olan toprak parçacıklarının atmosfere daha fazla yayılabilmesi ile ilgili olarak artmaktadır [20].

Kentsel ve yarı kentsel örnekleme noktalarında ölçülen inorganik iyon konsantrasyonlarının kış ve yaz mevsimlerinde gerçekleştirilen örnekleme süreince nasıl değiştiği Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde örnekleme periyodu boyunca genellikle iyon konsantrasyonlarının değişimi

birbirleri ile ve PM kütle konsantrasyonları ile benzerlikler göstermektedir. Bununla birlikte, kış mevsiminde hem PM₁₀ hem de iyon konsantrasyonlarının örnekleme günleri arasında daha belirgin değişimler gösterdiği görülmektedir. Bu durum kış mevsiminde etkili olan meteorolojik koşullarla ilgilidir.

Tablo.2 Kentsel ve yarı kentsel örnekleme noktaları için Kış/Yaz konsantrasyon oranları ve Mann Whitney U testi p değerleri

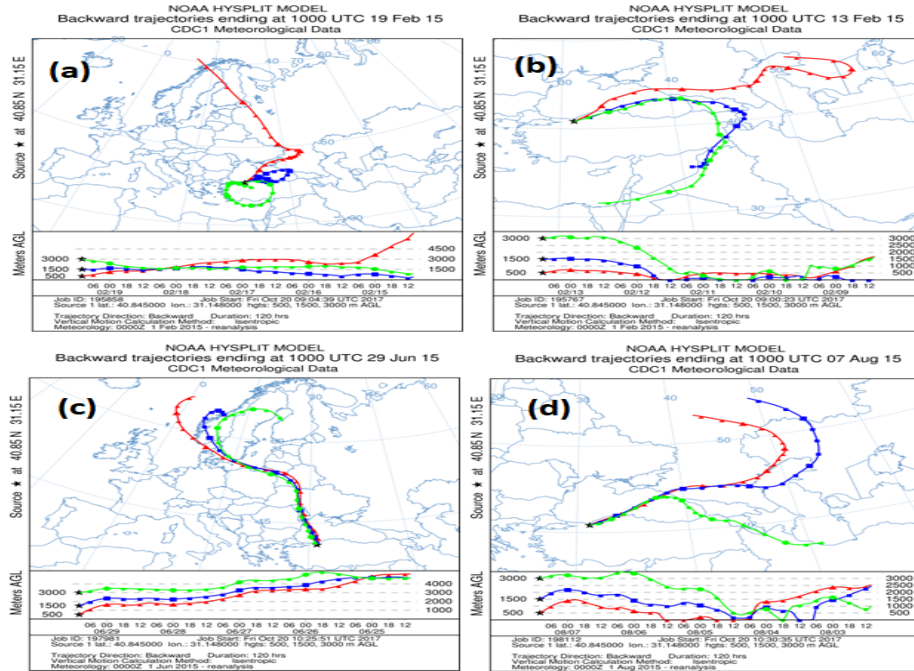
	Kentsel		Yarı kentsel	
	Yaz/Kış	P value	Yaz/Kış	P value
F ⁻	10,45	0	7,18	0
Cl ⁻	15,19	0	7,34	0
NO ₂ ⁻	2,72	0	1,44	0,609
Br ⁻	2,06	0	1,47	0,024
NO ₃ ⁻	3,06	0	5,34	0
SO ₄ ²⁻	1,07	0,618	0,65	0,001
PO ₄ ³⁻	12,73	0	17,52	0
Na ⁺	4,37	0	3,23	0
NH ₄ ⁺	1,7	0	0,99	0,939
K ⁺	3,18	0	1,6	0,001
Mg ²⁺	1,52	0,001	1,08	0,948
Ca ²⁺	0,99	0,211	0,74	0,009



Şekil 3. Kentsel ve Yarı Kentsel örnekleme noktalarında PM₁₀ ve iyon konsantrasyonlarının günlük değişimleri (a) Kış Kentsel, (b) Yaz Kentsel, (c) Kış Yarı Kentsel, (d) Yaz Yarı Kentsel

Yörünge (trajectory) analizleri, hava kütlelerinin izlediği yolun takip edilerek hava kalitesi çalışmalarında uzun mesafeli kirletici taşınımının belirlenebilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Çalışmada, örnekleme bölgesinde ölçülen kirletici konsantrasyonlarının potansiyel kaynak bölgelerini araştırmak ve hava kütlelerinin taşınma yollarını belirleyebilmek için NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi, ABD) HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) modeli kullanılarak 5 günlük geri yörüngeler hesaplanmıştır [21,22]. Bu yörüngeler, kış ve yaz örneklemelerinde üç farklı yükseklikte (500, 1500, 3000 m, AGL) maksimum ve minimum toplam iyon konsantrasyonlarının ölçüldüğü günler için belirlenmiştir. Şekil 4 (a)'da Kış mevsiminde minimum konsantrasyonların ölçüldüğü güne ait geri yörüngeler hava kütlelerinin, 3000 metre seviyesi için Türkiye üzerinden; 1500 metre için Karadeniz üzerinden; 500 m için ise Norveç Denizinden başlayıp Rusya üzerinden örnekleme bölgesine ulaştığı görülmektedir. Yaz mevsiminde (Şekil 4 (c)) ise, hava kütleleri 3 seviye için de neredeyse aynı yörüngeyi takip ederek Norveç'ten başlayarak, Rusya üzerinden örnekleme noktasına ulaşmıştır.

Şekil 4(b)'de kış mevsiminde maksimum konsantrasyonların ölçüldüğü günlerde, hava kütleleri 500 m seviyesi için hazar denizinden başlayıp, Kazakistan üzerinden geçerek, Rusya'nın doğusundan; 1500 m seviyesi için, Suriye'den başlayıp Azerbaycan ve Gürcistan'dan geçerek Karadeniz üzerinden; 3000 metre seviyesi için ise İsrail ve Irak'tan geçerek, Karadeniz üzerinden örnekleme bölgesine geldiği görülmektedir. Yaz mevsiminde (Şekil 4(d)) ise hava kütleleri 500 ve 1500 m için Rusya ve Kazakistan'dan geçerek Karadeniz'in doğusundan; 3000 m seviyesi için ise Hazar Denizi'nin güneyinden başlayıp, İran üzerinden geçerek, Karadeniz'in doğusundan örnekleme noktasına ulaşmaktadır. Model sonuçlarına (Şekil 4) göre, hem kış hem de yaz mevsiminde hava kütlelerinin, minimum konsantrasyonların ölçüldüğü günlerde örnekleme noktasına kuzey yönünden, maksimum konsantrasyonların ölçüldüğü günlerde ise doğu ve güneydoğu yönlerinden geldiği anlaşılmıştır. Bununla birlikte, maksimum konsantrasyonların ölçüldüğü günlerde hava kütlelerinin, minimum konsantrasyonların ölçüldüğü günlerden farklı olarak, çöl tozu taşınımının olabileceği bölgelerden geldiği görülmektedir.



Şekil 4. Yaz ve kış mevsimlerinde, maksimum ve minimum iyon konsantrasyonlarının ölçüldüğü günlere ait HYSPLIT geri yörüngeleri: (a) kış minimum, (b) kış maksimum, (c) yaz minimum, (d) yaz maksimum

3.2. Temel bileşenler analizi tekniği kullanılarak kirletici kaynaklarının belirlenmesi

Çalışmada elde edilen iyon verilerine ait kaynakların belirlenebilmesi amacı ile elde edilen veri setlerine SPSS programı kullanılarak Temel Bileşenler Analizi (PCA) tekniği uygulanmıştır. Bu tekniğin veri setlerine uygunluğunu belirleyebilmek için KMO ve Bartlett testi yapılmıştır. Test sonuçlarına göre her iki veri setinin de KMO değerinin 1'e yakın p değerinin de 0' a yakın olması veri setlerinin PCA için uygun olduğunu göstermiştir. Çalışmada, PCA tekniğinin kullanılmasının amaçları, kentsel ve yarı kentsel örnekleme alanlarında atmosferik iyonların kaynak sayısının belirlenmesi, kimyasal bileşim profillerinin açıklanması ve her bir bölge için faktör katkılarının tanımlanmasıdır.

Çalışmada PCA tekniği ile faktör sayısını belirlemek için faktör analizi sonuçlarında yer alan Kaiser kriteri kullanılmıştır. Temel bileşenler analizinde faktörlerin sayısını bulmak için öz değer >1,0 olan değerlerin ayrılması işlemi ve bileşenlerin karmaşıklığının düşürülmesi için Varimax rotasyonu uygulanmıştır.

Düzce ili için yapılan çalışmada partikül madde örnekleme alanları iki mevsim toplam 70 gün için gerçekleştirilmiştir. Faktör analizinde veri sayısının ve sonuçların güvenilirliğinin artırılabilmesi için PCA analizi iki mevsim sonuçları birlikte tek bir veri seti olarak değerlendirilerek gerçekleştirilmiştir. Konsantrasyonları belirlenen kirleticilerin kaynak profillerini belirlemek için ilk olarak çalışma kapsamında incelenen tüm değişkenlerle model çalıştırılmıştır. Elde edilen kaynak profilleri ve bunların her faktörde açıklanabilirliği incelendiğinde en iyi sonuç veren 10 değişkenin kullanılmasına karar verilmiştir. Modelde kullanılan 10 değişken; florür, klorür, nitrat, sülfat, fosfat, sodyum, amonyum, potasyum, magnezyum, kalsiyum olarak belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen faktörlerin tanımlanmasında literatür kullanılmıştır. Faktör analizinden çıkan kompozit faktörler Tablo 3 ve 4'te verilmiştir. Tablolarda öz değer >1,0 olan faktörlerin yükleri, iyonların ortak varyansları, her faktörün açıklanan varyansları ve toplam açıklanan

varyanslar verilmektedir. Tablolardan da görüldüğü gibi yapılan PCA çalışması sonucunda örnekleme dönemleri için kentsel bölgede sistem varyansının yaklaşık % 88'ini yarı kentsel örnekleme bölgesinde ise % 80'ini açıklayabilen toplam 3 faktör belirlenmiştir. Tablo 3 ve 4'te faktör yükü 0,30'un üzerinde olan değerler sunulmaktadır.

Tablo 3. Kentsel örnekleme noktası için faktör analizi sonuçları

	Komunalite	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3
F ⁻	0,92	0,79	0,53	
Cl ⁻	0,91	0,87	0,35	
NO ₃ ⁻	0,78	0,73		0,49
SO ₄ ²⁻	0,95			0,94
PO ₄ ³⁻	0,91	0,93		
Na ⁺	0,91	0,92		
NH ₄ ⁺	0,89	0,59		0,74
K ⁺	0,78	0,72	0,44	
Mg ⁺	0,83	0,43	0,78	
Ca ²⁺	0,94		0,96	
Açıklanan Varyasyon %		46,96	22,63	18,66
Toplam Açıklanan Varyasyon %		46,96	69,59	88,25
		Karışık antropojenik kaynak+		
Kaynak		deniz tuzu	Toprak	Yanma

Tablo 3 incelendiğinde Faktör 1'de florür, klorür, nitrat, fosfat, sodyum, amonyum ve potasyum iyonlarının ön planda olduğu görülmektedir. Bu faktörde çeşitli antropojenik kaynaklardan yayılan ve deniz tuzu kaynaklı iyonlar bir arada bulunmaktadır [17]. Bu faktörde antropojenik kaynaklardan gelen iyonlar olarak biyokütle yanmasının işaretçisi potasyum ve endüstriyel emisyonlardan gelen flor, araç emisyonlarından gelen nitrat ve deniz tuzu dışında kömür ve biyokütle yanması ile ilişkili olabilecek klor iyonları bulunmaktadır [17,23-26]. Taze deniz tuzu için Cl/Na konsantrasyon oranı 1,17'dir. Bizim çalışmamızda kentsel örnekleme noktasında kış mevsiminde Cl/Na oranı kış örnekleme noktasında 1,57 yaz örnekleme noktasında 0,53 olarak belirlenmiştir. Cl/Na oranlarının kış mevsiminde deniz tuzu bileşimine göre yüksek olması kış mevsiminde yanma kaynaklı klor emisyonlarının varlığını göstermektedir. Yaz mevsiminde Cl/Na oranlarının düşmesi ise bu mevsimde NaCl'in kentsel asitler olan HNO₃ ve H₂SO₄ ile

reaksiyona girerek uçucu HCl oluşturması ile ilgilidir [27,28]. Bu nedenle, Faktör 1 “Antropojenik kaynaklar+deniz tuzu” olarak tanımlanmıştır Faktör 1, sistem varyansının % 46,9'unu oluşturmaktadır.

Tablo 3'te görüldüğü gibi Faktör 2; özellikle kalsiyum ve magnezyum için yüksek katkı paylarına sahiptir. Bu iyonlar toprak kaynaklı iyonlardır [29]. Bu durum faktörü “toprak” kaynağı olarak ön plana çıkarmaktadır. Faktör 2'nin sistem varyansının %22,6'sını oluşturduğu belirlenmiştir (Tablo 3).

Faktör 3'te sülfat, amonyum ve nitrat iyonlarının olduğu görülmektedir. Bu iyonlar gaz öncülerinden ikincil olarak oluşan iyonlardır. Bu iyonların öncü gazları yanma kaynaklı olarak ortama yayılan SO₂ ve NO₂ bileşikleridir [9]. Sülfat ve NH₄⁺ iyonları kömür ve biyokütle yanmasının, NO₃⁻ iyonu ise biyokütle ve doğal gaz yanmasının belirteçidir [26,27]. Aynı zamanda bu iyonların varlığı ikincil aerosol oluşumu olarak da tanımlanır [25]. Düzce ilinin bitki örtüsünün güçlü oluşu ve ağaç endüstrisinin yoğunluğu, evlerde ısınma amaçlı bolca odun yakıldığına bilinmesi, ayrıca kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtlarında çokça kullanılması nedeni ile Faktör 3 “Yanma” olarak tanımlanmıştır. Tablo 3'te yanma kaynaklı kirliliğin sistem varyansının % 18,7'si olduğu görülmektedir.

Yarı kentsel örnekleme noktası için Tablo 4 incelendiğinde Faktör 1'de florür, klorür, nitrat, fosfat, amonyum ve potasyum iyonlarının ön planda olduğu görülmektedir. Bu faktörde kentsel örnekleme noktası için açıklandığı gibi çeşitli antropojenik kaynaklardan yayılan iyonlar bir arada bulunmaktadır. Bu nedenle, Faktör 1 “Karışık Antropojenik Kaynak” olarak tanımlanmıştır Faktör 1'nin sistem varyansındaki payının %29,6 (Tablo 4) olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4'te görüldüğü gibi Faktör 2'de; kalsiyum, magnezyum iyonları ile birlikte potasyum, sülfat, amonyum, iyonları katkı payına sahiptir. Bu iyonlardan kalsiyum ve magnezyum toprak kaynaklı [29], potasyum, sülfat, amonyum biyokütle yanması kaynaklı iyonlardır [13,17]. Bu durum faktörü “kirlenmiş toprak” kaynağı olarak ön plana çıkarmaktadır. Faktör 2'nin sistem varyansının %26'sı olarak belirlenmiştir (Tablo 4).

Faktör 3'de Sodyum, klorür, magnezyum iyonları yüksek katkı paylarına sahiptir. Bu iyonlar deniz tuzu kaynaklı iyonlardır [31,32].

Bu nedenle Faktör 3 “deniz tuzu” olarak tanımlanmıştır. Tablo 4'te deniz tuzundan kaynaklanan kirliliğin sistem varyansının %24,2'si olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Yarı Kentsel örnekleme noktası için faktör analizi sonuçları

	Komunalite	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3
F ⁻	0,79	0,79		0,36
Cl ⁻	0,85	0,45		0,8
NO ₃ ⁻	0,81	0,8		0,38
SO ₄ ²⁻	0,88		0,94	
PO ₄ ³⁻	0,89	0,77		0,43
Na ⁺	0,9	0,36		0,88
NH ₄ ⁺	0,84	0,48	0,78	
K ⁺	0,62	0,73	0,31	
Mg ⁺	0,86		0,59	0,72
Ca ²⁺	0,52		0,7	
Açıklanan Varyasyon %		29,57	26,01	24,22
Toplam Açıklanan Varyasyon %		46,96	55,58	79,8
Kaynak		Karışık antropojenik kaynak	Kirlenmiş toprak	Deniz tuzu

Faktör analizi sonuçları değerlendirildiğinde kentsel örnekleme noktasında antropojenik kökenli kaynakların daha etkili olduğu görülmüştür. Bu durum bu noktanın kaynaklara yakınlığı ile açıklanabilir. Yarı kentsel örnekleme noktasında toprak faktörü ile biyokütle yanması aynı kaynak altında yer almaktadır. Örnekleme noktası yakınında ağaç endüstrisi tesisleri bulunmaktadır. Ayrıca bölgede kışın ısınma amaçlı biyokütle yanması da söz konusu olabilmektedir. Tüm bu nedenlerle bölgedeki toprak, yanma kaynaklı bir kirlenmeye maruz kalmaktadır.

4. Tartışma

Düzce ilinde önemli çevre sorunlarından biri olan hava kirliliğinin boyutlarının anlaşılabilmesi için inorganik iyon konsantrasyonlarının ve bu iyonların kaynaklarının belirlenmesi oldukça önemlidir. Çalışmada inorganik iyon konsantrasyonlarının kentsel örnekleme noktasında yarı kentsel örnekleme noktasına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Değerlendirme mevsimsel farklılıklar açısından yapıldığında ise konsantrasyonların kış mevsiminde yaz mevsiminden daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Mevsimsel farklılıkların

anamlı seviyelerde olduğu Mann Whitney U testi ile de doğrulanmıştır. Çalışmada, rneklemeler bölgesinde ölçülen kirletici konsantrasyonlarının potansiyel kaynak bölgelerini araştırmak ve hava ktellerinin taşınma yollarını belirleyebilmek için HYSPLIT modeli kullanılarak 5 günlük geri yörüngeler hesaplanmıştır. Model sonuçlarına göre, hem kiş hem de yaz mevsiminde hava ktellerinin, minimum konsantrasyonların ölçüldüğü günlerde örneklemeler noktasına kuzey yönünden, maksimum konsantrasyonların ölçüldüğü günlerde ise doğu ve güneydoğu yönlerinden geldiği anlaşılmıştır. Çalışmada elde edilen inorganik iyon verilerine ait kaynakların ve aralarındaki ilişkilerin belirlenebilmesi amacı ile örneklemeler periyotlarında elde edilen veri setlerine PCA tekniği uygulanmıştır. PCA alışması sonucunda kentsel bölgede inorganik iyonlara ait sistem varyansının yaklaşık % 88'ini yarı kentsel bölgede ise % 80'ini açıklayabilen toplam 3 faktör belirlenmiştir. PCA analizi sonucunda ortak gruplar altında toplanan iyonlar incelendiğinde Düzce atmosferinde inorganik iyon içeriğinin en önemli kaynaklarının, trafik, yanma, deniz tuzu ve toprak olduğu söylenebilir.

Teşekkür

Bu alışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (DÜBAP) tarafından desteklenmiştir (Proje No: 2015.06.02.394). Yazar destekleri için Düzce Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'na (DBİT) ve bu yayında kullanılan HYSPLIT modelinin kullanılmasına olanak sağlayan NOAA'ya (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi, ABD) teşekkr eder.

5. Kaynaklar

1. Lin, J.J., (2002). Characterization of water-soluble ion species in urban ambient particles. *Environmental International*, **28**, 55–61.
2. Li, X., Wang, Y., Guo, X., Wang, Y. (2013). Seasonal variation and source apportionment of organic and inorganic compounds in PM_{2.5} and PM₁₀ particulates in Beijing, China. *Journal of Environmental Sciences*, **25**(4), 741–750.
3. Alebic-Juretic, A., Mifka, B., (2017). Secondary Sulfur and Nitrogen Species in PM₁₀ from the Rijeka Bay Area (Croatia). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **98**,133–140.

4. Mariani, R.L. and Mello, W.Z., (2007). PM_{2.5-10}, PM_{2.5} and associated water soluble inorganic species at a coastal urban site in the metropolitan region of Rio de Janeiro. *Atmospheric Environment*, **41**, 2887–2892.
5. Shen, Z., Cao, J., Arimoto, R., Han, Z., Zhang, R., Han, Y., Liu, S., Okuda, T., Nakao, S., Tanaka, S., (2009). Ionic composition of TSP and PM during dust storms and air pollution episodes at Xi'an, China. *Atmospheric Environment*, **43**, 2911–2918.
6. Contini, D., Belosi, F., Gambaro, A., Cesari, D., Stortini, A.M., Bove, M.C., (2012). Comparison of PM₁₀ concentrations and metal content in three different sites of the Venice Lagoon: An analysis of possible aerosol sources. *Journal of Environmental Sciences*, **24**(11), 1954–1965.
7. Gu, J., Schnelle-Kreis, J., Pitz, M., Diemer, J., Zimmermann, R., Soentgen, J., Peters, A., Cyrus, J., (2013). Spatial and temporal variability of PM sources in Augsburg, Germany. *Atmospheric Environment*, **71**, 131–139.
8. Ambade, B., (2014). Seasonal variation and sources of heavy metals in hilltop of Dongargarh, Central India. *Urban Climate*, **9**, 155–165.
9. Galindo, N., Molto, J.G., Varea, M., Chofre C., Yubero, E., (2013). Seasonal and interannual trends in PM levels and associated inorganic ions in southeastern Spain. *Microchemical Journal*, **110**, 81–88.
10. <http://www.csb.gov.tr/db/ced/editordosya/Duzce2015.pdf>.
11. Bozkurt, Z., (2017). Seasonal variation of water-soluble inorganic ions in PM₁₀ in a city of northwestern Turkey. *Environmental Forensics*, **19**(1), 1–13.
12. Calvo, A.I., Pont, V., Lioussé, C., Dupre, B., Mariscal, A., Zouiten, C., Gardrat, E., Castera, P., Lacaux, C. G., Castro, A., Fraile, R., (2008). Chemical composition of urban aerosols in Toulouse, France during CAPITOUL experiment. *Meteorology and Atmospheric Physics*, **102**, 307–323.
13. Deshmukh, D.K., Tsai, Y.I., Deb, M.K., Mkombe, S.L., (2012). Characterization of Dicarboxylates and Inorganic Ions in Urban PM₁₀ Aerosols in the Eastern Central India. *Aerosol and Air Quality Research*, **12**, 592–607.
14. Kong, S., Wen, B., Chen, K., Yin, Y., Li, L., Li, Q., Yuan, L., Li, X., Sun, X., (2014). Ion chemistry for atmospheric size-segregated aerosol and depositions at an offshore site of Yangtze River Delta Region, China. *Atmospheric Research*, **147**(148), 205–226.
15. Chakraborty, A., Gupta, T., (2010). Chemical Characterization and Source Apportionment of Submicron (PM₁) Aerosol in Kanpur Region, India. *Aerosol and Air Quality Research*, **10**, 433–445.

16. Tsai, Y.I., Sopajaree, K., Kuo, S.C., Hsin, T.Y., (2015). Chemical Composition and Size-Fractionated Origins of Aerosols over a Remote Coastal Site in Southern Taiwan. *Aerosol and Air Quality Research*, **15**, 2549–2570.
17. Wang, H., Zhu, B., Shen, L., Xu, H., An, J., Xue, G., Cao, J., (2015). Water-soluble ions in atmospheric aerosols measured in five sites in the Yangtze River Delta, China: Size- fractionated, seasonal variations and sources. *Atmospheric Environment*, **123**, 370-379.
18. Huang, X., Liu, Z., Zhang, J., Wen, T., Ji, D., Wang, Y., (2016). Seasonal variation and secondary formation of size-segregated aerosol water-soluble inorganic ions during pollution episodes in Beijing. *Atmospheric Research*, **168**, 70-79.
19. Duan, F.K., He, K.B., Ma, Y.L., Yang, F.M., Yu, X.C., Cadle, S.H., Chan, T., Mulawa, P.A., (2006). Concentration and chemical characteristics of PM in Beijing, China: 2001–2002. *Science of the Total Environment*, **355**, 264-275.
20. Pekey, B., Bulut, Z.B., Pekey, H., Doğan, G., Zararsız, A., Efe, N., Tuncel, G., (2010). Indoor/outdoor concentrations and elemental composition of PM10/PM2.5 in urban/industrial areas of Kocaeli City, Turkey. *Indoor Air*, **20**, 112-125.
21. Stein, A.F., Draxler, R.R., Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., and Ngan, F., 2015. NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system. *Bull American Meteorological Society*, **96**, 2059-2077.
22. Rolph, G., Stein, A., and Stunder, B., 2017. Real-time Environmental Applications and Display sYstem: READY. *Environmental Modelling & Software*, **95**, 210-228
23. Xiu, G., Zhang, D., Chen, J., Huang, X., Chen, Z., Guo, H., Pan, J., (2004). Characterization of major water-soluble inorganic ions in size-fractionated particulate matters in Shanghai campus ambient air. *Atmospheric Environment*, **38**, 227–236.
24. Mouli, P.C., Mohan, S.V., Reddy S.J., (2006). Chemical Composition of Atmospheric Aerosol (PM10) at a Semi-Arid Urban Site: Influence of Terrestrial Sources. *Environmental Monitoring and Assessment*, **117**, 291–305.
25. Liu, Q., Liu, Y., Yin, J., Zhang, M., Zhang, T., (2014). Chemical characteristics and source apportionment of PM10 during Asian dust storm and non-dust storm days in Beijing. *Atmospheric Environment*, **91**, 85-94.
26. Meng, C.C., Wang, L.T., Zhang, F.F., Wei, Z., Ma, S.M., Ma, X., Yang, J., (2016). Characteristics of concentrations and water-soluble inorganic ions in PM2.5 in Handan City, Hebei province, China. *Atmospheric Research*, **171**, 133–146.
27. Achilleos, S., Wolfson, J.M., Ferguson, S.T., Kang, C.M., Hadjimitsis, D.G., Hadjicharalambous, M., Achilleos, C., Christodoulou, A., Nisanzi, A., Papoutsis, C., Themistocleous, K., Athanasatos, S., Perdikou, S., Koutrakis, P. (2016). Spatial variability of fine and coarse particle composition and sources in Cyprus. *Atmospheric Research*, **169**, 255-270.
28. Bove, M.C., Brotto, P., Calzolari, G., Cassola F., Cavalli, F., Fermo, P., Hjorth, J., Massabò, D., Nava, S., Piazzalunga, A., Schembari, C., Prati, P., (2016). PM10 source apportionment applying PMF and chemical tracer analysis to shipborne measurements in the Western Mediterranean. *Atmospheric Environment* **125**, 140–151.
29. Sharma, S.K., Mandal, T.K., Saxena, M., Rashmi, Rohtash, Sharma, A., Gautam, R., (2014). Source apportionment of PM10 by using positive matrix factorization at an urban site of Delhi, India. *Urban Climate*, **10**, 656–670.
30. Callen, M.S., Cruz, M.T., Lopez, J.M., Navarro, M.V., Mastral A.M., (2009). Comparison of receptor models for source apportionment of the PM10 in Zaragoza (Spain). *Chemosphere*, **76**, 1120–1129.
31. Aldabe, J., Elustondo, D., Santamaría, C., Lasheras, E., Pandolfi, M., Alastuey, A., Querol, X., Santamaría, J.M., (2011). Chemical characterisation and source apportionment of PM2.5 and PM10 at rural, urban and traffic sites in Navarra (North of Spain). *Atmospheric Research*, **102 (1–2)**, 191–205.
32. Murillo, J.H., Roman, R.S., Marin, J.F.R., Ramos, A.C., Jimenez, S.B., Gonzalez, B.C., Baumgardner, D.G., (2013). Chemical characterization and source apportionment of PM10 and PM2.5 in the metropolitan area of Costa Rica, Central America. *Atmospheric Pollution Research*, **4**, 181-19

Hastane Yoğun Bakım Skorlaması İçin Otomasyon Arayüzünün Geliştirilmesi

Uğurhan KUTBAY

Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, TÜRKİYE
ukutbay@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 04.12.2017; Kabul/Accepted: 22.02.2018)

Özet

Bu çalışmada, yoğun bakım hastalarının skorlamasını ve mortalite hesabını otomatik olarak gerçekleştirebilen bir yapı tasarlanmıştır. Bu sayede hastanın durumu hakkında kritik verilerin anlık olarak elde edilmesi de ayrıca amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, hekimin hasta hakkındaki bilgilere göre anlık değerlendirmesini sağlayacak bir sistem tasarımı ve yazılımı geliştirilmiştir. Sistem tasarımında hastabaşı monitör verileri, laboratuvar bilgi sistemi verileri ve hekimin gireceği koma skoru, kronik organ yetmezliği verileri yardımıyla yoğun bakım skor hesabı yapılmaktadır. Yoğun bakım skorlamasına göre de hastanın beklenen ölüm oranı otomatik olarak hesaplanmaktadır. Sistem tasarımında, Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığının "Sağlık Kalite Standartları (SKS)" yönetmeliğinde kullanılması tavsiye edilen "Akut Fizyoloji ve Kronik Sağlık Değerlendirmesi" yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışma sayesinde, Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı SKS yönetmeliğince yapılması zorunlu olan yoğun bakım ünitesinde yatan hastalar ve sağlık personeli için önem arz eden yoğun bakım skorlaması otomatize edilerek zaman kazanımı sağlanmıştır. Bu çalışma 1258.TGSD.2015-2 koduyla "Yoğun Bakım Skorlamalı Karar Destek Sistemi" kapsamında Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Teknogirişim Sermayesi Desteği ile gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yoğun bakım skorlama, Veritabanı, Ölüm oranı hesaplama

Development of an Automation Interface for Intensive Care Scoring

Abstract

In this study, a structure was designed to automatically perform the scoring of intensive care patients and the calculation of mortality. It is also aimed to instantly obtain critical data on the status of the patient in this regard. Within the scope of the study, according to the information about the patient, a system design and software were developed to provide immediate evaluation of the physician. In the system design, intensive care unit score calculations are performed with the help of patient monitor data, laboratory information system data, coma score & and chronic organ failure data to be entered by the physician. According to intensive care scoring, the expected mortality rate of the patient is calculated automatically. In the system design, "Acute Physiology and Chronic Health Assessment" method, which is recommended to be used in the "Health Quality Standards (HQS)" regulation of the Ministry of Health of the Republic of Turkey, has been used. Thanks to this study, time saving was achieved by automating the intensive care scoring which is important for the patients and health personnel who are in the intensive care unit, which is obligatory to be done by the Republic of Turkey Ministry of Health HQS regulation. This study was carried out with the support of Ministry of Science, Industry and Technology, Teknogirişim Capital Support within the scope of "Intensive Care Scorecard Decision Support System" with the code of 1258.TGSD.2015-2.

Keywords: Intensive care unit scoring, Database, Mortality rate calculation

1.Giriş

Son 30 yıldır çok sayıda skorlama sistemi geliştirilmiştir ve bu sistemler yoğun bakım pratiğinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır

[1,2]. Skorlama sistemleri tek bir hasta veya gruplar için prognoz tahmini, yoğun bakım ünitesinin performansının değerlendirmesi ve klinik araştırmalar için önerilmektedir. Ayrıca yoğun bakım skorlaması Türkiye Cumhuriyeti

Sağlık Bakanlığı SKS yönetmeliğine göre zorunlu kılınmaktadır [3]. Skorlama sistemleri sıklıkla hastalık ciddiyetini belirlemek için oluşturulmuştur [4].

Rutin kullanım için karmaşık olan APACHE [5] sistemi, Knaus [6] ve arkadaşları tarafından düzenlenerek basit, klinik olarak daha kullanışlı bir sınıflandırma sistemi olan APACHE-II oluşturulmuştur.

APACHE-II'de fizyolojik ölçümlerin sayısı, sonucu belirlemede değer kaybı olmayacak şekilde 34'den 12'ye indirgenmiştir. Örneğin; Daha az sıklıkla ölçülen serum osmolaritesi, laktik asit düzeyi ve anerji için cilt testi gibi APACHE-I'de yer alan fizyolojik ölçümler iptal edilmiş; kan üre nitrojeni (KÜN) yerine daha spesifik olan serum kreatinin değeri alınmış ve serum bikarbonatı yerine arteriyel pH kullanılmıştır.

İptal edilen her bir değişken için öngörülen revize edilmiş sistem, orijinal APACHE sistemi ile karşılaştırılmış ve bunun sonucunda tüm vital organ sistemlerindeki fizyolojik bozulmaları yansıtan en düşük değişken sayısı 12 olarak bulunmuştur.

Bu indirgeme sırasında serum glukoz düzeyi, serum albümin düzeyi, santral ven basıncı ve idrar debisi gibi değişkenlerin sonucu belirlemede çok az bir rol oynadıkları ve tedavideki değişikliklerden daha çok etkilendikleri saptanmıştır [7].

APACHE-II'de bazı fizyolojik değişkenlerin değerleri ve ağırlık puanları da değiştirilmiştir. Önceki bilgilerin analizi ve diğer araştırmacıların yaptıkları çalışmalar sonucunda Glasgow Skoru ile ölçülen nörolojik fonksiyonun, diğer ölçümlere göre daha ağırlıklı puana sahip olması belirlenmiştir. APACHE-II'de kullanılan diğer 9 fizyolojik değişken ilk sistemdeki gibi kalmıştır.

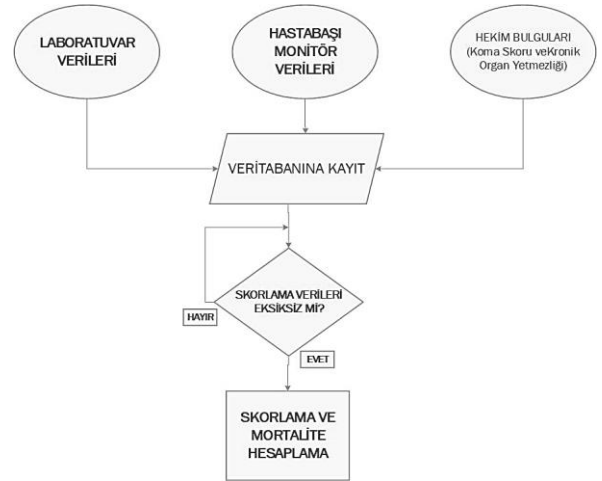
WEB tabanlı çalışmalar erişebilirlik açısından günümüzde oldukça popülerdir. Mühendislik alanında WEB içerik yönetim sistemi [8], WEB tabanlı eğitim sistemi gerçekleştirilmesi [9] vb. bir çok çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, yoğun bakım hastalarının prognozunu yapması için WEB tabanlı APACHE-II skorlama sistemi tasarımı

ve otomatize veri edinimi ile bu kritik işlemin hekimlere hız kazandırması amaçlanmıştır. Çalışma bünyesinde APACHE-II verilerine otomatik erişim sağlayan sistem yazılımı yapılmıştır. Kullanıcı arayüzüne otomatik APACHE-II skorlaması ve mortalite yüzdesi hesabı yapan bir sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Diğer bölümlerde sırasıyla, bu yapı ile ilgili kullanılan materyal ve yöntem, bulgular ve tartışma, sonuç kısımlarını içermektedir.

2. Materyal ve Metot

Sistem donanımında, hastabaşı monitör ve laboratuvar bilgi sistemi veri tabanı, CAT5 Ethernet kabloları, Ethernet anahtarı, RJ-45 konnektör bağlantı noktasına sahip dâhili hastabaşı monitör ve hasta bağlantı kablolarından oluşmaktadır.



Şekil 1. Sistem blok şeması

Şekil 1 de sistem blok şeması bulunmaktadır. Sistem yapısında üç veri kaynağından alınan veriler bir veri tabanına kaydedilerek istenildiği zaman yoğun bakım skorlaması ve mortalite hesabı yapılabilmektedir.

Bu çalışma 3.2 GHz işlem hızına sahip Intel Duo işlemci, 4GB RAM bulunan ve Windows 7 işletim sisteminde gerçekleştirilmiştir. Visual Studio ASP.NET framework ve C# yazılım dilleri çalışma kapsamında kullanılmıştır.

Hasta Başı Monitör olarak PETAŞ firmasının “KMA 900” modeli çalışma kapsamında kullanılmıştır. Monitörün üzerinde ethernet bağlantı noktası, iki adet USB 2.0 bağlantı noktası, bir adet VGA bağlantı noktası, bir adet RS232 seri veri noktası, dâhili aort basınç pompası veri noktası (Analog EKG ve Girişimsel Kan Basıncı için), güç besleme girişi (100-240V 50/60 Hz), ve hastaya ait parametrelerin alındığı soketler T1 ve T2 (vücut sıcaklığı), İKBP (invazif kan basıncı), NIBP (non-invazif kan basıncı), SpO2 (oksijen

saturasyonu) ve EKG (elektrokardiyogram) olmaktadır.

APACHE-II skorlamasında kullanılan değerler ve skor değerleri Tablo 1’de görülmektedir. Bu değerlerden tamamı Şekil 1’de görüleceği üzere hastabaşı monitör, laboratuvar bilgi sistemi ve hekimin hesaplaması gereken Glasgow Koma Skoru verileridir. Toplamda onüç adet veri kullanılarak APACHE-II skorlaması yapılmaktadır.

Tablo 1. Apache-II skorlamasında kullanılan değerler ve skor değerleri [6]

Fizyolojik değerler	Yüksek Oranlı Değerler				Düşük Oranlı Değerler				
	+4	+3	+2	+1	0	+1	+2	+3	+4
Sıcaklık (rektal °C)	≥41	39-40.9		38.5-38.9	36-38.4	34-35.9	32-33.9	30-31.9	≤29.9
Ortalama arter basıncı (mmHg)	≥160	130-159	110-129		70-109		50-69	40-54	≤49
Kalp hızı (nabız / dakika)	≥180	140-179	110-139		70-109		55-69	40-54	≤39
Solunum hızı (/ dak) (Spontan / mekanik)	≥50	35-49		25-34	12-24	10-11	6-9		≤5
FiO ₂ ≥0.5 olduğundan Alveolar arteriyel gradyan DO ₂	≥500	350-499	200-349		<200				
FiO ₂ <0.5 yani PaO ₂					>70	61-70		55-60	<55
Arteriyel pH (seçim)	≥7.7	7.6-7.69		7.5-7.59	7.33-7.49		7.25-7.32	7.15-7.24	<7.15
Venöz HCO ₃ (mEq / L)	≥52	41-51.9		32-40.9	22-31.9		18-21.9	15-17.9	<15
Sodyum (mEq / L)	≥180	160-179	155-159	150-154	130-149		120-129	111-119	<110
Potasyum (mEq / L)	≥7	6-6.9		5.5-5.9	3.5-5.4	3-3.4	2.5-2.9		<2.5
Serum kreatinin (mg / dL)	≥3.5	2-3.4	1.5-1.9		0.6-1.4		<0.6		
Akut böbrek yetmezliği => x 2									
Hematokrit (%)	≥60		50-50.9	46-49.9	30-45.9		20.-29.9		<20
Lökosit (/ mm3 x 1000)	≥40		20-39.9	15-19.9	3-14.9		1-2.9		<1
Gerçek Glasgow Koma skoru (GKS)									

TOPLAM FİZYOLOJİK SKOR (A)

Bu verilere ek olarak APACHE Skorunda yaş skorlaması ve kronik sağlık skoru verileri de Tablo 2 de görülen yaş skorlaması ve Tablo 3 de verilen kronik sağlık skorlaması verileri ile toplam APACHE-II skoru hesaplanır.

Tablo 2. Yaş skorlaması [6]

Yaş (Yıl)	Yaş Skoru (B)
<44	0
45-54	2
55-64	3
65-74	5
≥75	6

Skor (B)

Tablo 3. Kronik sağlık skorlaması [6]

Kronik sağlık skorları (C): Geçmişte ciddi organ sistemi yetmezliği veya bağışık baskılama. İmmün supresyon kategorize edilebilir;

- Hepatik: Biyopsi ile kanıtlanmış siroz, portal hipertansiyon, ilişkili gastrointestinal kanama, karaciğer yetmezliği, Ensefalopati, koma,
 - Kardiyovasküler: Dinlenmekte olan anjina ve kalp semptomları,
 - Solunum: Kronik kısıtlayıcı, tıkayıcı hastalık, kronik hipoksi, hiperkapni, sekonder polisitemi, ciddi pulmoner hipertansiyon, mekanik ventilasyon,
 - Böbrek: kronik hemodiyaliz, peritoneal diyaliz, immünosupresyon: bağışıklık bastırıcı, kemoterapi, radyoterapi, yüksek doz steroid alımları (lösemi, lenfoma, AIDS)
- Tanımlanan semptomlar için acil hastalarda ameliyat olmamış veya ameliyat olmadıysa = **5 puan**,
Postoperatif seçmeli hastalar için = **2 puan**
- Skor (C)**

Elde edilen skor verileri kullanılarak APACHE-II skorlaması aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{APACHE-II Skoru}=(A)+(B)+(C) \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlikte Tablo 1 de verilen fizyolojik skor, Tablo 2 de verilen yaş skoru ve Tablo 3 'te verilen kronik sağlık skorlaması verileri ışığında elde edilen skor değerleri toplanması ile elde edilir.

Çalışma kapsamında kullanıcı arayüzünde üç farklı ASP.NET yapısından oluşan kullanıcı sayfasından oluşmaktadır. Kullanıcı arayüzleri bootstrap yapısı kullanılarak hızlı bir arayüz hedeflenmiştir [10]. Bu kullanıcı ekranlarından ilk ekranda kullanıcı (hekim) isim ve şifresi ile Şekil 2 de görüldüğü gibi sistem girişi yapmaktadır. Kullanıcı girişinin şifre ile kullanıcıya özel olarak yapılmasının sebebi, hasta verilerine sadece ilgili tıbbi personelin ulaşmasıdır. Sistem girişi ancak SQL veritabanından kullanıcı giriş ekranından kullanıcı isim ve şifresi ile yapılmaktadır.

Sistem girişi yapıldıktan sonra Şekil 3'de görülen hasta bilgi ekranı gelmektedir. Bu kullanıcı ekranında hastanın isim, soyisim, yoğunbakım yatak numarası, laboratuvar verileri butonu ve anlık hastabaşı monitör verileri butonu bulunmaktadır. Ayrıca gerekli durumlarda kişi bilgilerini düzenleme ve silme işlemi bu kullanıcı ekranı üzerinden gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 2. Kullanıcı girişi arayüz görüntüsü

Laboratuvar verileri ve hastabaşı monitör verileri sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5 de görülmektedir. Bu verilere ulaşmak için Şekil 3 de mevcut arayüz aracılığıyla erişilebilmektedir.

Ad	Soyad	Durum	YatakNo	LabMon	düzertle	sil
Uğurhan	Kutbay	Kritik	1	LabMon	düzertle	sil
Fırat	Hardalaç	Stabil	2	LabMon	düzertle	sil

Kayıt Ekle

Şekil 3. Hasta bilgi arayüzü

ArterialpH	FIO2	HCO3	Ht	SerumKeratinBYVar	SerumKeratinBYYok	SerumPotasyum	SerumSodyum	WBC
7.6	55	41	30	40		6.5	140	28

Şekil 4. Laboratuvar bilgi arayüzü

Şekil 4 te görüleceği üzere bazı laboratuvar verileri ve diğer tıbbi veriler, APACHE II puanlaması için eklenmelidir. Bu veriler PaO₂, AKG serum HCO₃(mmol/L), serum sodyum (mmol/L), arter pH, serum potasyum (mmol/L) ve serum keratindir. Eğer akut böbrek yetmezliği varsa hematokrit (Ht-%) ve beyaz kan hücresi ($\times 10^3/\text{mm}^3$) sayımı da gereklidir. Ayrıca bu verilere ilaveten hekim Glasgow Koma skorunu, hastanın yaşını ve kronik organ

yetmezliği (eğer varsa) verilerini de APACHE II skorlaması için girmelidir.

Şekil 4 de laboratuvar bilgi sisteminden gelen beyaz kan hücresi sayısı, hematokrit (kırmızı kan hücrelerinin hacimsel yüzdesi), HCO₃ (bikarbonat-kan sayımı için), serum keratin, serum potasyum, serum sodyum ve FIO₂ (alınan havanın oksijen yüzdesi) değerleri elde edilmektedir.



KalpHızı	OrtKanBasıncı	SolunumHızı	VucutSıcaklığı
60	55	20	34

Şekil 5. Hastabaşı monitör bilgi arayüzü

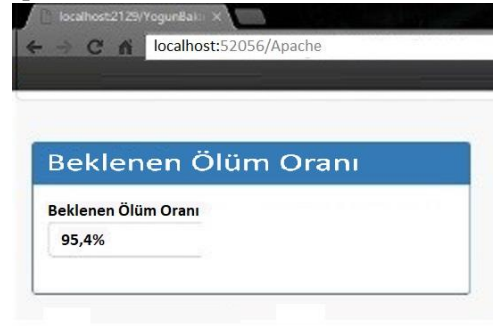
Hastabaşı monitörden Şekil 5 de görülen APACHE II hesaplaması için gerekli kalphızı, invazif olmayan ortalama kan basıncı, solunum hızı ve vücut sıcaklığı değerleri elde edilmektedir. Bu değerler hastabaşı monitörün Ethernet bağlantısı aracılığıyla ve “.NET” framework üzerinden bir timer ile istenilen sürelerde güncellenecek şekilde hastabaşı monitörden çekilebilmektedir.

Yoğun bakım puanlamasını otomatikleştirmek için bazı veriler de hastabaşı monitörden alınmaktadır. Monitör ile veritabanı arasında bağlantı RJ-45 Ethernet jak üzerinden UDP (User Datagram Protokol) [11] kullanılarak hızlı bir şekilde veri transferi gerçekleştirilmektedir. Hastabaşı monitörden, TCP/IP üzerinden veri okunur. Zamanlayıcıdan istenilen sürede (kullanıcı arayüzü çalıştırıldığında) port bağlantısı gerçekleştirilir. Bağlantıyı gerçekleştirmek için öncelikle doğru port olup olmadığı kontrol edilir. Port bağlantısı başarılı şekilde gerçekleştirildiyse elde edilen paketler veritabanına kaydedilir. Portun kapatılması ya da bağlantı hatası olması durumunda hata mesajı verilerek veri aktarımı durdurulur.

Monitörden alınabilen veriler; EKG palsı, invazif sistolik kan basıncı (mmHg), invazif kan ortalama basıncı (mmHg), invazif kan diyastolik

basıncı (mmHg), invazif kan sistolik basıncı (mmHg), non-invazif kan ortalama basıncı (mmHg), non-invazif kan diyastolik basıncı, sıcaklık (°C), O₂ saturasyonu (%), solunum hızı (dakikada), non-invazif sistol basıncı (mmHg), end-tidal CO₂ parsiyel basıncı verileridir. Bu verilerden APACHE-II skorlamasında vücut sıcaklığı, ortalama arter basıncı, nabız, solunum hızı kullanılmaktadır.

Gerekli veriler laboratuvar bilgi sistemi ve hastabaşı monitörden elde edilip, SQL veri tabanına “.NET” framework kullanılarak kaydedilmiştir. Daha sonra bu verilere ek olarak hekim hastanın kronik organ yetmezliği ve Glasgow Koma skorlamasını tamamladıktan sonra nihai APACHE-II skorunu ve bu skorlama sonucu elde edilen mortalite oranı hesaplanmaktadır.



Beklenen Ölüm Oranı
95,4%

Şekil 6. APACHEII skorlamasına göre beklenen ölüm oranı

3. Bulgular ve Tartışma

Sağlık personelinin kullanacağı arayüz uluslararası APACHEII Skorlama Sisteminin arayüzü temel alınarak tasarlanmıştır. Windows İşletim Sistemine uygun olarak “.NET” framework ortamında; Asp.NET, Javascript, CSS, HTML5 ve bootstrap arayüz yapıları kullanılarak hazırlanmıştır. Tasarımda olabildiğince sade ve hekimlerin kolay kullanımına uygun ve anlaşılabilir bir yapıda olmasına özen gösterilmiştir.

Çalışma sonucunda, daha önce yoğun bakım skorlaması için otomasyon sistemi olmayan bir yapı tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Bu sayede Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı tarafından da hastanelere zorunlu kılınan yoğun bakım skorlaması ve mortalite tahmini otomatize edilmiştir.

APACHEII skorlamasında kullanılan 15 veriden 12 veri hastabaşı monitör ve laboratuvar bilgi sisteminden çekilerek skorlama yapacak hekime büyük kolaylık sağlanmıştır. Sadece hekimin teşhis ile koyabileceği bir koma skorlaması olan “Glasgow Skoru” ve “Kronik Organ Yetmezliği” verileri hekim girecek buna ilaveten bir de hastanın yaşını ekleyerek kolayca mortalite hesabı yapılabilecektir. Bu sayede üç tipte belirlenen kritik yoğunbakım seviyelerindeki öncelikler hızlıca belirlenecektir.

Her bir verinin Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı skorlama sisteminde girişi ortalama 5 saniye olduğu düşünülürse, her bir hesaplamada yaklaşık 1 dakikalık bir zaman kazancı sağlanacağı tahmin edilmektedir.

Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı, İstatistik, Analiz ve Raporlama Daire Başkanlığı 2015 verilerine göre Sağlık Bakanlığına bağlı hastanelerde 12.545, Üniversite Hastanelerinde 5.372 ve özel hastanelerde de 13.218 olmak üzere toplam 31135 yatak bulunmaktadır. Aynı birimin yoğunbakım yatak toplam doluluk oranları da incelendiğinde 1. seviyede %68, 2. seviyede %80 ve 3. seviyede de %81 olmak üzere toplamda %77’lik bir doluluk seviyesi mevcuttur. Bu veriler ışığında toplamda

yaklaşık olarak 23.974 yatakta sürekli olarak yoğun bakım hastası mevcut olduğu anlamına gelmektedir. Altı saatte bir bu ölçümün yapılmasının zorunlu olduğu da göz önüne alınırsa 24 saatlik gözlem süresinde yaklaşık olarak 95896 adet mortalite raporu tutulması gerektiği görülmektedir. Bu sayıda raporlamanın böyle bir sistemle yapılması durumunda toplamda hekimlere yaklaşık 1598 saatlik bir vakit kazandırabileceği sonucunu ortaya koymaktadır.

Zaten personel eksikliğinden dolayı hekimlerin zorlandığı bir ortamda, toplamda 1598 saatlik zaman kazanımının yoğun bakımlarda pozitif etki yapacağı da düşünülmektedir.

Yapılan çalışmanın vizyonunda, çocuklar ve yenidoğan skorlaması da gerçekleştirilerek tüm yoğunbakım hastaları için bir sistem yapılması da düşünülmektedir.

4. Sonuç

Çalışma yoğunbakım hastalarının belirli periyotlarda hesaplanması gereken yoğunbakım skorlarını otomatik bir şekilde hastabaşı monitör, laboratuvar bilgi sistemi ve doktor verileri ile hesaplayabileceği bir sistemdir.

Sistem, el ile girilmesi gereken verilerin bir sunucuya kaydedilip otomatik APACHE-II hesaplamasına göre mortalite hesaplamasına olanak sağlamaktadır.

Bu sistem sayesinde hekimlere büyük bir zaman kazanımı sağlayacağı öngörülmektedir. Sistem tasarımındaki basit arayüz sayesinde hekimlerin kolay bir şekilde kullanabileceği bir yapı geliştirilmiştir. Bu sayede durumu kritik olan yoğun bakım hastalarına da daha hızlı bir müdahale edilebileceği aşikârdır. Hızlı karar mekanizması sayesinde yoğun bakım seviyeleri arasında geçiş de yapılabilecek ve minimum sürede hekim tarafından prognosis yapılabilecektir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, 1258.TGSD.2015-2 koduyla “Yoğun Bakım Skorlamalı Karar Destek Sistemi” kapsamında Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Teknogirişim Sermayesi Desteği ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca proje kapsamında danışman olarak katkıda bulunan Doç. Dr. Fırat HARDALAC’a da ayrıca teşekkür ederim.

6. Kaynaklar

1. Exarchopoulos T., Charitidou E., Dedeilias P., Charitos C., Routsis C. (2015). Scoring systems for outcome prediction in a cardiac surgical intensive care unit: a comparative study. *Am. J. Crit. Care.*, **24(4)**: 327-34.
2. Wong D.T., Barrow P.M., Gomez M., McGuire G.P. (1996). A comparison of the acute physiology and chronic health evaluation (APACHE) II score and the trauma-injury severity score (TRISS) for outcome assessment in srinagarind intensive care unit trauma patients. *Crit. Care. Med.*, **24(10)**: 1642-1648.
3. Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü Sağlıkta Kalite ve Akreditasyon Daire Başkanlığı. (2016). SKS-Hastane (Versiyon-5; Revizyon-01). *T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlıkta Kalite Standartları-Hastane (Ministry of Health of Turkey Health Quality Standards-Hospital)*
4. Sakarya M. (2006). Skorlama Sistemleri. *J. Turk. Intens. Care. Soc.*, **4(2)**: 66-73.
5. Knaus W.A., Wagner D.P., Zimmerman J.E. (1981), APACHE-acute physiology and chronic health evaluation:A physiologically based classification system, *Crit Care Med*, **9**: 591-597.
6. Knaus W.A., Draper E.A., Wagner D.P., Zimmerman J.E. (1985). Apache II: A severity of disease classification system. *Crit. Care. Med.*, **13**: 818-829.
7. Knaus W.A., Wagner D.P., Draper E.A. (1983). Statistical validation of a severity of illness reasure. *Am. J. Public. Health.*, **73**: 878-884.
8. Çavdar, T. (2017). Android ve Web Tabanlı Latin-Göktürk Yazı Sistemi Dönüştürücü Yazılımı. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 29(1).
9. Baykara, M., Daş, R., & Tuna, G. (2016). Web Sunucu Erişim Kütüklerinden Web Ataklarının Tespitine Yönelik Web Tabanlı Log Analiz Platformu. *Int. J. Sci. Tech.*, **28(2)**: 291-302.
10. Mussio P., Finadri M., Gentini, P., and Colombo F. (1992). A bootstrap approach to visual user-interface design and development. *Vis. Comput.*, **8(2)**: 75-93.
11. Markovski V., Fei X., and Ljiljana T. (2001). Simulation and analysis of packet loss in user datagram protocol transfers. *J. Supercomput.*, **20(2)**: 175-196.

3 Boyutlu Yazıcı Kullanılarak Üretilen Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Basma Yükü Altındaki Performanslarının Araştırılması

Murat Yavuz SOLMAZ*, Eyüp ÇELİK

Firat University, Engineering Faculty, Department of Engineering, 23119 Elazığ/Turkey

*mysolmaz@firat.edu.tr

(Geliş/Received:06.12.2017; Kabul/Accepted:12.02.2018)

Özet

Bu çalışmada altıgen petek (bal peteği) yapılı sandviç kompozitlerin basma kuvveti etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Kompozit numunelerin yüzey örtüsü tabakalı kompozitten (polyester/cam fiber) üretilmiş olup petek hücrelerin üretiminde ABS ve PLA gibi 2 farklı özelliğe sahip termoplastik malzeme kullanılmıştır. Sandviç yapıların çekirdek kısmının üretimi üç boyutlu (3D) yazıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 3 farklı hücre boyutuna ve 3 farklı hücre yüksekliğine sahip petek yapılı sandviç numuneler aksel basma deneyine maruz bırakılmıştır. Elde edilen sonuçlar numunenin ağırlığına oranlanarak her bir parametre için özgül kritik burkulma yük değerleri belirlenmiş ve grafikler halinde sunulmuştur. Sonuç olarak maksimum dayanım 7 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğinde elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda PLA malzemenin ABS malzemeye göre daha üstün özelliklere sahip olduğu elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bal Peteği, 3D, Sandviç Kompozitler, ABS, PLA

Investigation of Compression Test Performances of Honeycomb Sandwich Composites Produced by 3D Printing Method

Abstract

In this study, the behaviors of hexagonal honeycomb sandwich composites under compression force were investigated. Composite plates are produced with surface cover layer composite (polyester / glass fiber) and thermo plastic materials with 2 different properties such as ABS and PLA are used in the production of honeycomb cells. The initial part of the sandwich constructions was produced using a three-dimensional (3D) printer with Fused Deposition Method. The honeycomb sandwich samples with 3 different cell sizes and 3 different cell height were subjected to the axial compression test. The specific critical buckling load values for each parameter are determined and presented as graphs, with the results obtained being proportional to the weight of the sample. As a result, maximum strength was obtained at 7 mm cell size and 25 mm cell height. As a result of the experiments, PLA material has superior mechanical properties to ABS material.

Keywords: Honeycomb, 3D, Sandwich Composites, ABS, PLA

1. Giriş

Hüresel yapıdaki kompozitler kompozit endüstrisinin en değerli mühendislik buluşlarından birisidir [1]. Hüresel kompozitlerde altıgen petek yapıda boşluklara sahip petek hücre yapılı kompozit numuneler yüksek enerji sönmeme kabiliyeti, hafiflik, yüksek kayma ve eğilme rijitliği, ses yalıtımı ve yüksek korozyon dayanımı özellikleri nedeniyle havacılık ve diğer endüstri dallarında kullanımı artmaktadır. Oldukça hafif sistemler elde etmek için sandviç yapıların iç ve dış tabakaları arasında bu petekli yapılar yerleştirilir [2]. Petek hücre

boyutları sandviç kompozit yapının yoğunluğunu belirler [3]. Bal peteği kompozit yapıların alt ve üst yüzeyleri kompozit levhalarla kaplanarak sandviç kompozit numuneler elde edilir[3]. Üretim sürecinin zor ve pahalı olması nedeniyle bal peteği yapıların mekanik davranışlarının belirlenmesi zor bir durumdur. Bal peteği yapıların kullanılması için mekanik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir[4].

Mekanik özelliklerin belirlenebilmesi için basma, darbe, soyulma, eğilme, çekme testleri yaygın olarak yapılmaktadır [3,4]. Literatürdeki çalışmalarda petek yapılı kompozit numuneler eğilmeye maruz bırakılarak hasar tipleri ve

dayanımları araştırılmıştır, hasar oluşumunun yüzey örtüsünün mekanik dayanımının aşıldığı durumlarda meydana geldiği belirlenmiştir[5]. Literatürdeki bir diğer çalışmada farklı hücre tipindeki sandviç yapıların eğilme davranışları ve hasar tipleri belirlemiş hücre malzemesi olarak; petek alüminyum köpük ve küre şeklinde boşluklu metal yapılar kullanmışlardır [6]. Literatürdeki bir diğer çalışmada petek yapıli kompozitlerin, maksimum dayanım, kırılma ve deformasyon değerleri ve enerji absorbe özellikleri basma ve çarpma yükleri altında elde edilmiştir [2]. Alüminyum petek yapıli kompozit levhalara yapılan kayma testi sonucunda yük-yer değiştirme grafiğinden; kayma yükünün maksimum bir değere ulaştığı bu değerden sonra ani bir düşüş gösterdiği ve daha sonra yükün sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada deformasyon süreci, elastik deformasyon, plastik deformasyon, hücre duvarı kırılması ve petek hücreleri ile yüzey örtüsünün ayrılması şeklinde tanımlanmıştır [7]. Bal peteği kompozit levhaların basma mukavemetlerinin iyi olmasına karşın eğilme ve kesme mukavemetlerinin iyi olmadığı hasarın uygulanan yüke bağlı olarak genelde yapışma noktalarından ayrılma şeklinde meydana geldiği bilinmektedir [8].

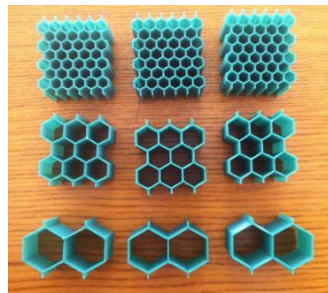
Bu çalışmada üç boyutlu yazıcı kullanılarak 3 farklı hücre boyutu ve 3 farklı hücre yüksekliğinde üretilen bal peteği yapıli sandviç kompozitlerin basma kuvveti etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Kompozit numunelerin yüzey örtüsü tabakalı kompozitten (polyester/cam fiber) üretilmiş olup petek

hücrelerin üretiminde ABS ve PLA gibi 2 farklı termoplastik malzeme kullanılmıştır.

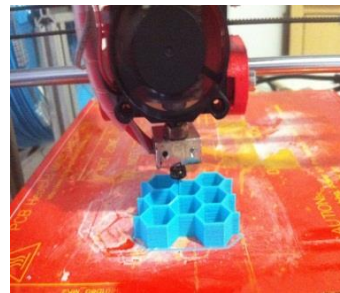
2. Malzeme ve Yöntem

Petek yapıli sandviç kompozitlerin üretilmesinde ergiyik biriktirme yöntemi kullanılmıştır. Bal peteği hücrelerin üretiminde 1.75 mm çapında PLA ve ABS termoplastik filamen tercih edilmiştir. 7, 14 ve 25 mm olmak üzere üç farklı hücre boyutu ve 25, 30 ve 40 mm olmak üzere üç farklı yüksekliğe sahip petek yapıli deney numunelerinin üretim şekli Şekil 1’de, bal peteği çekirdek geometrisi Şekil 2’de verilmiştir.

Çalışmada yüzey örtü malzemesi olarak cam fiber ve polyester reçine kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak Erco polyester E-6 döküm tipi polyester reçine, sertleştirici olarak Erco Mek Peroksit- Ece Perox ve hızlandırıcı olarak da Erco Kobalt Oktaat (%6) - Ece Dryer kullanılmıştır. Karışım oranı olarak 35gr reçineye karşılık 3gr sertleştirici ve 3 gr hızlandırıcı seçilmiştir (35:3:3). Matris malzemesi içerisine iki tabaka halinde rastgele dağılıma sahip cam fiber yerleştirilerek ortalama $t_f=2.4$ mm kalınlığında kompozit yüzey örtüsü plakaları üretilmiştir. Kompozit plakaların katılmasında petek hücreler plakaların üzerine yerleştirilerek sıvı haldeki matris yardımıyla birleşmesi sağlanmıştır. Bu işlem aracılığı ile matris malzemesi ile yüzey örtü malzemesinin yük altında ideal etkileşimi temin edilmiştir.



Şekil 1. Ergiyik biriktirme yöntemi ile petekli yapı hücre üretimi



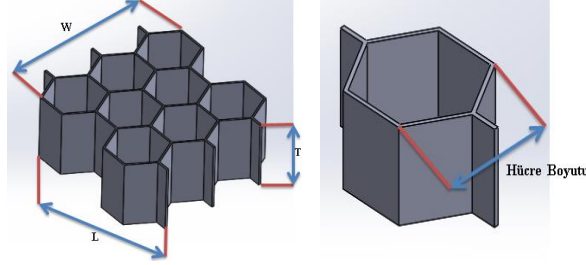
Katılma süreci tamamlanan kompozit plaka ile ona yapışmış olan petek hücre yapısının diğer yüzeyi de aynı işlemler uygulanarak kompozit plakalar ile kapatılmıştır. Oda sıcaklığında katılma sürecini tamamlayan sandviç yapı tel testere yardımı ile petek hücre

boyutlarında kesilerek deney numuneleri hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan ABS ve PLA termoplastik yapıli malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Basma deneyleri UTEST (1 kN) marka üniversal çekme/basma test cihazında

0.5mm/dak basma hızında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda farklı hücre yoğunluğu ve farklı yüksekliklere sahip numunelerin yük/uzama grafikleri elde

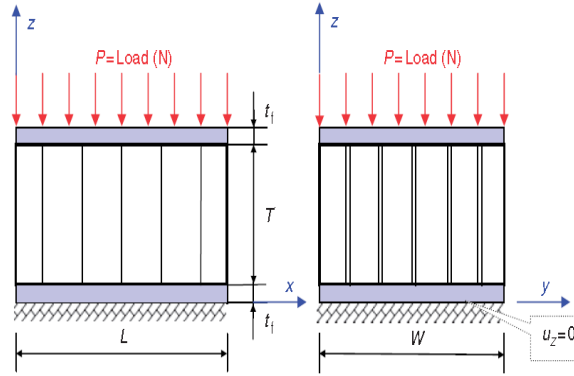
edilmiştir. Numune boyutları ve yükleme koşulları Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 2. Bal peteği geometrisi [2]

Tablo 1. ABS ve PLA termoplastik yapılı malzemelerin mekanik özellikleri [9]

Mekanik Özellikler	PLA	ABS
Çekme Mukavemeti (MPa)	65	41
Kopma Uzaması (%)	7.5	8.2
Eğilme Mukavemeti (Mpa)	97	63
Eğilme Modülü (MPa)	3600	2200

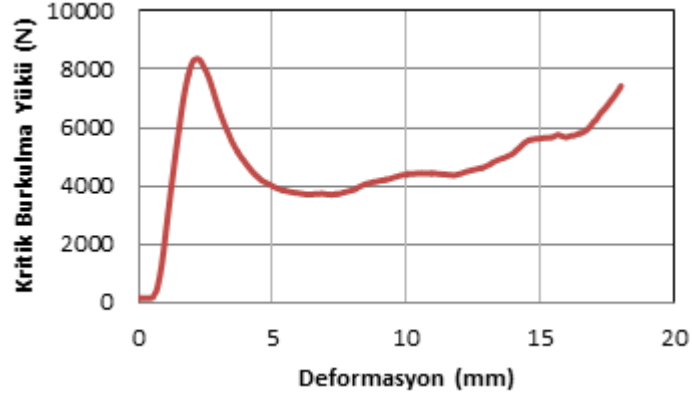


Şekil 3. Numune boyutları ve yükleme koşulları

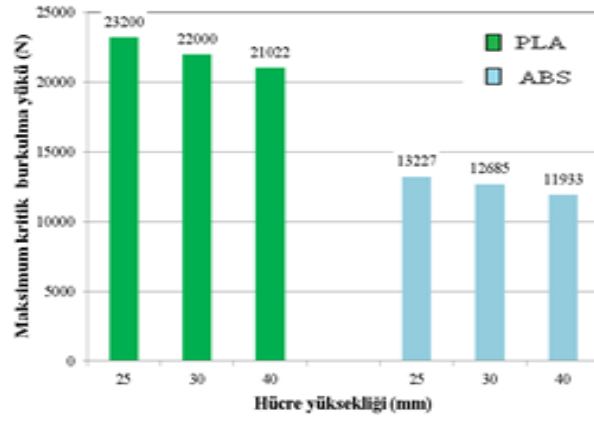
3. Sonuçlar ve Değerlendirme

Yapılan bu çalışma sonucunda farklı hücre boyutu ve farklı yüksekliklere sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapılı kompozitlerin yük-uzama grafikleri elde edilmiştir. Petek yapılı kompozitlerin maksimum kritik burkulma yükleri, özgül mukavemet değerleri yük-uzama grafiklerinin maksimum tepe noktasından yararlanılarak yorumlanmıştır. Petek yapılı kompozitte oluşan hasar tipleri örnek resimler ile birlikte verilerek yorumlanmıştır. Şekil 4’de yük-uzama grafiğinin üzerinde maksimum kritik burkulma yükü gösterilmiştir. Şekil 5’de, 7 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğine sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapılı kompozit numunelerin maksimum kritik burkulma yükleri

karşılaştırılmıştır. 25 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit numunenin maksimum kritik burkulma yükü aynı hücre boyutu ve hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapılı kompozit numuneye göre 1.75 kat daha yüksek çıkmıştır. Bu karşılaştırmayı aynı hücre boyutu farklı hücre yüksekliğine sahip PLA ve ABS termoplastik yapılı kompozit numuneler içinde tekrarlanmış PLA termoplastik malzemenin maksimum kritik burkulma yükünün ABS termoplastik petek yapılı kompozit numunenin maksimum kritik burkulma yükünden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



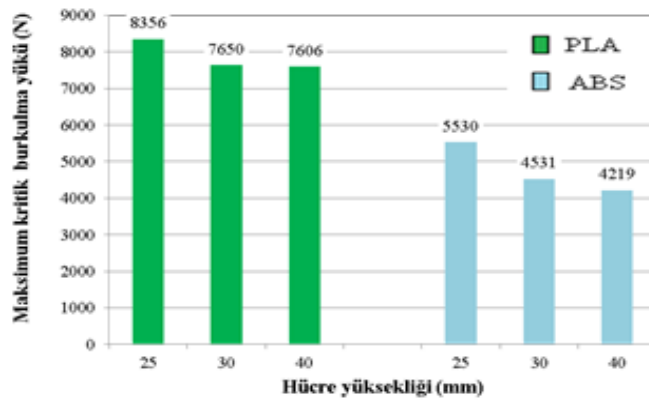
Şekil 4. 14 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğindeki PLA petek yapılı numunenin yük-uzama grafiği



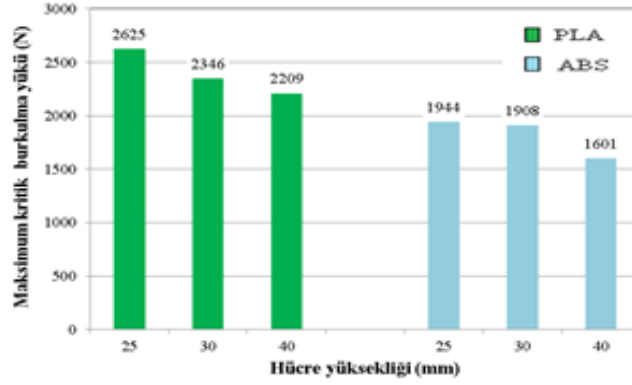
Şekil 5. 7 mm hücre boyutlu kompozit numunelerin maksimum kritik burkulma yüğüleri

14 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapılı kompozit malzemelerin kritik burkulma yüğü Şekil 6'da verilmiştir. Hücre yüksekliğine artışına bağlı olarak maksimum kritik burkulma yüğü azalmıştır. 25 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik yapılı kompozit numunede 8356N iken ABS termoplastik petek yapılı kompozit numunede ise 5530N kritik burkulma yüğü ölçülmüştür.

Şekil 7'de, 25 mm hücre boyutuna sahip petek yapılı numuneler içinde en yüksek kritik burkulma yükünün 25 mm hücre yüksekliğinde 2625N olduğu görülmüştür. Hücre yüksekliği artıkça kritik burkulma yüğü azalmıştır. Bunun nedeni kritik burkulma yükünün burkulan elemanın yüksekliğinin karesi ile ters orantılı olarak değişmesidir.



Şekil 6. 14 mm hücre boyutlu kompozit numunelerin maksimum kritik burkulma yüğüleri

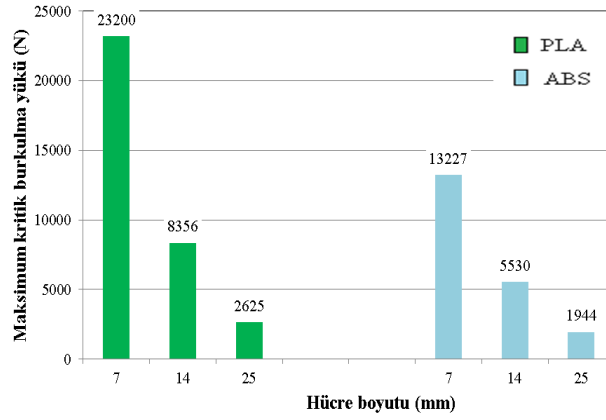


Şekil.7. 25 mm hücre boyutlu kompozit numunelerin maksimum kritik burkulma yükleri

Şekil 8’de 25 mm hücre yüksekliğine sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapılı kompozit numunelerin maksimum kritik burkulma yükleri verilmiştir. 7 mm hücre boyutuna sahip PLA malzemenin yine aynı hücre boyutuna sahip ABS malzemeye göre 1.75 kat daha yüksek kritik burkulma yüküne sahip olduğu görülmektedir.

30 mm hücre yüksekliğine sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapılı kompozit

numunelerin hücre yüksekliği sabit tutularak maksimum kritik burkulma yükleri Şekil 9’da verilmiştir. 7 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek kompozit numunenin kritik burkulma yükü 22000 N, aynı hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapılı kompozit numunede 12685 N olarak ölçülmüştür. Artan hücre yüksekliği ile birlikte kompozit numunenin rijitliği azalacağından kritik burkulma yükü azalmıştır.

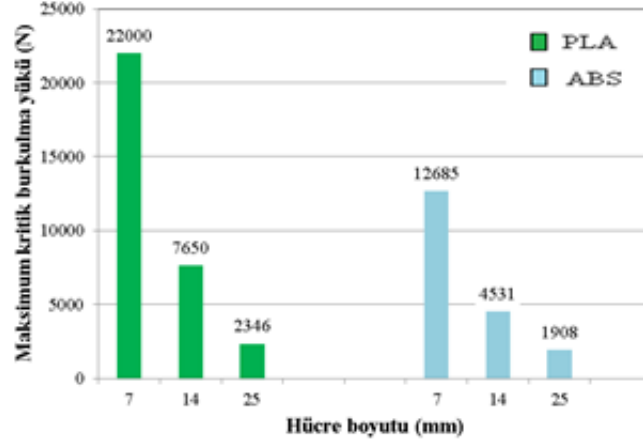


Şekil.8. 25 mm hücre yüksekliğine sahip kompozit numunelerin maksimum kritik burkulma yükleri

40 mm hücre yüksekliğine sahip petek yapılı kompozit numunelerin maksimum kritik burkulma yükleri Şekil 10’da verilmiştir. Artan hücre boyutuna bağlı olarak kritik burkulma yükü azalmıştır. Gerçekleştirilen deney sonucu 7mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit numunenin kritik burkulma yükü 21022 N iken aynı hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapılı

kompozit numunenin kritik burkulma yükü ise 11933N olarak elde edilmiştir.

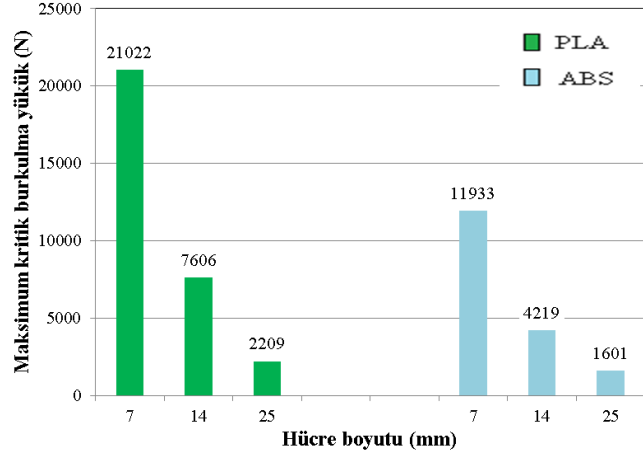
7 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapılı kompozit numunelerin özgül mukavemet değerleri Şekil 11’de verilmiştir.



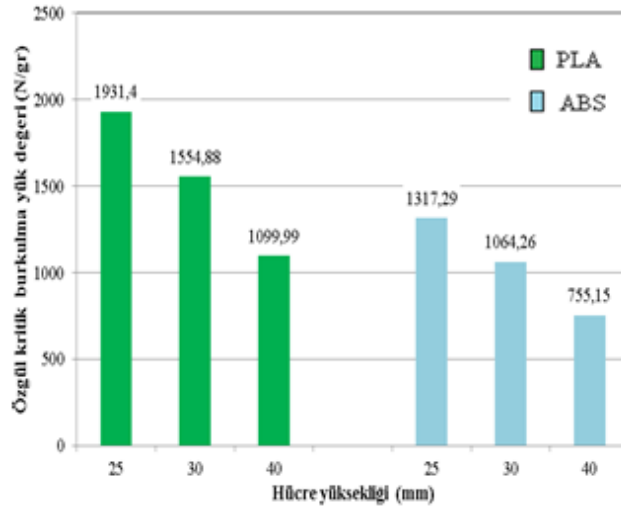
Şekil. 9. 30 mm hücre yüksekliğine sahip kompozit numunelerin maksimum kritik burkulma yükleri

Hücre boyutu sabit tutularak artan hücre yüksekliğine göre 30 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit numunenin özgül kritik burkulma yük değeri

ABS termoplastik petek yapılı kompozit numunenin özgül kritik burkulma yük değerinden yaklaşık olarak 1.5 kat daha yüksek çıkmıştır.



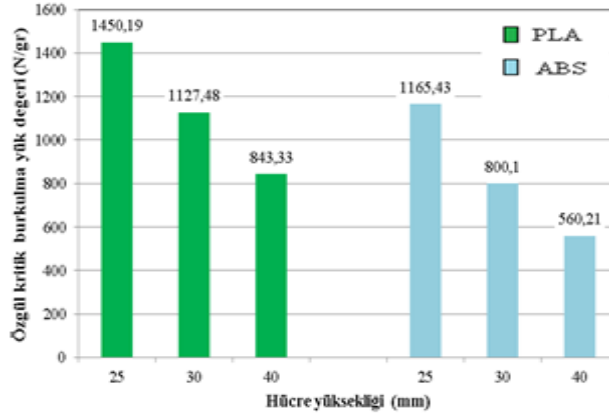
Şekil.10. 40 mm hücre yüksekliğine sahip kompozit numunelerin maksimum kritik burkulma yükleri



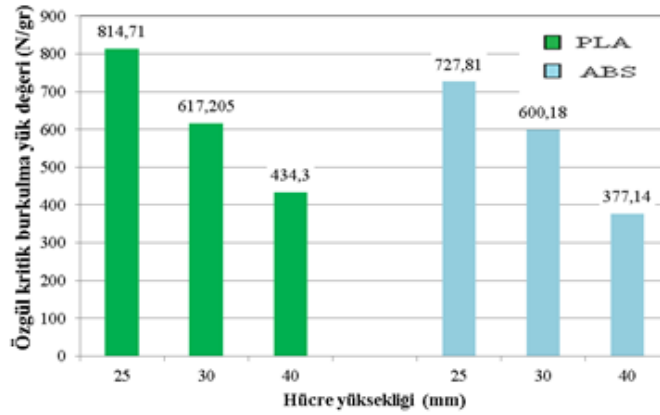
Şekil.11. 7 mm hücre boyutlu kompozit numunelerin özgül kritik burkulma yük değerleri

14 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapıları kompozit numunelerin özgül kritik burkulma yük değerleri Şekil 12’de verilmiştir. En yüksek özgül kritik burkulma yük değeri 14 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik yapıları kompozit numunede 1450.19 N/gr olarak elde edilmiştir. 25 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapıları kompozit numunelerin özgül kritik burkulma yük değerleri

Şekil 13’de verilmiştir. 25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıları kompozit numuneleri kendi arasında karşılaştıracak olursak 25 mm hücre yüksekliğine sahip olan kompozit numunenin özgül kritik burkulma yük değerinin 40 mm hücre yüksekliğine sahip olan kompozit numunenin özgül kritik burkulma yük değerinden 1.8 kat daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil.12.14 mm hücre boyutlu kompozit numunelerin özgül kritik burkulma yük değerleri

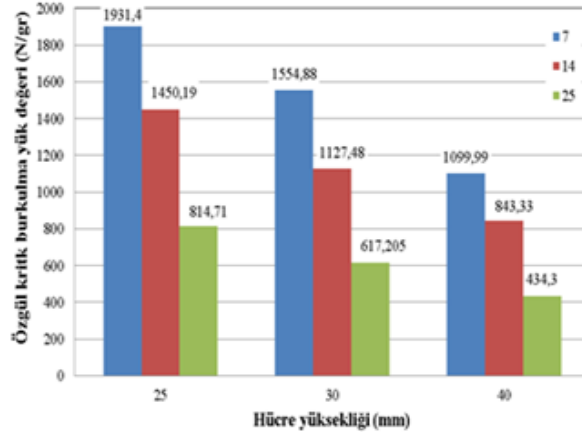


Şekil.13.25 mm hücre boyutlu kompozit numunelerin özgül kritik burkulma yük değerleri

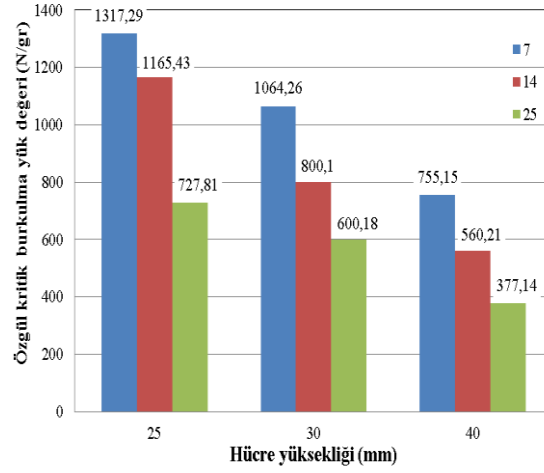
7 mm, 14 mm ve 25 mm hücre boyutuna sahip PLA petek yapıları kompozit numunelerin özgül kritik burkulma yük değerleri Şekil 14’de verilmiştir. En yüksek özgül kritik burkulma yük değeri 7 mm hücre boyutuna ve 25 mm hücre yüksekliğine sahip numunede 1931.4 N/gr, en düşük özgül kritik burkulma yük değeri ise 25 mm hücre boyutuna ve 40 mm hücre yüksekliğinde 1317.29 N/gr, en düşük özgül kritik burkulma yük değeri ise 25 mm hücre

yüksekliğine sahip olan numunede 434.3 N/gr olarak elde edilmiştir.

7 mm, 14 mm ve 25 mm hücre boyutuna sahip ABS petek yapıları kompozit numunelerin özgül kritik burkulma yük değerleri Şekil 15’de verilmiştir. PLA numunelerinin sonuçlarına benzer olarak en yüksek özgül kritik burkulma yük değeri 7 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre boyutu ve 40 mm hücre yüksekliğinde 377.14 N/gr olarak elde edilmiştir.



Şekil.14. 7, 14 ve 25 mm hücre boyutundaki PLA numunelerin özgül kritik burkulma yük değerleri



Şekil.15. 7, 14 ve 25 mm hücre boyutundaki sahip ABS numunelerin özgül kritik burkulma yük değerleri

Şekil 16'da, 7 mm hücre boyutu ve 40 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapıli kompozit numunelerin basma deneyi sonrası hasar durumları verilmiştir. Maksimum kritik burkulma yüküne kadar olan kısımda elastik burkulma meydana gelmiştir. Maksimum kritik burkulma yükü aşıldıktan sonra plastik

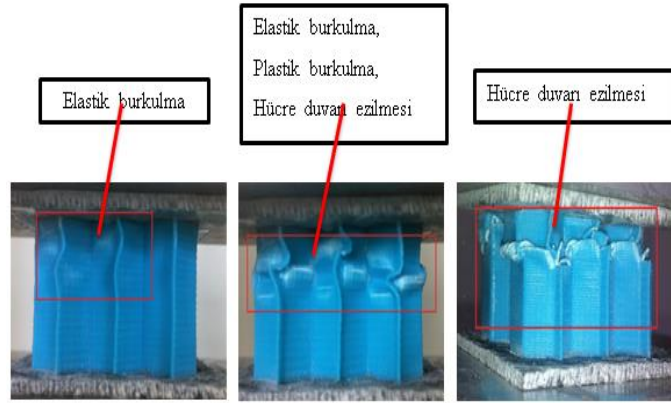
burkulma ile birlikte hücre duvarı ezilmesi gerçekleşmiştir. Hücre duvarı ezilmesi sonrası tabakaların birbiri üzerinden yaklaşık 45° de kaymıştır. 7 mm hücre boyutuna sahip farklı yükseklik ve farklı malzemeden oluşan petek yapıli kompozit numunelerin hemen hemen tamamında benzer hasar modları oluşmuştur.



Şekil.16. 7 mm hücre boyutu ve 40 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapıli kompozit numunenin deney aşamalarına göre hasar durumları

14 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit numunenin hasar modları Şekil 17’de verilmiştir. PLA numunelerin hasar mekanizmasına benzer şekilde maksimum kritik burkulma yüküne kadar olan kısımda elastik burkulma, maksimum kritik burkulma yükü aşıldıktan sonra plastik burkulma ile birlikte hücre duvarı ezilmesi gerçekleşmiştir. 14 mm

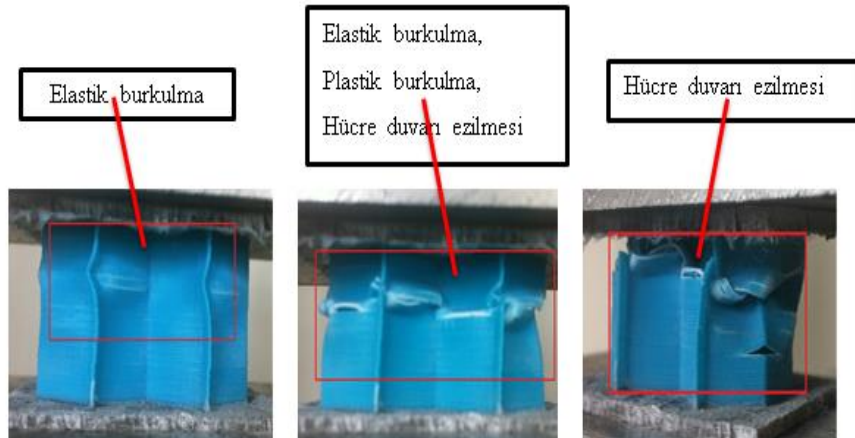
hücre boyutuna sahip numunelerde azalan hücre duvarı sayısından dolayı kayma hasarı oluşmadan önce hücreler bir biri üzerine yığılardak ezilme hasarı oluşturmuştur. 14 mm hücre boyutuna sahip farklı yükseklik ve farklı malzemeden oluşan petek yapıli kompozit numunelerin hemen hemen tamamında benzer hasar modları meydana gelmiştir.



Şekil.17. 14 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit numunenin hasar modları

25 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit numunenin hasar modları Şekil 18’de verilmiştir. Maksimum kritik burkulma yüküne kadar olan kısımda elastik burkulma oluşmuştur. Maksimum kritik burkulma yükü aşıldıktan sonra plastik burkulma ile birlikte

hücre duvarı yırtılması ve çekirdek ezilmesi gerçekleşmiştir. 25 mm hücre boyutuna sahip farklı yükseklik ve farklı malzemeden oluşan petek yapıli kompozit numunelerde benzer hasar modları oluşmuştur.



Şekil.18: 25 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit numunenin hasar modları

4. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada üç farklı hücre boyutu ve üç farklı hücre yüksekliğinde PLA ve ABS termoplastik çekirdek yapıya sahip petek yapı kompozit numuneler üretilmiş ve basma yükü

altında; kritik burkulma yükleri, özgül mukavemet değerleri ve numunelerde oluşan hasar tipleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir,

En yüksek kritik burkulma yükü 7 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapı kompozit numunede 23200 N, en düşük kritik burkulma yükü ise 25 mm hücre boyutu ve 40 mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapı kompozit numunede 1601 N olarak tespit edilmiştir. İki sonuç arasında yaklaşık 14.5 katlık bir fark söz konusudur.

Elde edilen sonuçlara göre hücre yoğunluğu arttıkça kritik burkulma yükünün arttığı bunun tam aksine hücre yüksekliği arttıkça kritik burkulma yükünün azaldığı görülmüştür. Bu sonuç özgül kritik burkulma yükü içinde geçerlidir.

14 ve 25 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapı kompozit numunelerde maksimum kritik burkulma yüküne kadar olan kısımda elastik burkulma oluşurken maksimum kritik burkulma yükü aşıldıktan sonra plastik burkulma ile birlikte hücre duvarı ezilmesi gerçekleşmiştir.

Hücre boyutunun 7 mm olduğu PLA ve ABS termoplastik petek yapı kompozit numunelerde ise maksimum kritik burkulma yüküne kadar olan kısımda benzer şekilde elastik burkulma oluşurken maksimum kritik burkulma yükü aşıldıktan sonra plastik burkulma ile birlikte hücre duvarı ezilmesi ile birlikte tabakaların birbiri üzerinden kaymasıyla kayma hasarı oluşmuştur.

Genel olarak PLA termoplastik malzemeden elde edilen numunelerin kritik burkulma yükleri ABS kullanılarak üretilen numunelerin kritik burkulma yüklerinden daha yüksektir.

5. Kaynaklar

1. Bek, H. Ercan, M. Doğuş ve A. Ünal. (2011). 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS 11), 16-18 May 2011 Elazığ, Turkey.
2. N. Arslan, M. O. Kaman.(2002). Alüminyum, Kâğıt ve cam elyaf petek yapı kompozitlerin üretim teknikleri ve mekanik özelliklerinin araştırılması, DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:4, Sayı:3, Sh.113-123.
3. M. Y. Solmaz, M. O. Kaman, K. Turan, A. Turgut, (2010), Petek yapı kompozit levhaların eğilme davranışlarının incelenmesi, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(1), 1-11.
4. Asadi, M; Shirvani, H.; Sanaei, E.; Ashmead, M. A., (2006), Simplified model to simulate crash behavior of honeycomb, Proceedings of The International Conference on Advanced Design and Manufacture, 8th-10th January Harbin, China, pp.119-123.
5. Galletti, G.G., Vinquist, C. And Es-Said, O.S., (2008), theoretical design and analysis of a honeycomb panel sandwich structure loaded in pure bending, Engineering Failure Analysis, 15(5), 555-562.
6. Fiedler, t. And Ochsner, A., (2008), Experimental analysis of the flexural properties of sandwich panels with cellular core material materialwissens chaft und Werksofftechnik, 39(2) ,121-124.
7. Pan, S. D., Wu, L.Z., Sun ,Y.G, Zhou, Z.G. and Qu ,J.L., (2005), Longitudinal Shear Strength And Failure Process of Honeycomb Cores Composit Structures, 72(1), 42-46.
8. Zhou, G., Hill, M.D., (2009), Impact Damage And Energy Absorbing Characteristics and Residual in-Plane Compressive Strength of Honeycomb Sandwich Panels, Journal of Sandwich Structures and Materials, VOI11, pp.329-356.
9. www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/39-3d- yazici-filament-ozellikleri.

Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Dalgalı Bağlantı (Wavy-lap) Performanslarının Uç Açısına Bağlı Olarak Araştırılması

Murat Yavuz SOLMAZ, Selahattin YILDIRIM

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ
mysolmaz@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 06.12.2017; Kabul/Accepted: 12.02.2018)

Özet

Bu çalışmanın amacı, bindirme bağlantılarında bindirme kenarındaki yapıştırıcı birikintisinin uç açısına bağlı olarak bağlantı mukavemetine etkisini tespit etmektir. Bu amaçla tek tesirli bindirme (Single-lap) ve dalgalı bindirme (Wavy-lap) olmak üzere iki farklı bağlantı tipi göz önüne alınarak 0^0 (açısız), 15^0 , 30^0 , 45^0 ve 60^0 birikintili toplam 10 model oluşturulmuş ve bu bağlantıların ANSYS paket programı kullanılarak lineer elastik gerilme analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler neticesinde bağlantıların bindirme bölgeleri üzerinde oluşan maksimum eşlenik gerilmeleri elde edilmiştir. Eşit kuvvetlere maruz bırakılmaları durumunda bu bağlantı tasarımlarının uç açısında oluşacak gerilme değerleri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapıştırıcı, Single-Lap Bağlantısı, Wavy-Lap Bağlantısı, Serbest Uç Açısı, ANSYS, Sonlu Elemanlar

An Investigation on the Joint Performance of Wavy-lap Adhesive Joints Depending on the Taper Angles

Abstract

The purpose of this work is to determine the effect of the bond strength on the bond strength of the bond, depending on the end angle of the adhesive deposit on the bond side. For this purpose, a total of 10 models with 0^0 (no angles), 15^0 , 30^0 , 45^0 and 60^0 spots were created considering the two types of connection, single and wavy lap, and using these connections' ANSYS package program, linear elastic stress analyzes were carried out. As a result of the analyzes, the maximum conjugate stresses on the overlapping regions of the links are obtained. In case of being exposed to equal forces, the stress values to be generated at the end points of these connection designs are compared.

Keywords: Adhesive, Single-Lap Joints, Wavy-lap Joints, Taper Angle, ANSYS, Finite Element

1. Giriş

Kompozit malzemeler ve onların üretim yöntemlerinde özellikle son 20 yılda önemli atılımlar gerçekleştirilmiştir. Bu durum hava taşıtlarının birçok parçasında polimer matris kompozitlerin yeni uygulama alanı bulmasına sebep olmuştur [1]. Kompozit malzemelerde meydana gelen bu hızlı gelişim, taşıyıcı yapı elemanların birleştirme yöntemlerinde etkili ve güvenilir ilerlemelerin ortaya çıkmasını, dolayısıyla mekanik birleştirme yöntemlerinden uzaklaşılmasını zorunlu hale getirmiştir [2]. Yapıştırıcıların endüstrideki kullanımı, son zamanlarda hızla artış göstermektedir. Yapıştırıcılar diğer bağlantı türlerinin (cıvata, perçin, kaynak, lehim v.b.) giderek yerini alırken onların tamamlayıcı görevini de sürdürmektedir [3]. Yapıştırıcı birleştirmeli bağlantıların analitik

analizinin ilk girişimleri Volkersen (1938) tarafından yapılmıştır [4]. Volkersen çalışmasında, tek bindirme bağlantısında yapıştırıcı tabakasındaki kayma gerilmesi dağılımını, yapıştırılan iki malzemenin çok direngen olduğunu ve çekme yükü altında deforme olduğunu, yüklemeye dolaylı eğilmediğini kabul ederek analiz etmiştir.

Chan ve Vedhagiri, tamirat için yapıştırıcı, cıvata ve yapıştırıcı ile cıvata bağlantısının her ikisini bir arada kullandıkları bir çalışmalarında başlangıç olarak tabakalardaki yük dağılımını göz önüne aldıkları karbon fiber takviyeli kompozit bir malzemeyi basit şerit olarak birleştirmişlerdir [5]. Fu ve Mallick, kompozit malzemelerde karma bağlantının (yapıştırıcı/cıvata) statik ve yorulma mukavemetini araştırmışlar ve çalışılan malzeme sistemi için karma bağlantının yapıştırıcı

bağlantılara göre daha yüksek statik mukavemete ve daha düşük yorulma ömrüne sahip olduğunu göstermişlerdir [6].

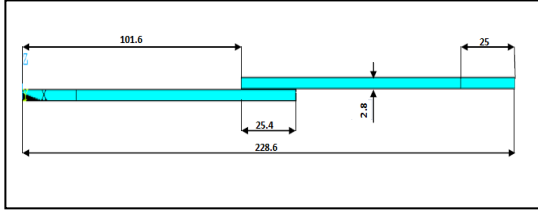
Antonio F.Avila, Plinio de O. Bueno, kompozit malzemede tek tesirli ve dalgalı bindirme bağlantı tiplerini kullanarak gerilme analizi yapılmışlardır.[7].

Bu çalışmada ise, bindirme bağlantılarında bindirme kenarındaki yapıştırıcı birikintisinin uç açısına bağlı olarak bağlantı mukavemetine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla farklı açılarda kenar birikintili modeller oluşturulmuş ve eksenel çekme gerilmesi altında bağlantıların mekanik davranışları sayısal olarak incelenmiştir.

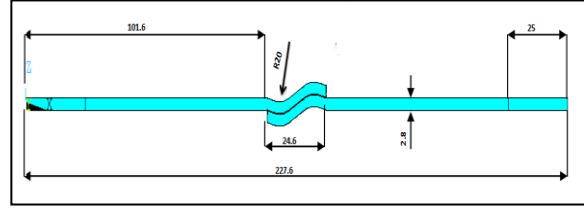
2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan kompozit malzemelerde yapıştırıcı ile birleştirme yöntemlerinden olan birikintisiz (0°) tek tesirli ve dalgalı bindirme bağlantı boyutları sırasıyla Şekil 1’ de verilmiştir. Bu bağlantı tiplerine 15° , 30° , 45° ve 60° açılara sahip kenar birikintileri eklenmiştir.

Çalışmada kullanılan numunelerde; Tek tesirli bindirme 0° (açısız), 15° , 30° , 45° , 60° ve dalgalı bindirme 0° (açısız), 15° , 30° , 45° , 60° olmak üzere 5 farklı açı (θ), 0.192 mm ve 0.1mm olmak üzere iki farklı yapıştırıcı kalınlığı (δ) kullanılmıştır. Eşit kuvvetlere maruz bırakılmaları durumunda bu bağlantı tasarımlarının uç açısında oluşacak gerilme değerleri karşılaştırılmıştır ve aralarından en uygun tasarımlar seçilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 1. Bindirme bağlantılarının geometrik boyutları [7] a) tek tesirli b) dalgalı

Oluşturulan modellerde yapışma alanlarının eşit olması için tek tesirli bindirme bağlantı modeline 24.6 mm ve dalgalı bindirme bağlantı modeline 25.6 mm genişlik verilmiştir. Bu şekilde birikintisiz olarak modellenen her iki modelin yapışma alanı 625.16 mm^2 olarak eşitlenmiştir.

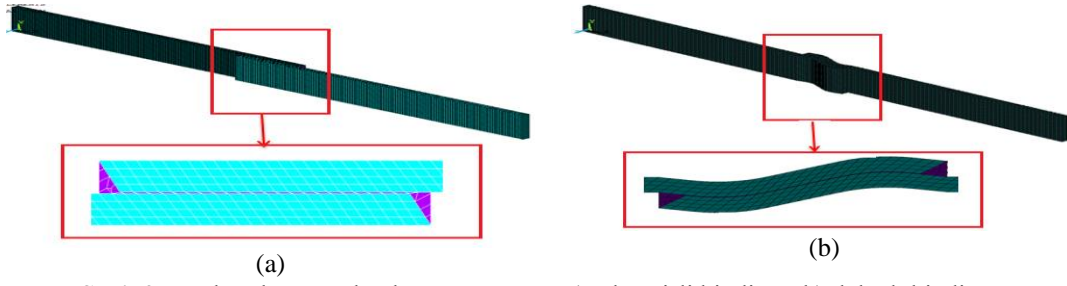
ANSYS programı kullanılarak oluşturulan modellerde yapışan malzemeler (adherent) için SOLID186, yapıştırıcı tabaka için ise SOLID185 eleman tipi seçilmiştir. Çalışmada kullanılan kompozit malzemenin ve yapıştırıcının mekanik özellikleri Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri [7]

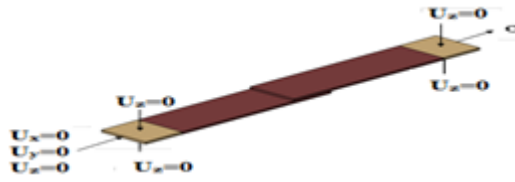
	$E_x=E_y$ (GPa)	E_z (GPa)	G_{xy} (GPa)	$G_{xz}=G_{yz}$ (GPa)	ν_{xy}	$\nu_{yz}=\nu_{zx}$
Adherent	18.31	8.35	3.19	2.42	0.17	0.37
Adhesive	2.20				0.31	

Ansysis’ de oluşturulan tek tesirli ve dalgalı bindirme bağlantı modelinin mesh yapısı Şekil 2’te verilmiştir. Gerilme dağılımları açısından kritik bölge olan yapıştırma işleminin gerçekleştirildiği bölge daha küçük elemanlara bölünmüştür. Ayrıca tüm modellerde mümkün olduğunca eşit boyutlara sahip elemanlar kullanılmıştır.

Çalışmada çekme gerilmesi olarak 10 MPa alınmış ve gerilme sıfırdan başlayarak kademeli olarak arttırılmıştır. Şekil 3’de tüm bağlantı tiplerine uygulanan sınır şartları ve yükleme durumu gösterilmiştir [15].



Şekil 2. Bağlantıların sonlu eleman ağ yapısı a) tek tesirli bindirme b) dalgalı bindirme

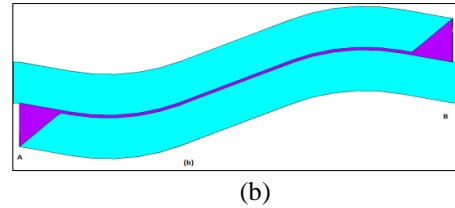
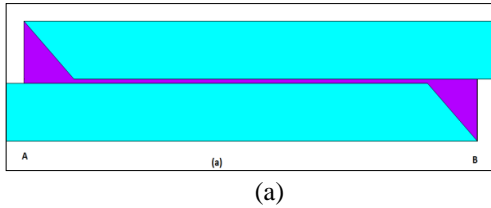


Şekil 3. Sınır şartları ve yükleme

3. Sonuçlar ve Değerlendirme

Bindirme bağlantılarında kritik bölge Şekil 4'te gösterilmiş olan yapıştırıcı-yapıştırılan

malzemenin A, B ile gösterilen uç kısımlarıdır.

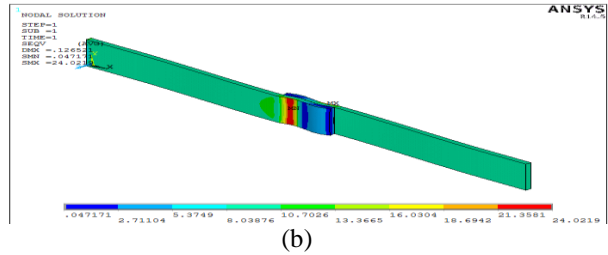
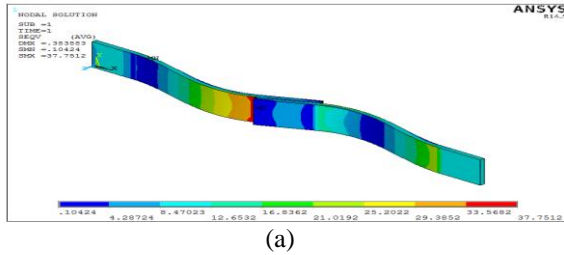


Şekil 4. Farklı kenar birikintili bağlantılar için kritik bölge a) tek tesirli bindirme b) dalgalı bindirme

Farklı bindirme uzunluklarına sahip modellerde oluşan gerilme dağılımlarını karşılaştırabilmek için, gerilme dağılımı hesaplanan noktanın yatay eksen üzerindeki

koordinat değeri (x), kendi bindirme uzunluğuna (a) bölünerek normalize edilmiştir.

Şekil 5'te, 0° kenar birikintili tek tesirli ve dalgalı bindirme bağlantılarının eşlenik gerilme dağılımları gösterilmiştir.



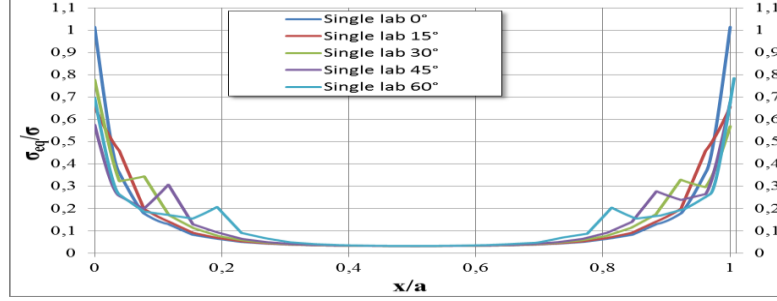
Şekil 5. 0° kenar birikintili bağlantılarda eşlenik gerilme dağılımı a) tek tesirli bindirme b) dalgalı bindirme

Tüm bağlantılar için benzer gerilme dağılımları elde edilmiş ve A-B hattı boyunca elde edilen gerilmelerin dağılımları grafikler halinde sunulmuştur.

Şekil 6'da, 0.1 mm yapıştırıcı kalınlığı kullanılarak birleştirilmiş 5 farklı uç açısına (0°, 15°, 30°, 45° ve 60°) sahip tek tesirli bindirme bağlantılarında A-B hattı boyunca oluşan eşdeğer gerilme dağılımlarını göstermektedir.

Grafikten görüleceği üzere bindirme uçlarında maksimum eşdeğer gerilme oranı, 0° de $\sigma_{eq}/\sigma=1$ değerini yani maksimum değer, 30° de ise $\sigma_{eq}/\sigma=0.5$ ve $\sigma_{eq}/\sigma=0.6$ arası değer yani

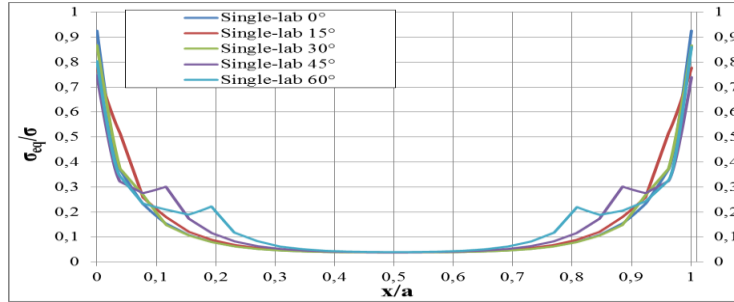
minimum değer almıştır. Bindirme bölgesinin orta kısımlarında ise tam tersi bir durum söz konusu olmuş ve uç açısı 0° de minimum değer, 30° ise maksimum değer almıştır.



Şekil 6. Tek tesirli bindirme bağlantılarında 0.1 mm kalınlığındaki yapıştırıcı tabakada oluşan eşlenik gerilme dağılımları

Şekil 7'de, 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığı kullanılarak birleştirilmiş 5 farklı uç açısına (0° , 15° , 30° , 45° ve 60°) sahip tek tesirli bindirme bağlantılarında A-B hattı boyunca oluşan eşdeğer gerilme dağılımlarını göstermektedir. Grafikten görüleceği üzere bindirme uçlarında maksimum eşdeğer gerilme oranı 0° de $\sigma_{eq}/\sigma=1$

değerini yani maksimum değer, 45° de ise $\sigma_{eq}/\sigma=0.7$ ve $\sigma_{eq}/\sigma=0.8$ arası değer yani minimum değer almıştır. Bindirme bölgesinin orta kısımlarında ise tam tersi bir durum söz konusu olmuş ve 0° de minimum değer, 30° ise maksimum değer almıştır.

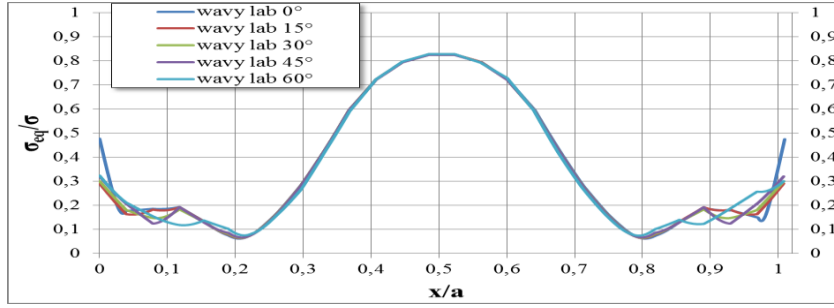


Şekil 7. Tek tesirli bindirme bağlantılarında A-B hattı boyunca 0.192 mm kalınlığındaki yapıştırıcı tabakada oluşan eşlenik gerilme dağılımları

Şekil 8'de 0.1 mm yapıştırıcı kalınlığı kullanılarak birleştirilmiş 5 farklı uç açısına (0° , 15° , 30° , 45° ve 60°) sahip dalgalı bindirme bağlantılarında A-B hattı boyunca oluşan eşdeğer gerilme dağılımlarını göstermektedir. Grafikten görüleceği üzere bindirme bölgesinin orta kısımlarında maksimum eşdeğer gerilme oranı, 45° de $\sigma_{eq}/\sigma=0.8 - 0.9$ arası değerini yani maksimum değer, 0° de ise $\sigma_{eq}/\sigma=0.8$ ve $\sigma_{eq}/\sigma=0.9$ arası değer yani minimum değer almıştır. Bindirme bölgesinin uç kısımlarında, 0° de $\sigma_{eq}/\sigma=0.5$ değerine yakın bir değer yani maksimum değer aldığı, minimum değerini ise

15° de $\sigma_{eq}/\sigma=0.3$ değerine yakın bir değer aldığı görülmektedir.

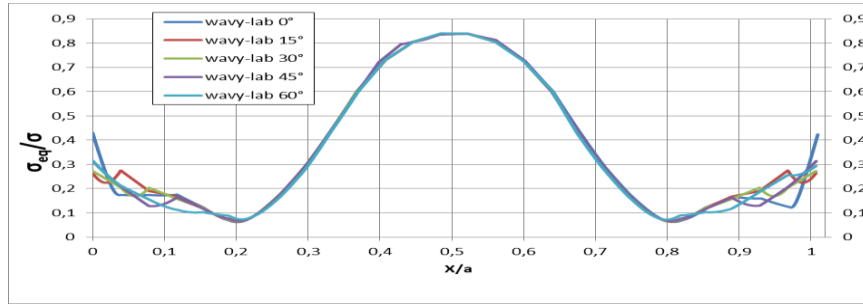
Şekil 9'da, 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığı kullanılarak birleştirilmiş 5 farklı uç açısına (0° , 15° , 30° , 45° ve 60°) sahip dalgalı bindirme bağlantılarında A-B hattı boyunca oluşan eşdeğer gerilme dağılımlarını göstermektedir. Grafikten görüleceği üzere bindirme bölgesinin orta kısımlarında maksimum eşlenik gerilme oranı, 45° de $\sigma_{eq}/\sigma=0.8 - 0.9$ arası değerini yani maksimum değer, 0° de ise $\sigma_{eq}/\sigma=0.8$ ve $\sigma_{eq}/\sigma=0.9$ arası değer yani minimum değer almıştır.



Şekil 8. Dalgali bindirmelerde 0.1 mm kalınlığındaki yapıştırıcı tabakada oluşan eşlenik gerilme dağılımları

Bindirme bölgesinin uç kısımlarında, 0° de $\sigma_{eq}/\sigma=0.4$ değerine yakın bir değer yani maksimum değer aldığı, minimum değerini ise

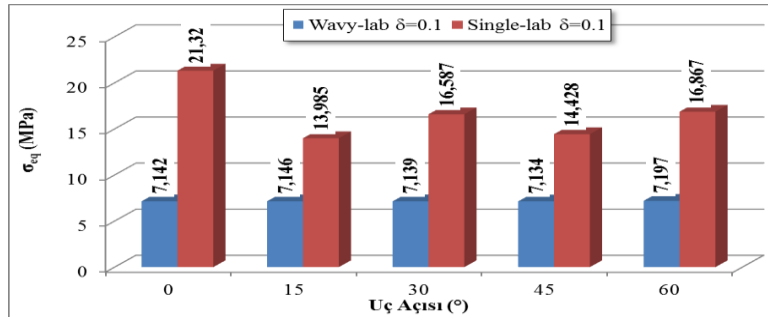
15° de $\sigma_{eq}/\sigma=0.3$ değerine yakın bir değer aldığı görülmektedir.



Şekil 9. Dalgali bindirmelerde 0.192 mm kalınlığındaki yapıştırıcı tabakada oluşan eşlenik gerilme dağılımları

Şekil 10' da, 0.1 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip tek tesirli ve dalgali bindirme bağlantılarının uç açısı değerlerinin değişimine göre yapıştırıcı tabaka üzerinde meydana gelen eşdeğer gerilme değerleri görülmektedir. Tek tesirli bindirme bağlantılarında maksimum eşdeğer gerilme; serbest uç açısı 0° olan numunelerde en yüksek, serbest uç açısı 15° olan numunede ise en düşük değerini almıştır. Dalgali bindirme bağlantılarında ise serbest uç açısı 60° olan numunede en yüksek, serbest uç açısı 30° olan

numunede ise en düşük değerini almıştır. Dalgali ve tek tesirli bindirme bağlantılarının eşdeğer gerilmeleri kıyaslandığında ise dalgali bindirme bağlantılarının maksimum değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Eşit yapıştırıcı kalınlığına sahip dalgali ve tek tesirli bindirme bağlantılarının serbest uç açısı değişiminde meydana gelen maksimum gerilmeler arasındaki farkın en fazla olduğu serbest uç açısı 0° en az olduğu serbest uç açısı ise 15° dir.



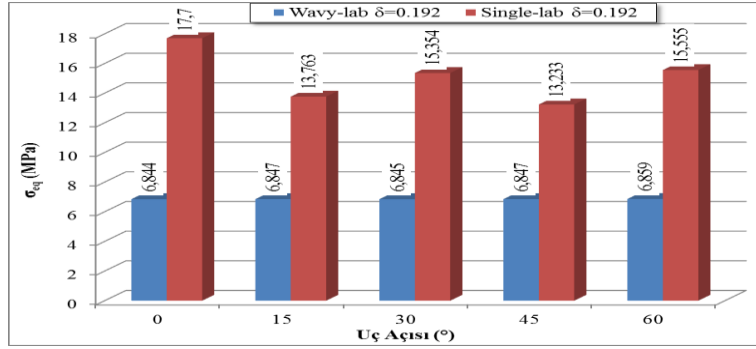
Şekil 10. 0.1 mm kalınlığındaki tek tesirli ve dalgali bindirme bağlantılarında A-B hattı boyunca yapıştırıcı tabakada oluşan maksimum eşlenik gerilmeler

Şekil 11'de ise 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip Tek tesirli ve dalgali bindirme

bağlantılarının serbest uç açısı değerlerinin değişimine göre eşdeğer gerilme değerleri

görülmektedir. Tek tesirli bindirme bağlantılarında maksimum eşdeğer gerilme değerinin yüksek olduğu serbest uç açısı 0° de, maksimum eşdeğer gerilme değerinin düşük olduğu serbest uç açısı 45° de meydana gelmektedir. Dalgalı bindirme bağlantılarında ise maksimum eşdeğer gerilme değerinin yüksek olduğu serbest uç açısı 60° , maksimum eşdeğer gerilme değerinin düşük olduğu serbest uç açısı ise 0° de olduğu görülmektedir. Dalgalı ve tek

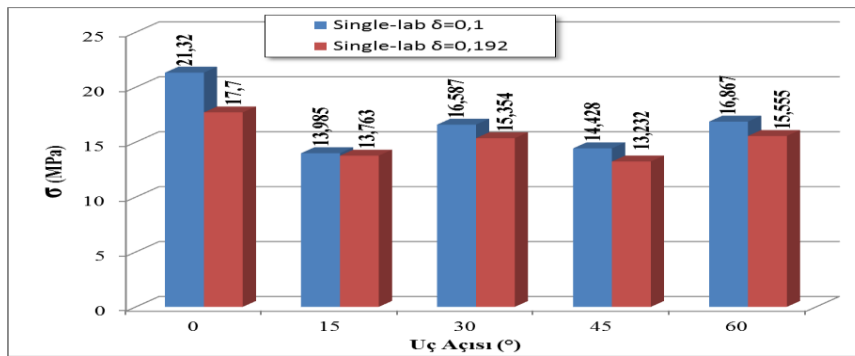
tesirli bindirme bağlantıların eşdeğer gerilmeleri incelendiğinde ise dalgalı bindirme bağlantılarının maksimum değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Eşit yapıştırıcı kalınlığına sahip dalgalı ve tek tesirli bindirme bağlantıların serbest uç açısı değişiminde meydana gelen maksimum gerilmeler arasındaki farkın en fazla olduğu serbest uç açısı 0° en az olduğu serbest uç açısı ise 45° dir.



Şekil 11. 0.192 mm kalınlığındaki tek tesirli ve dalgalı bindirme bağlantılarında A-B hattı boyunca yapıştırıcı tabakada oluşan maksimum eşlenik gerilmeler

Şekil 12’de 0.1 ve 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip tek tesirli bindirme bağlantılarının serbest uç açısı değişimine göre eşdeğer gerilme değerleri görülmektedir. Tek tesirli bindirme bağlantılarında maksimum eşlenik gerilme, uç açısı 0° ve yapıştırıcı kalınlığı 0.1 mm olan bağlantıda en yüksek, uç açısı 45° ve yapıştırıcı kalınlığı 0.1 mm olan

bağlantıda ise en düşüktür. Farklı yapıştırıcı kalınlığına sahip tek tesirli bindirme bağlantıların maksimum eşlenik gerilmeleri serbest uç açısı değişimine göre kıyaslandığında 0.192 mm kalınlığındaki yapıştırıcı tabakada meydana gelen gerilmelerin daha düşük olduğu görülmektedir.



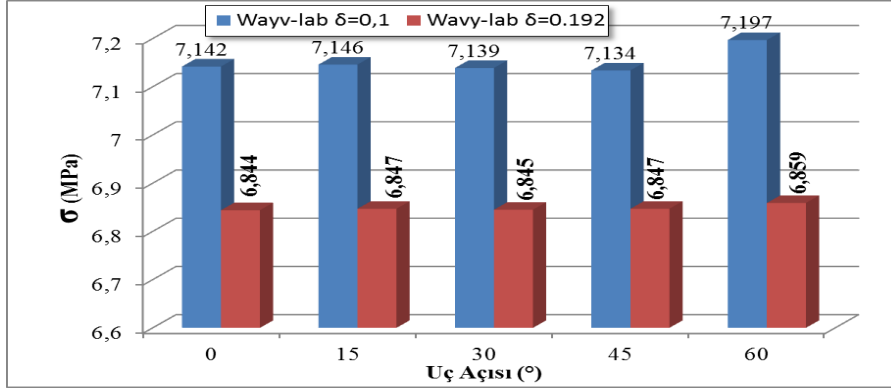
Şekil 12. 0.1 ve 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip tek tesirli bindirme bağlantılarda A-B hattı boyunca yapıştırıcı tabakada oluşan maksimum eşlenik gerilmeler

Şekil 13’ te yapıştırıcı kalınlığı 0.1 ve 0.192 mm olan dalgalı bindirme bağlantılarının uç açısına bağlı olarak eşdeğer gerilme değerleri görülmektedir. Dalgalı bindirme bağlantılarda serbest uç açısı değişimine göre maksimum

gerilme, uç açısı 60° ve yapıştırıcı kalınlığı 0.1 mm olan bağlantıda yüksek, uç açısı 45° ve yapıştırıcı kalınlığı 0.192 mm olan bağlantıda ise maksimum gerilme düşüktür. Farklı yapıştırıcı kalınlığına sahip dalgalı bindirme bağlantıların

maksimum eşlenik gerilmeleri serbest uç açısı değişimine göre kıyaslandığında 0.192 mm

kalınlığındaki yapıştırıcıda meydana gelen gerilmelerin daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 13. 0.1 ve 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip dalgalı bindirme bağlantılarda A-B hattı boyunca yapıştırıcı tabakada oluşan maksimum eşlenik gerilmeler

4. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada; eşit bindirme mesafelerinde farklı uç açısı, iki farklı kalınlığa sahip yapıştırıcı ve farklı bindirme bağlantıları kullanılarak hem malzemeler (adherent) için hem de yapıştırıcı (Adhesive) için Ansys 14.5 ile gerilme analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

0.1 mm ve 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip tek tesirli bindirme bağlantılarında maksimum eşlenik gerilmeler; bindirme uçlarında ($x/a=0$ ve $x/a=1$) yüksek orta kısımlarda ($x/a=0.4$ ve $x/a=0.6$) ise düşük değer almıştır.

0.1 mm ve 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip dalgalı bindirme bağlantılarda maksimum eşlenik gerilmeler; orta kısımlarda ($x/a=0.4$ ve $x/a=0.6$) yüksek, binici ucuna yakın kısımlarda ($x/a=0,1-0.3$ ve $x/a=0,7-0.9$) düşük değer almıştır.

Dalgalı bindirme bağlantılarının maksimum eşdeğer gerilme değerleri düşük, tek tesirli bindirme bağlantılarının ise maksimum eşdeğer gerilme değerleri yüksektir. Bu nedenle dalgalı bindirme bağlantıları daha avantajlıdır.

Yapıştırıcı kalınlıkları farklı tek tesirli bindirme bağlantılarında maksimum eşdeğer gerilme değeri; 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip uç açısı 0° olan bağlantılarda yüksek, 0.1 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip uç açısı 45° olan bağlantılarda ise düşüktür.

Dalgalı bindirme bağlantılarda maksimum gerilme, 0.1 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip uç

açısı 60° olan bağlantılarda yüksek, 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip uç açısı 0° olan bağlantılarda ise düşüktür.

Yapıştırıcı tabakada oluşan maksimum eşdeğer gerilmeleri düşük değerden yüksek değere göre sıralandığında; dalgalı bindirme $\delta = 0.192 <$ dalgalı bindirme $\delta = 0.1 <$ tek tesirli bindirme $\delta = 0.192 <$ tek tesirli bindirme $\delta = 0.1$ sıralaması elde edilmiştir.

Genel olarak;

Dalgalı bindirme bağlantılarının maksimum eşdeğer gerilme değerlerinin düşük olduğu

Bindirme bağlantılarının her ikisi içinde yapıştırıcı kalınlığının artmasının, yapıştırıcı tabakada meydana gelen maksimum eşdeğer gerilme değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Tüm uç açıları göz önüne alındığında dalgalı bindirmelerde meydana gelen değerlerinin tek tesirli bağlantılarda meydana gelen gerilmelerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç aynı yüklem şartları için dalgalı bindirmenin daha avantajlı olacağı göstermektedir.

5. Kaynaklar

1. Tomblin, J.S., Yang, C. and Harter, P. (2001). Investigation in thick bond line adhesive joint. Final Report, DOT/FAA/AR-01/33, US., Department of Transportation, Washington, DC.
2. Van Rijn, L.P. (1996). Towards the fastenerless composite design. Composites Part A, 27A, 915-920.

3. Çalık, A. (2008). Yapıştırıcılar ve köşeleri yuvarlatılmış basamaklı bindirme yapıştırıcı bağlantılarda gerilme analizi Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
4. Volkersen, O. (1938). Die Nietkraftverteilung in zugbeanspruchten Nietverbindungen mit konstanten Laschenquerschnitten, Luftfahrtforschung, vol 15, 41-47.
5. Chan, W.S. and Vedhagiri, S. (2001). Analysis of composites bolted-bonded joints used in repairing. J. Compos. Mater, 35(12), 1045-1061.
6. Fu Maofeng and Mallick, P.K. (2001). Fatigue of hybrid (adhesive/bolted) joints in SRIM, Int. Journal of Adhesion and Adhesives, 21(2), 145-159.
7. Antonio F.Avila, Plinio de O. Bueno. (2003). Stress analysis on a wavy-lap bonded joint for composites, Department of Mechanical Engineering, Universidade Federal de Minas Gerais, Mechanics of Composites Laboratory, 6627 Antonio Carlos Avenue, Belo Horizonte 31270-901 MG Brazil.

Verici Anten Seçimi ve İşaret Uzayı Çeşitlemesi Kullanan En Yüksek Oran Birleşimi Tekniğinin Çift ve Tekdüze Anten İlişki Modelleri Altında Başarım Analizi

Serdar Özyurt

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ankara
sozyurt@ybu.edu.tr

(Geliş/Received: 19.12.2017; Kabul/Accepted: 12.02.2018)

Özet

Verici tarafta anten seçimi ve alıcı tarafta en yüksek oran birleşimi kullanan çok girişli çok çıkışlı bir haberleşme sistemi ele alınmaktadır. Sistemin hata başarımı, ek güç, bant-genişliği/zaman dilimi kullanılmadan ve sistem karmaşıklığında ciddi bir artışa sebep olmadan, işaret uzayı çeşitlemesi kullanılarak artırılmaktadır. Yavaş ve düz Rayleigh sönümlenmeli, verici antenlerin ilişkisiz ve alıcı antenlerin çift veya tekdüze modelleri altında ilişkili olduğu bir senaryo çalışılmıştır. Söz konusu sistem modeli literatürde ilk defa olarak işaret uzayı çeşitlemesi ile beraber incelenmektedir. Sistemin hata başarımı, çift ve tekdüze anten ilişki modelleri altında iki ve dört seviyeli faz kaydırmalı anahtarlama modülasyonu için incelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: En yüksek oran birleşimi, verici anten seçimi, işaret uzayı çeşitlemesi, ilişkili antenler.

Performance Analysis of Maximal-Ratio Combining with Transmit Antenna Selection and Signal Space Diversity Under Dual and Uniform Antenna Correlation Models

Abstract

A multiple-input multiple output communication system with transmit antenna selection at the transmit side and maximal-ratio combining at the receive side is assumed. The error performance of the system is increased by utilizing signal space diversity without additional power, bandwidth/time slots and without inducing an important increase in complexity. A slow flat Rayleigh fading scenario with uncorrelated transmit and correlated receive antennas under a dual or uniform model is addressed. The aforementioned system model is investigated with the signal space diversity for the first time in the literature. The error performance of the system is examined under the dual and uniform antenna correlation models for the phase-shift keying modulation with modulation levels of two and four.

Keywords: Maximal-ratio combining, transmit antenna selection, signal space diversity, correlated antennas.

1. Giriş

Hem verici tarafında hem de alıcı tarafında çoklu sayıda anten içeren kablosuz çok girişli çok çıkışlı (ÇGÇÇ) haberleşme sistemleri yeni nesil sistemlerde tek antenli yapılara nazaran oldukça rağbet kazanmıştır. Verici tarafta t antene ve alıcı tarafta r antene sahip bir sistem (txr ÇGÇÇ) ilave bant genişliği/zaman/güç kaynağına ihtiyaç olmaksızın sistem veri hızını ve (ya) sistem güvenilirliğini artırma potansiyeline sahiptir [1]. Teorik çalışmalar ile gösterilmiştir ki bir txr ÇGÇÇ sisteminde kanal kapasitesi (verici ve alıcı arasında güvenli haberleşme için mümkün olan en yüksek veri

gönderim hızı) t ve r 'nin küçük olanı ile doğrusal olarak artmaktadır. ÇGÇÇ sistemlerinin bu uygulaması uzaysal çoklama (spatial multiplexing) olarak adlandırılmaktadır. ÇGÇÇ sistemlerinin tek antenli geleneksel sistemlerin ötesinde getirdiği avantajlardan bir diğeri, vericiye iletilen işaretin birden fazla sayıda bağımsız sönümlenmiş kopyalarının ulaştırılması şeklinde özetlenebilecek, anten çeşitlemesi ismine sahiptir. Sistem güvenilirliğini artırma amaçlı olan anten çeşitlemesi, farklı teknikler ile gerçekleştirilebilir. Bu yöntemlerden yaygın olarak kullanılan biri, verici anten seçimi (VAS) (transmit antenna selection) kullanan en yüksek oran birleşimi (EOB) (maximal-ratio combining) tekniğidir. EOB tekniği, verici tarafta tek antene

sahip ve alıcı tarafta birden çok sayıda antene sahip bir kablosuz haberleşme sisteminde, alıcı antenlerin her birinde alınan sinyallerin faz uyumlu olarak ve alıcıdaki sinyal-gürültü gücü oranını en yüksek dereceye çıkartacak şekilde birleştirilmesi prensibine dayanmaktadır [1,2]. Diğer taraftan, radyo frekansı (RF) yükseltme devrelerinin antenlere göre daha yüksek maliyette olmaları anten seçim tekniklerini cazip hale getirmiştir. Bunlardan, tek anten temelli verici anten seçimi, vericide tam kanal bilgisine ihtiyaç duyulmaması ve bir adet RF yükseltme devresinin yeterli olması gibi önemli avantajlar barındırmaktadır. Mevzubahis avantajlarından ötürü VAS kullanan EOB tekniği araştırmacılar tarafından sıklıkla çalışılmıştır [3-11]. Literatürde modülasyon çeşitlemesi olarak da bilinen işaret uzayı çeşitlemesi (İÜÇ) (signal space diversity) [12], iletilen işaretlerin oluşturduğu işaret uzayındaki birbirine dik bazların (orthogonal basis) kullanılmasıyla sistemin çeşitleme seviyesinin artırılması esasına dayanmaktadır. İÜÇ, faz kaydırmalı anahtarlama (FKA) (phase-shift keying) modülasyonu gibi iki boyutlu işaret diyagramı kullanan sistemlerde iki aşamada gerçekleştirilebilir [13,14]: 1. İşaret diyagramı uygun bir şekilde döndürülerek, herhangi bir sembolün eşfazlı (in-phase, I) bileşeninin diğer sembollerin I bileşenlerinden farklı olması sağlanır. Aynı durum, işaret diyagramındaki sembollerin dik (quadrature, Q) bileşenleri için de geçerlidir. Bunun amacı, işaret diyagramında herhangi bir sembolün her bir bileşeninin ait olduğu sembolü tanımlamak için yeterli bilgiye sahip olmasını sağlamaktır. 2. İletilen sembolün bileşenlerinin kanal tarafından bağımsız sönmüleme etkilerine maruz kalmasının temin edilmesidir. Bu koşul, vericide ve alıcıda sırasıyla bileşen serpiştirici ve bileşen geri serpiştirici kullanılarak sağlanabilir. İÜÇ'nin FKA ile beraber kullanılması durumunda sistemin çeşitleme seviyesinin, ilave algılama karmaşıklığına neden olmadan, iki katına çıkarılabileceği gösterilmiştir [13,14]. Literatürde İÜÇ'nin hem tek antenli sistemler ile hem de ÇGÇÇ sistemleri ile beraber kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Bu konuda kısa bir literatür özeti için kaynaklar kısmında [10] numaralı makaleye başvurulabilir.

Bu çalışmada, VAS ve EOB kullanan bir txr ÇGÇÇ sistemi İÜÇ ile birleştirilmekte ve

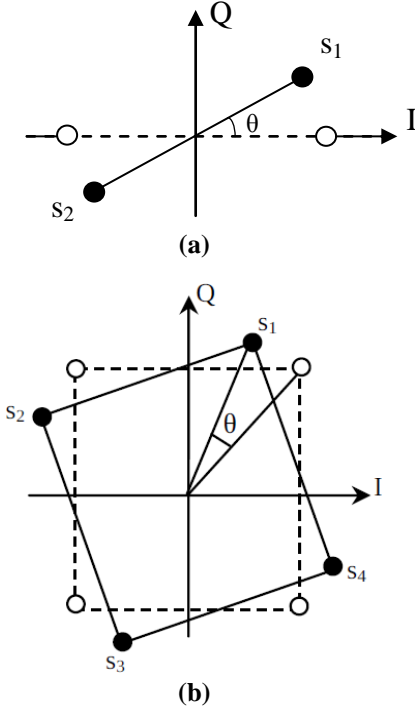
sistemin hata başarımı yavaş düz Rayleigh sönmülemeli kanallar üzerinde incelenmektedir. Verici antenlerin ilişkisiz, alıcı antenlerin ilişkili olduğu bir senaryo iki ve dört seviyeli FKA modülasyonu altında analiz edilmektedir. Böyle bir durum, verici antenlerin aralarında yeterince mesafe ile konumlandırılabilmesi fakat benzer bir imkanın hareketli kullanıcıda daha zor olduğu aşağı hat (baz istasyonundan hareketli kullanıcıya) haberleşme sistemlerinde sıklıkla karşılaşılabilmektedir. İki antenin ilişkisiz olması için aralarında bulunması gereken mesafe ortamdaki saçıcıların miktarına ve sinyal dalga boyuna bağlıdır. Alçak irtifada saçıcıların çok olduğu bir ortamda bulunan hareketli kullanıcı için komşu antenler arasındaki mesafenin dalga boyunun yaklaşık olarak yarısı olması antenlerin ilişkisiz olması için yeterlidir [1]. Diğer taraftan, yüksek irtifada saçıcıların göreceli olarak daha az bulunduğu bir ortamda bulunan baz istasyonları için antenlerin ilişkisiz olması ancak komşu antenler arasındaki mesafenin en azından birkaç dalga boyu olması ile sağlanabilir [2]. Yukarıda bahsedilen sistem modeli alıcı antenler arasındaki ilişki üssel (exponential) olarak [10]'da analiz edilmiştir. Farklı olarak, alıcı antenler arasındaki ilişkinin çift (dual) ve tekdüze (uniform) modelleri ile temsil edildiği durumlar bu çalışmada ele alınmıştır. Hem çift ve hem de tekdüze anten ilişki modelleri literatürde kullanılan ve pratik uygulamalarda karşılıkları bulunan modellerdir [2].

Çalışma genelinde şu notasyon kullanılmıştır: $E\{\cdot\}$, $\exp(\cdot)$, $|\cdot|$, $(\cdot)^H$, j ve $\|\cdot\|$ sırasıyla beklenen değeri, üssel fonksiyonu, kompleks sayılar için normu (reel sayılar için mutlak değeri), eşlenik devriği (conjugate transpose), $\sqrt{-1}$ 'i ve Öklid normunu göstermektedir. Matrisler ve vektörler sırasıyla büyük ve küçük siyah (bold) harflerle gösterilmiştir. Skalar değerler normal yazı tipi ile ifade edilmiştir.

2. Sistem Modeli

Tek kullanıcı, t verici antene ve r alıcı antene sahip bir ÇGÇÇ haberleşme sistemi ele alınmaktadır. Alıcıda alınan kompleks temelbant işaret $\mathbf{z} = \mathbf{h}\mathbf{x} + \mathbf{n}$ şeklinde yazılabilir. Burada, $r \times 1$ 'lik kompleks \mathbf{h} vektörünün i . elemanı, seçilen verici anten ile i . alıcı anten arasındaki

sönümlenme katsayısını temsil etmektedir. Ayrıca, x skaları temelbant iletilen işareti ve \mathbf{n} ($r \times 1$ 'lik kompleks vektör) alıcıda eklenen beyaz Gauss gürültüsünü (EBGG) ifade etmektedir. EBGG'nin tek taraflı güç spektral yoğunluğunu N_0 ile ve birim matrisi \mathbf{I} ile temsil etmek üzere şu ilişki yazılabilir: $E\{\mathbf{nn}^H\} = N_0\mathbf{I}$. Modüle edilmiş işaret s_i ($i \in \{1,2,\dots,M\}$) döndürülmüş M-FKA işaret diyagramından gelmektedir ($M \in \{2,4\}$). Döndürülmüş ve orijinal 2-FKA (binary PSK, BPSK) ve 4-FKA (quadrature PSK, QPSK) işaret diyagramları sırasıyla Şekil 1.a ve Şekil 1.b'de gösterilmiştir.



Şekil 1. a) Döndürülmüş (●) ve orijinal (○) 2-FKA işaret diyagramları. **b)** Döndürülmüş (●) ve orijinal (○) 4-FKA işaret diyagramları.

Vericide $|s_i|^2 = E_s$ olacak şekilde bir enerji sınırlandırması bulunmaktadır ($M=2$ için $|s_i|^2 = E_b$). Burada, E_s (E_b) sembol (bit) başına tahsis edilmiş enerjiyi temsil etmektedir. İşaret diyagramında bütün sembollerin eşit olasılığa sahip olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca, verici antenlerin ilişkisiz ve alıcı antenlerin ilişkili olduğu bir durum ele alınmaktadır. Anten ilişki modeli olarak bu çalışmada iki farklı model kullanılmıştır: çift anten ilişki modeli ve tekdüze

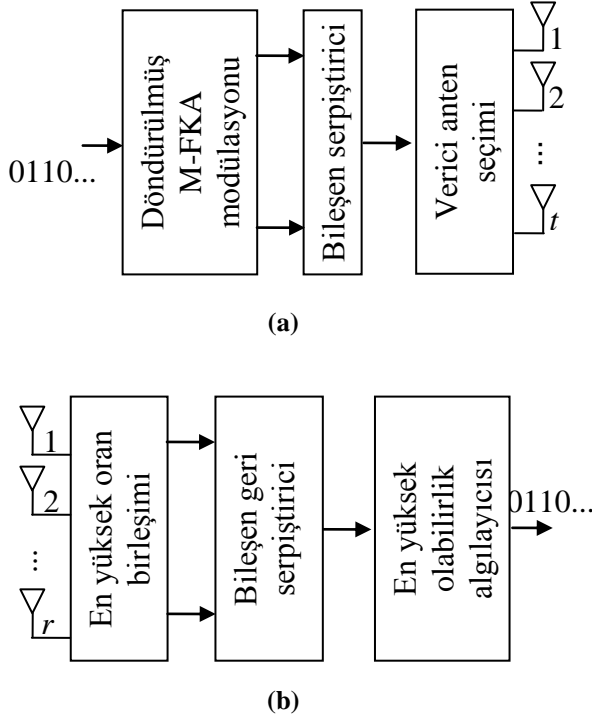
anten ilişki modeli. Kanal matrisi olarak i . satır k . sütun elemanı, k . verici (anten seçimi öncesi) ve i . alıcı antenler arasındaki sönümlenme katsayısını temsil eden $r \times r$ 'lik kompleks \mathbf{H} matrisini düşünelim. Bu durumda; $\mathbf{H} = \mathbf{R}^{1/2} \tilde{\mathbf{H}}$ yazılabilir ki burada $\tilde{\mathbf{H}}$, elemanları sıfır ortalamaya sahip birim varyanslı (normunun karesinin beklenen değeri bir olan) bağımsız aynen dağılmış (BAD) kompleks Gauss rastgele değişkenleri olan $r \times r$ 'lik bir matrisdir. Boyutu $r \times r$ olan \mathbf{R} matrisi, alıcı antenlerin ilişki yapısını belirleyen ilişki matrisidir. $[\mathbf{R}]_{i,k}$, \mathbf{R} matrisinin i . satır k . sütun elemanını ifade etmek üzere herhangi iki komşu alıcı anten arasındaki ilişki katsayısını ρ ile gösterelim. Bu durumda, çift anten ilişki modeli ve tekdüze anten ilişki modeli için sırasıyla

$$[\mathbf{R}]_{i,k} = \begin{cases} 1 & , \quad i = k, \\ \rho & , \quad |i - k| = 1, \\ 0 & , \quad \text{diğer,} \end{cases} \quad (1)$$

ve

$$[\mathbf{R}]_{i,k} = \begin{cases} 1 & , \quad i = k, \\ \rho & , \quad \text{diğer,} \end{cases} \quad (2)$$

yazılabilir. Alıcıda \mathbf{H} matrisinin bilindiği varsayılmaktadır. Alıcı ile verici arasında, verici anten seçimi sebebiyle, $\lceil \log_2 t \rceil$ 'lik ($\lceil \log_2 t \rceil, \log_2 t$ 'den büyük en küçük tam sayıyı göstermektedir) düşük hıza sahip bir geri besleme hattı olduğu kabul edilmiştir. Bunun dışında, vericide kanal bilgisi bulunmamaktadır. Sistemin verici ve alıcı blok diyagramları sırasıyla Şekil 2.a ve Şekil 2.b'de verilmiştir. Vericide öncelikle döndürülmüş M-FKA işaret diyagramı yardımıyla bitler modüle edilmiş sembollere eşlenir. Akabinde her bir sembolün I ve Q bileşenleri birbirlerinden bağımsız bir şekilde bileşen serpiştiricilerden geçirilir. Dolayısıyla, iletilen temelbant işaretin (x) reel ve imajiner kısımları iki farklı modüle edilmiş sembolden gelmektedir. Bir sembol iletimi için vericide sadece bir anten kullanılmaktadır.



Şekil 2. a) . Önerilen sistemin verici blok diyagramı.
b) Önerilen sistemin alıcı blok diyagramı.

Alicı, \mathbf{H} matrisinin en yüksek norma sahip olan sütununa tekabül eden verici anten indeksini belirler ve bunun bilgisini hatasız bir geri besleme kanalı vasıtasıyla verici ile paylaşır. Alıcıda, alınan temel bant işaret EOB işlemine tabi tutulur. Bu bağlamda, $(\mathbf{h}^H/\|\mathbf{h}\|)\mathbf{z}$ işlemi uygulanır ve

$$(\mathbf{h}^H/\|\mathbf{h}\|)\mathbf{z} = \|\mathbf{h}\| x + (\mathbf{h}^H/\|\mathbf{h}\|) \mathbf{n}$$

ifadesi elde edilir. Arkasından, $(\mathbf{h}^H/\|\mathbf{h}\|)\mathbf{z}$ işaretinin I (reel) ve Q (imajiner) bileşenleri, vericideki serpiştirici çiftinin ters işlemine uygulayan bileşen geri serpiştirici çiftine verilir. Herhangi bir s modüle edilmiş sembolü için, verici geri serpiştirici çifti çıkışındaki işaret $y = y_I + j y_Q = (y_I, y_Q) = (g_1 s_I + w_I, g_2 s_Q + w_Q)$ şeklinde yazılabilir. Burada, s_I ve s_Q sırasıyla modüle edilmiş s sembolünün I ve Q bileşenlerini göstermektedir. Ayrıca, g_1 ve g_2 , s sembolünün I ve Q bileşenlerini etkileyen BAD sönümlenme katsayılarını ifade etmektedir. İlaveten, w_I ve w_Q geri serpiştirici çifti çıkışındaki EBGG terimlerini temsil eden BAD sıfır ortalamalı ve $N_0/2$ varyansa sahip Gauss rastgele değişkenleridir. En yüksek olabirlik algılayıcısı, işaret diyagramındaki semboller arasından

$$\|(y_I + j y_Q) - (g_1 \hat{s}_I + j g_2 \hat{s}_Q)\|$$

metriğini en aza indirgeyen \hat{s} sembolü lehine karar verir.

3. Başarım Analizi

Bu bölümde, önerilen sistemin hata başarımı çift ve tekdüze alıcı anten ilişki modelleri altında istatistiksel yöntemler ile incelenmektedir. İletilen modüle edilmiş işaretin I ve Q bileşenlerini etkileyen sönümlenme katsayıları g_1 ve g_2 ile alakalı şu iki tanımlama yapılsın: $\gamma_1 = g_1^2$ ve $\gamma_2 = g_2^2$. Vericiden modüle edilmiş bir s sembolü iletildiği zaman alıcıda algılayıcının hatalı olarak \tilde{s} sembolü ($s \neq \tilde{s}$) lehine karar vermesi olasılığı olarak tanımlanan çiftsel hata olasılığı (ÇHO) aşağıdaki şekilde yazılabilir [10]:

$$P(s \rightarrow \tilde{s}) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} h(\Delta_I^2, \phi, N_0) h(\Delta_Q^2, \phi, N_0) d\phi. \quad (3)$$

Burada, $\Delta_I = s_I - \tilde{s}_I$ ve $\Delta_Q = s_Q - \tilde{s}_Q$ olarak tanımlanmıştır ($\Delta_I \neq 0, \Delta_Q \neq 0$). Ayrıca,

$$h(x, \phi, N_0) = \frac{x}{4N_0 \sin^2 \phi} \int_0^{\infty} \exp\left(-\gamma \frac{x}{4N_0 \sin^2 \phi}\right) F_\gamma(\gamma) d\gamma \quad (4)$$

olarak tanımlıdır [10]. Yukarıda $F_\gamma(\gamma)$, BAD γ_1 ve γ_2 rastgele değişkenlerinin biriken dağılım fonksiyonunu (BDF) göstermektedir. Saat yönünün tersine θ açısı kadar döndürülmüş bir M-FKA işaret diyagramına ait herhangi iki farklı sembol s_i ve s_k için

$$\Delta_I = \sqrt{E_s} (\cos(\theta_i + \theta) - \cos(\theta_k + \theta))$$

ve

$$\Delta_Q = \sqrt{E_s} (\sin(\theta_i + \theta) - \sin(\theta_k + \theta))$$

yazılabilir. Burada, θ_i ve θ_k sırasıyla orijinal (döndürülmemiş) işaret diyagramında s_i ve s_k 'nin faz açılarıdır. 2-FKA modülasyonu için (3)'teki ÇHO ifadesi aynı zamanda bit hata olasılığına (P_b) da eşit olmaktadır. Önerilen sistemin 4-FKA modülasyonu altındaki sembol hata olasılığı (P_s)

için aşağıdaki birleşim üst sınır (union bound) formülünden [1] yararlanılmaktadır:

$$P_s \leq \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^M P(s_i \rightarrow s_k). \quad (5)$$

Yukarıdaki ifadede s_i ($i \in \{1,2,\dots,M\}$) işaret diyagramındaki sembolleri ve $P(s_i \rightarrow s_k)$, s_i ve s_k arasındaki CHO'yu (s_i iletildiğinde algılayıcının hatalı olarak s_k lehine karar verme olasılığını) göstermektedir. \mathbf{R} ilişki matrisinin özdeğerleri, $F_\gamma(\gamma)$ üzerinde önemli etkiye sahiptir. Takip eden iki başlık altında, çift ve tekdüze anten ilişki modelleri için önerilen sisteme dair BDF'ler ayrı ayrı incelenmiş ve her iki durum altında işaret diyagramına uygulanması gereken en uygun döndürme açıları $M=2$ ve $M=4$ için elde edilmiştir.

3.1. Çift anten ilişki modeli

Aşağıdaki sonuç [8, Denklem (12)] yardımıyla elde edilebilir: $\gamma \geq 0$ için

$$F_\gamma(\gamma) = \left[1 - \sum_{i=1}^r \xi_i e^{-\gamma/\lambda_i} \right]^t. \quad (6)$$

Burada, λ_i \mathbf{R} matrisinin i . özdeğerini göstermektedir. Denklem (1) kullanılarak gösterilebilir ki \mathbf{R} matrisi, herhangi bir pozitif tam sayı r değeri için, bütün özdeğerleri birbirlerinden farklı reel sayılar olan bir matrisdir. Ayrıca, (6)'da

$$\xi_i = \lambda_i^{r-1} \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^r \frac{1}{\lambda_i - \lambda_k}$$

olarak tanımlıdır. Denklem (6), (3) ve (4) ile beraber kullanılırsa CHO için şu tam kapalı form ifade elde edilebilir:

$$P(s \rightarrow \tilde{s}) = (t!)^2 \sum_{i=0}^t \sum_{u=0}^t \sum_{\substack{k_1, k_2, \dots, k_r \geq 0 \\ k_1 + k_2 + \dots + k_r = i}} \sum_{\substack{m_1, m_2, \dots, m_r \geq 0 \\ m_1 + m_2 + \dots + m_r = u}} \frac{(-1)^{i+u}}{(t-i)!(t-u)!} \frac{\xi_1^{k_1+m_1} \xi_2^{k_2+m_2} \dots \xi_r^{k_r+m_r}}{k_1! m_1! k_2! m_2! \dots k_r! m_r!} \Psi. \quad (7)$$

Burada,

$$\Psi = \begin{cases} \frac{a+2}{4(a+1)^{3/2}}, & a = b, \\ \frac{a}{\sqrt{a+1}} - \frac{b}{\sqrt{b+1}}, & a \neq b, \\ \frac{1}{2(a-b)}, & \end{cases}$$

$$a = \left[\frac{\Delta_I^2 / (4N_0)}{\frac{k_1}{\lambda_1} + \frac{k_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{k_r}{\lambda_r}} \right]^{-1}, \quad b = \left[\frac{\Delta_Q^2 / (4N_0)}{\frac{m_1}{\lambda_1} + \frac{m_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{m_r}{\lambda_r}} \right]^{-1}$$

olarak tanımlıdır. Ayrıca; (7)'deki soldan üçüncü toplam, negatif olmayan tam sayı k_1, k_2, \dots, k_r indekslerinin toplamları i 'ye eşit olacak şekilde bütün farklı permütasyonları üzerinden gerçekleştirilmektedir. Eş bir yapı en içteki toplam için de geçerlidir. Denklem (7), [10, Denklem (15)] ile aynı formdadır. Bununla beraber, her iki durumdaki özdeğerler ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_r$) farklıdır. Bu durumun sebebi olarak hem üssel anten ilişki modeli altında [10] hem de çift anten ilişki modeli altında \mathbf{R} matrisinin birbirlerinden farklı r adet özdeğere sahip olması gerçeği yatmaktadır. 2-FKA modülasyonu için, (7)'yi en aza indirgeyen döndürme açısının $\theta=45^\circ$ olduğu matematiksel olarak gösterilebilir [15]. 4-FKA için en uygun döndürme açısı, (3), (5) ve (7)'nin uygun bir optimizasyon paketi ile beraber kullanılması ile sayısal olarak elde edilebilir.

3.2. Tekdüze anten ilişki modeli

Aşağıdaki sonuç [8, Denklem (12)] yardımıyla elde edilebilir: $\gamma \geq 0$ için

$$F_\gamma(\gamma) = \left[1 - \left(\frac{e^{-\gamma/\lambda_1}}{\left(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^{r-1}} - \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \sum_{i=1}^{r-1} \frac{\Gamma(i, \gamma/\lambda_2)}{(i-1)! \left(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^{r-i}} \right) \right]^t. \quad (8)$$

Burada; $\Gamma(s, x)$ üst eksik (upper incomplete) Gamma fonksiyonunu göstermektedir ve pozitif tam sayı s değerleri için

$$\Gamma(s, x) = (s-1)! e^{-x} \sum_{q=0}^{s-1} \frac{x^q}{q!} \text{ şeklinde yazılabilir}$$

[16]. Ayrıca, (8)'de $\lambda_1 = 1 + (r-1)\rho$ ve $\lambda_2 = 1 - \rho$, \mathbf{R} matrisinin özdeğerlerini göstermektedir. Özdeğerlerden λ_1 'in katlılığı (multiplicity) birdir ve λ_2 'nin katlılığı $(r-1)$ 'dir. Denklem (8), (4)'te kullanılırsa $h(x, \phi, N_0)$ için aşağıdaki tam kapalı form ifade elde edilebilir:

$$h(x, \phi, N_0) = \frac{x}{4N_0 \sin^2 \phi} \sum_{i=0}^t \sum_{k=0}^i \sum_{p=0}^{k(r-2)} \binom{t}{i} \binom{i}{k} \binom{i+k}{i-k} \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^k \frac{a_p(r, k, \lambda_1, \lambda_2) p!}{\left(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^{(i-k)(r-1)} \left(\frac{i-k}{\lambda_1} + \frac{k}{\lambda_2} + \frac{x}{4N_0 \sin^2 \phi} \right)^{p+1}} \quad (9)$$

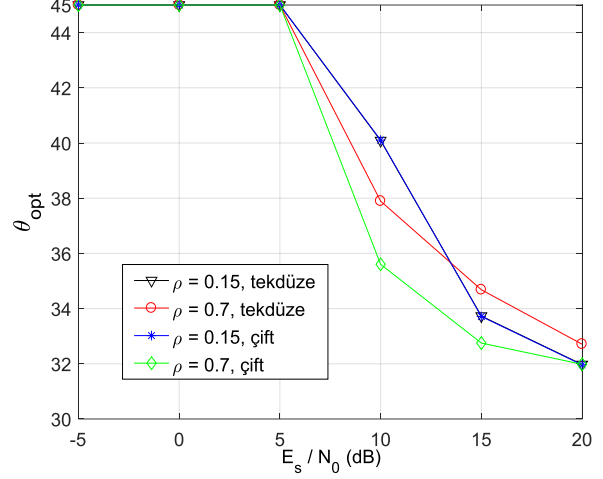
Burada $a_p(r, k, \lambda_1, \lambda_2)$ ile gösterilen değişken;

$$\sum_{\alpha=1}^{r-1} \sum_{\beta=0}^{\alpha-1} \frac{(\gamma / \lambda_2)^\beta}{\left(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^{r-\alpha}} \beta!$$

ifadesinin k . kuvvetinin γ 'ya göre polinom açılımında, γ^β 'nin katsayısını temsil etmektedir. Denklem (9), (3)'te yerine konularak ve akabinde ϕ 'ye göre integral alınarak ÇHO için tam kapalı form bir ifade elde edilebilir. Bu ifade, uzunluğu sebebiyle burada dahil edilmemiştir. Ayrıca, (9)'u (3) ile beraber kullanmak suretiyle elde edilen ifade nümerik integral hesabı için de uygun bir formda olmaktadır. 2-FKA modülasyonu için, (9)'u en aza indirgeyen döndürme açısının $\theta=45^\circ$ olduğu matematiksel olarak gösterilebilir [15]. 4-FKA için en uygun döndürme açısı, (3), (5) ve (9)'un uygun bir optimizasyon paketi ile beraber kullanılmasıyla sayısal olarak elde edilebilir.

Şekil 3'te 4-FKA modülasyonu için $t = 2$, $r = 3$ altında en uygun işaret diyagramı döndürme açıları (θ_{opt}) (saat yönünün tersine derece olarak)

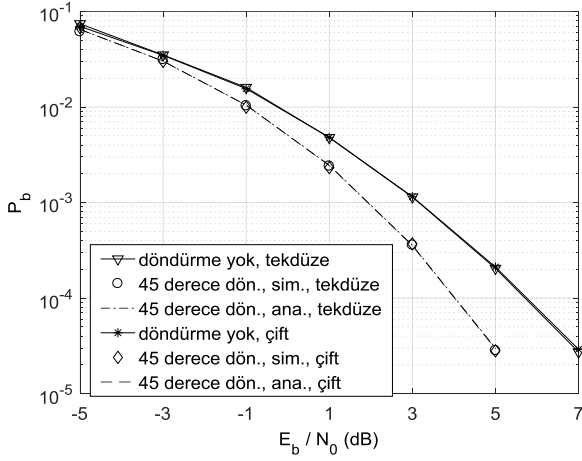
farklı E_s / N_0 değerleri için gösterilmiştir. E_s / N_0 değeri arttıkça θ_{opt} 30 derece civarına yakınsamaktadır [13,14].



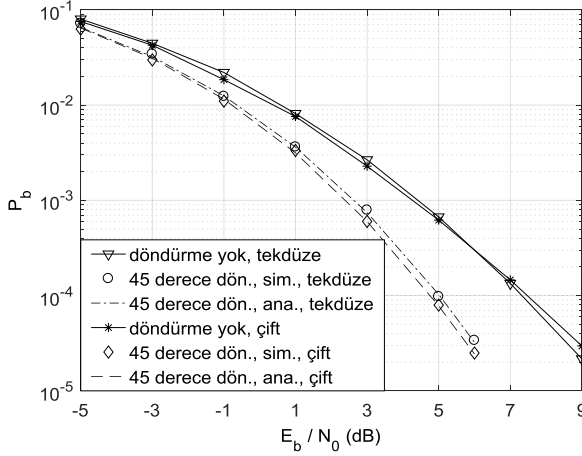
Şekil 3. 4-FKA modülasyonu için $t = 2$, $r = 3$ altında en uygun işaret diyagramı döndürme açıları (θ_{opt}).

4. Sayısal Sonuçlar

Bu bölümde, önerilen sistemin hata başarımı $t=2$ ve $r=3$ için sayısal sonuçlar ile gösterilmektedir. İlişki katsayısı $\rho=0.15$ (düşük ilişki) ve $\rho=0.7$ (yüksek ilişki) olacak şekilde iki farklı senaryo incelenmiştir. İkili FKA dışında değerlendirilen bütün tekniklerde EOB ve VAS bileşen serpiştirme ve geri serpiştirme ile beraber kullanılmaktadır. Orijinal (döndürülmemiş) 2-FKA modülasyonu tek boyutlu bir işaret diyagramına sahip olduğu için orijinal 2-FKA ile bileşen serpiştirme kullanılmamıştır. Ayrıca, gösterilen sonuçlarda simülasyon yerine "sim." ve analitik yerine "ana." kısaltmaları kullanılmıştır. Şekil 4'te, önerilen sistem 2-FKA modülasyonu altında orijinal sistem ile $\rho=0.15$ için bit hata olasılığı açısından karşılaştırılmıştır. Bu durumda, r ve ρ değerlerinin düşük olmasından dolayı hem tekdüze hem de çift ilişki modelleri için sonuçlar birbirine çok yakın çıkmıştır. 10^{-4} bit hata olasılığı için, önerilen sistem her iki ilişki modeli için de orijinal sisteme nazaran yaklaşık olarak 1.7 dB kazanç sağlamaktadır. Ayrıca, teorik sonuçlar simülasyon sonuçları ile uyum içerisindedir.

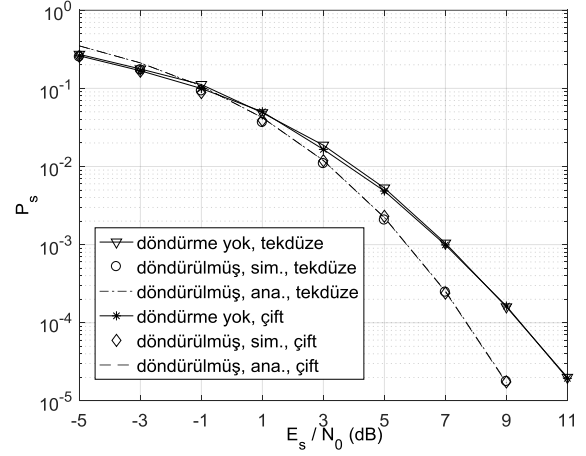


Şekil 4. $\rho = 0.15$, $t = 2$, $r = 3$ için önerilen ve orijinal sistemlerin 2-FKA altında bit hata olasılığı başarımları.

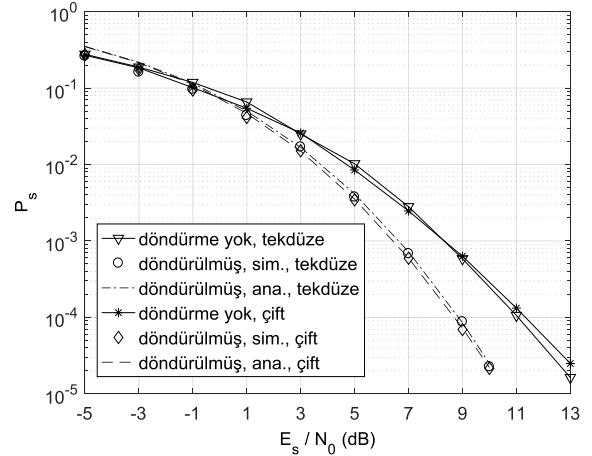


Şekil 5. $\rho = 0.7$, $t = 2$, $r = 3$ için önerilen ve orijinal sistemlerin 2-FKA altında bit hata olasılığı başarımları.

Şekil 5'te, önerilen sistem 2-FKA modülasyonu altında orijinal sistem ile $\rho=0.7$ için karşılaştırılmıştır. Önceki şekilde olduğu gibi teorik ve simülasyon sonuçları arasında oldukça iyi seviyede bir uyum gözlemlenmektedir. Ayrıca, önerilen sistem tekdüze ve çift ilişki modelleri için orijinal sisteme göre sırasıyla 2.2 dB ve 2.5 dB (10^{-4} bit hata olasılığı için) kazanç getirmektedir. Şekil 6'da, önerilen sistem 4-FKA modülasyonu altında orijinal sistem ile $\rho=0.15$ için sembol hata olasılığı açısından karşılaştırılmıştır. Şekil 4'e benzer olarak incelenen iki ilişki modeli için de benzer başarımlar gözlemlenmektedir. İki ilişki modeli altında da önerilen sistem orijinal sisteme göre 10^{-4} sembol hata olasılığında yaklaşık 1.8 dB getiri sağlamaktadır.



Şekil 6. $\rho = 0.15$, $t = 2$, $r = 3$ için önerilen ve orijinal sistemlerin 4-FKA altında bit hata olasılığı başarımları.



Şekil 7. $\rho = 0.7$, $t = 2$, $r = 3$ için önerilen ve orijinal sistemlerin 4-FKA altında bit hata olasılığı başarımları.

Şekil 7'de, önerilen sistem 4-FKA modülasyonu altında orijinal sistem ile $\rho=0.7$ için karşılaştırılmıştır. Önerilen sistem tekdüze ve çift ilişki modelleri için orijinal sisteme göre sırasıyla 2.1 dB ve 2.5 dB (10^{-4} sembol hata olasılığı için) kazanç getirmektedir. Hem Şekil 6'da hem de Şekil 7'de teorik ve simülasyon sonuçları arasında yüksek seviyede mutabakat bulunmaktadır. Yukarıdaki şekillerden görülebileceği üzere, önerilen tekniğin orijinal tekniğin ötesinde getirdiği kazanç ρ arttıkça artmaktadır.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, VAS ve EOB kullanan bir *txr* ÇGÇÇ sistemi İÜÇ ile birleştirilmiş ve sistemin hata başarımı yavaş düz Rayleigh sönümlmeli kanallar üzerinde incelenmiştir. Verici antenlerin ilişkisiz, alıcı antenlerin ilişkili olduğu bir senaryo iki ve dört seviyeli FKA modülasyonu altında analiz edilmiştir. Anten ilişki modeli olarak çift ve tekdüze ilişki modelleri kullanılmıştır. Mevzubahis sistem modeli literatürde ilk defa olarak İÜÇ ile birleştirilerek ele alınmıştır. İki ve dört seviyeli FKA modülasyonu işaret diyagramları için en uygun döndürme açıları elde edilmiştir. Önerilen sistemin, ciddi bir karmaşıklık artışına sebep olmadan, orijinal sistemin ötesinde kayda değer bir hata başarımı sağladığı gösterilmiştir.

6. Kaynaklar

- [1] Tse, D. and Viswanath, P. (2005). Fundamentals of Wireless Communications. Cambridge University Press.
- [2] Simon, A.K. and Alouini, M.S. (2000). Digital Communication over Fading Channels: A Unified Approach to Performance Analysis. John Wiley & Sons.
- [3] Thoen, S., Van der Perre, L., Gyselinckx, B. and Engels, M. (2001). Performance analysis of combined transmit-SC/receive-MRC. *IEEE Trans. Commun.*, **49(1)**: 5-8.
- [4] Win, M.Z., Beaulieu, N.C., Shepp, L.A., Logan, B.F. and Winters, J.H. (2003). On the SNR penalty of MPSK with hybrid selection/maximal ratio combining over i.i.d. Rayleigh fading channels. *IEEE Trans. Commun.*, **51(6)**: 1012-1023.
- [5] Chen, Z., Yuan, J. and Vucetic, B. (2005). Analysis of transmit antenna selection/maximal-ratio combining in Rayleigh fading channels. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, **54(4)**: 1312-1321.
- [6] Chen, Z., Chi, Z., Li, Y. and Vucetic, B. (2009). Error performance of maximal-ratio combining with transmit antenna selection in flat Nakagami-m fading channels. *IEEE Trans. Wireless Commun.*, **8(1)**: 424-431.
- [7] Romero-Jerez, J.M. and Goldsmith, A.J. (2009). Performance of multichannel reception with transmit antenna selection in arbitrarily distributed Nakagami fading channels. *IEEE Trans. Wireless Commun.*, **8(4)**: 2006-2016.
- [8] Ferdinand, N.S. and Rajatheva, N. (2011). Unified performance analysis of two-hop amplify-and-forward relay systems with antenna correlation. *IEEE Trans. Wireless Commun.*, **10(9)**: 3002-3011.
- [9] Yang, N., Suraweera, H.A., Collings, I.B. and Yuen, C. (2013). Physical layer security of TAS/MRC with antenna correlation. *IEEE Trans. Inf. Forensics Security*, **8(1)**: 254-259.
- [10] Özyurt, S. and Kucur, O. (2018). Performance analysis of maximal ratio combining with transmit antenna selection and signal space diversity under exponential antenna correlation. *IET Commun.*, e-first article.
- [11] Özyurt, S. and Kucur, O. (2017). Performance analysis of signal space diversity with transmit antenna selection and maximal ratio combining. *IEEE 25th Sig. Process. Commun. App. Conf.*, Antalya, Turkey.
- [12] Boule, K. and Belfiore, J.C. (1992). Modulation scheme designed for Rayleigh fading channel. *26th Annual Conf. Inf. Sciences Sys.*, Princeton, USA.
- [13] Taricco, G. and Viterbo, E. (1996). Performance of component interleaved signal sets for fading channels. *Electron. Lett.*, **32(13)**, 1170-1172.
- [14] Slimane, S.B. (1998). An improved PSK scheme for fading channels. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, **47(2)**: 703-710.
- [15] Özyurt, S. and Kucur, O. (2018). Zero-forcing beamforming with signal space diversity. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, **67(1)**: 812-816.
- [16] Abramowitz, M. and Stegun, I.A. (1972). Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. Dover Press.

Karbonat Kayalarının Aşınma Dirençlerinin Geniş Disk Aşınma Deneyi ile Araştırılması

Sefer Beran Çelik

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 20070, Denizli
scelik@pau.edu.tr

(Geliş/Received: 28.12.2017; Kabul/Accepted: 25.01.2018)

Özet

Özellikle taban döşemesi olarak kullanılan doğal taşların kullanım ömrünü belirleyen en önemli özelliklerinden birisi aşınma direncidir. Aşınma direncinin belirlenmesi için önerilmiş farklı yöntemler mevcut olup, bu yöntemler genellikle zaman alıcı ve özel deney cihazlarıyla gerçekleştirilmektedir. Aşınma direncinin belirlenmesine yönelik olarak son yıllarda Avrupa ülkelerinde geliştirilmiş ve standartlaştırılmış olan Geniş Disk Aşınma Deneyi (GD) kısa deney süresi ve pratik kullanım özellikleri ile ülkemizde de yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu deneysel çalışmada, Batı Anadolu'nun değişik bölgelerinden, inşaat ve yapı sektöründe yaygın olarak kullanılan 11 farklı tür karbonat kayasının aşınma özellikleri Geniş Disk Aşınma Deneyi ile incelenmiştir. Çalışmanın ana amacı doğrultusunda incelenen ve traverten, kireçtaşı, dolomit ve mermer kaya türlerinin aşınma dirençleri ortaya konmuştur. Ayrıca, birim hacim ağırlık değerleri, görünür porozite değerleri, boyuna dalga hızları (V_p), GD aşınma değerleri ve tek eksenli sıkışma dayanımı (TSD) değerleri belirlenmiş ve elde edilen parametreler ile GD değerleri arasındaki ilişkiler incelenerek GD değerlerinin diğer parametrelerden tahmin edilebilirliği araştırılmıştır. GD değerleri ile diğer parametreler arasındaki ilişkiler çoklu regresyon analizleri ile incelenmiş ve GD değerlerinin tahmini için eşitlikler önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geniş disk aşınma deneyi, Doğal yapı taşı, Doğal taşlarda aşınma

Investigation of Abrasion Resistance of Carbonate Rocks by Wide Wheel Abrasion Test

Abstract

Abrasion resistance of natural stones is one of the most important characteristics which determines its service life when they are used as base floors. There are proposed methods for the determination of abrasion resistance, which often require long time and needed specific test equipment. In recent years, The Wide Wheel Abrasion Test (GD), developed and standardized in European countries for the determination of abrasion resistance of building stones, has been widely used for its short test duration and practical use. In this experimental study, the abrasion resistance of 11 different types of carbonate rocks from different regions of Western Anatolia which are widely used in the construction and building sectors have been investigated. Unit volume weight, apparent porosity values, longitudinal wave velocities (V_p), GD abrasion values and uniaxial compressive strength (TSD) values were determined and the relationships between the obtained parameters were investigated. The aim of this study to investigate the abrasion resistance of a total of 11 carbonate rock groups included travertine, limestone, dolomite and marble. The predictability of GD values from other parameters has also been investigated. Equations for the prediction of GD values by multiple regression analysis was proposed.

Key Words: Wide Wheel abrasion test, Natural building stone, abrasion resistance

1. Giriş

Kaya malzemelerin aşınma direnci en önemli mekanik parametrelerden birisi olup, mühendislik uygulamalarında göz önünde bulundurulması gereken bir değerdir. Doğal yapı taşı malzemesi olarak kullanılan kayalar için ise aşınma direnci taşın kullanım ömrünü belirleyen en önemli özelliklerden birisidir. Özellikle taban

kaplaması olarak kullanılması durumunda kayanın aşınma değerinin önemi daha belirginleşmektedir. Kayaların aşınabilirlikleri mineralojik bileşimleri tarafından kontrol edilmekle birlikte karbonat kayalar için ise aşınma direncinin daha çok taşın fiziksel ve mekanik özellikleri tarafından kontrol edildiği bilinmektedir. Özellikle kuvars, feldispat gibi

sert minerallere sahip kayalar daha yüksek aşınma direncine sahiptir.

Doğal taşların aşınma özelliklerinin belirlenmesine yönelik standartlar incelendiğinde Böhme aşınma deneyinin (BA) eski ve en yaygın deney olduğu görülmektedir. Ancak BA deneyi oldukça zahmetli ve uzun süren bir deney yöntemidir.

EN 14157 [1] standardında doğal taşların aşınma dirençlerinin belirlenmesine yönelik olarak üç tip deney yöntemi önerilmiştir. Bunlar, Böhme, Geniş disk ve Amsler-Laffon aşınma deneyi yöntemleridir. BA deney yöntemi daha eski bir yöntem olduğundan literatürde bu deney kullanılarak doğal taşların aşınma özelliklerinin incelendiği çalışmalar mevcuttur [2-5].

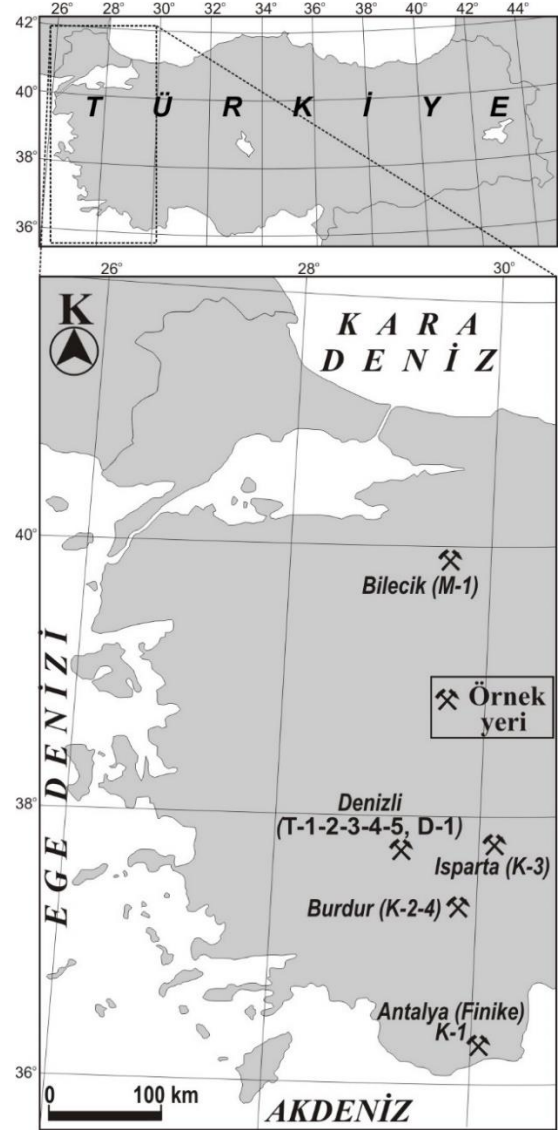
Bu çalışmanın da konusunu oluşturan GD deney yönteminde doğal taşların aşınma değeri dönen aşındırıcı diskin aşındırdığı mesafenin ilgili standartça belirlenmiş yöntemle ölçümü esasına dayanmakta ve aşınma değeri mm olarak belirtilmektedir. Amsler-Laffon aşınma deneyi BA deneyine benzer bir deney yöntemi olup düşey konumlu dönen aşındırıcı bir diskin kaya malzemesini aşındırması esasına dayanmaktadır [1].

GD deneyinin kullanımına ilişkin çalışmalar çok fazla değildir. Sahlin ve diğ. [6] taban kaplaması olarak kullanılan kireçtaşı ve kumtaşı örneklerinin GD değerlerini sırasıyla 13.5 ve 20.5 mm olarak belirlemişlerdir. Aynı çalışmada örneklerin suya doygun olduğu koşullarda bu değerlerin 14 ve 22 mm'ye yükseldiğini belirtmişlerdir. Karaca ve diğ. [7], BA ve GD aşınma değerlerini donma çözünme çevrimlerine bağlı olarak incelemiş ve bu deney yöntemleri ile mermer, kireçtaşı ve traverten örneklerinin aşınma değerlerinin belirlenebileceğini belirtmişlerdir. BA ve GD aşınma değerlerinin karşılaştırılması için de bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda yaygınlaşmaya başlayan GD değerlerinin hâlihazırda var olan BA değerlerinden tahmini amaçlanmıştır [8-10].

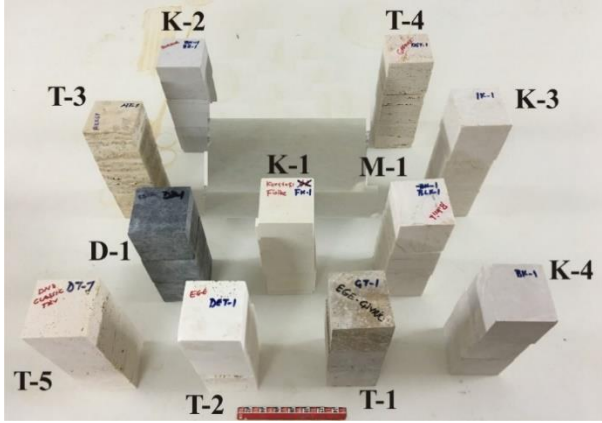
Bu çalışmanın ana amacı çalışılan 11 tür karbonat kayasının GD aşınma değerlerinin birim hacim ağırlık, görünür porozite, boyuna dalga hızı, tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri ile karşılaştırmasını yapmak ve bu değerlerden GD değerlerini ampirik olarak tahmin etmektir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan örnekler 7*7*7 cm küp örnekler olarak hazırlanmıştır. Örnekler Batı Anadolu'da çeşitli bölgelerden temin edilmiştir (Şekil 1). Tablo 1'de örnek kodları, türleri ve alındığı bölgeler verilmiştir. EN 1926 [11] standardı doğrultusunda her kaya grubundan 3'er adet küp örnek hazırlanmıştır (Şekil 2). 11 tür karbonat kayasından hazırlanan 33 adet örnek üzerinde önce fiziksel deneyler, daha sonra GD ile tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar istatistiksel yöntemler kullanılarak tartışılmıştır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan örneklerin alındığı yerler.



Şekil 2. Hazırlanan küp örneklerin görünüşleri.

Tablo 1. Örnek kodları, kaya türleri ve alındıkları bölgeler.

Örnek kodu	Kaya türü	Bölge (Ticari isim)
T-1	Traverten	Çivril-Denizli (Noçe)
T-2	Traverten	Kaklık-Denizli
T-3	Traverten	Akköy-Denizli (Sarı traverten)
T-4	Traverten	Kaklık-Denizli (Klasik)
T-5	Traverten	Kaklık-Denizli
K-1	Kireçtaşı	Finike-Antalya
K-2	Kireçtaşı	Burdur (Burdur bej)
K-3	Kireçtaşı	Isparta
K-4	Kireçtaşı	Karamanlı-Burdur (Burdur bej)
M-1	Mermer	Bilecik
D-1	Dolomit	Denizli

3. Fiziksel Özellikler

Her kaya örneğinin birim hacim ağırlık ve görünür porozite değerleri EN 1936 (2006) standardı doğrultusunda belirlenmiştir. Örneklerin birim hacim ağırlık ve görünür gözeneklilik değerleri Tablo 2’de verilmiştir. İncelenen kaya gruplarının birim hacim ağırlık değerleri 23.54 – 27.53 arasında ve ortalama 25.23 kN/m³ olarak belirlenmiştir. İncelenen kaya türleri Anon [12]’a göre orta-yüksek birim hacim ağırlıklı kaya sınıfındadır. Görünür gözeneklilik açısından ise örnekler % 0.33 ile % 6.55 arasında, ortalama % 2.25 gözenekliliğe sahiptir. Ortalama değerler açısından Anon [12]’a göre düşük gözenekli kaya grubundadır.

Bu çalışma kapsamında, Pundit Lab [14] boyuna dalga hızı ölçüm cihazı kullanılarak örneklerin boyuna dalga iletim hızları (Vp) ölçülmüştür. Vp değerlerinin ölçümü tahribatsız deney yöntemleri arasında değerlendirilmekte olup, özellikle tek eksenli sıkışma dayanımı tahmininde yaygın olarak kullanılmaktadır [15-23]. Bu yöntemde, örneklerin bir ucundan diğer

ucuna ses dalgası geçiş süresi belirlenip geçiş yolu uzunluğunun geçiş zamanına bölünmesiyle boyuna dalga hızı belirlenmektedir. Her örnek için elde edilen hızlar Tablo 3’de verilmiştir.

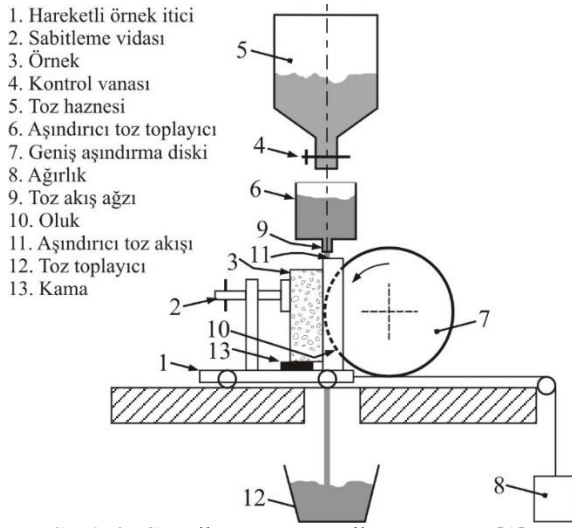
Tablo 2. Örneklerin birim hacim ağırlık ve görünür porozite değerleri.

Kod	Birim hacim ağırlık (kN/m ³)			Görünür porozite (%)		
	Min	Maks	Ort	Min	Maks	Ort
T-1	24.82	25.15	24.99	2.04	2.55	2.34
T-2	23.31	23.71	23.54	2.59	4.41	3.79
T-3	23.87	24.30	24.04	5.21	5.46	5.34
T-4	23.95	24.11	24.05	1.56	2.49	2.08
T-5	23.93	24.41	24.22	2.12	2.43	2.28
K-1	23.63	23.72	23.66	6.38	6.68	6.55
K-2	26.43	26.48	26.45	0.37	0.58	0.46
K-3	26.10	26.43	26.30	0.28	0.40	0.33
K-4	26.09	26.50	26.30	0.29	0.96	0.65
M-1	26.46	26.50	26.48	0.34	0.49	0.40
D-1	27.48	27.56	27.53	0.51	0.54	0.52

4. Geniş Disk Aşınma Deneyleri

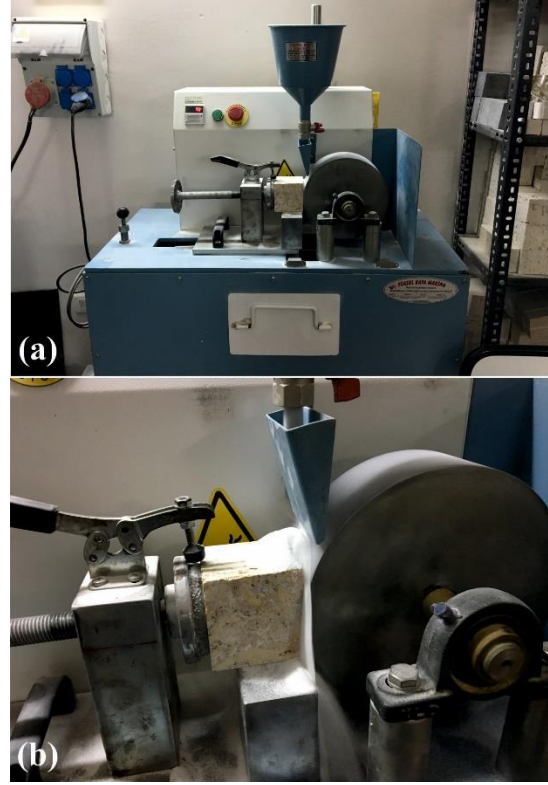
GD deneyleri Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Kaya Mekaniği Laboratuvarında bulunan GD aşınma cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3, 4). Çalışma amacı doğrultusunda EN 14157 [1] standardına göre deneyler her gruba ait 3 örneğin 3’er yüzeyinde olmak üzere her örnek grubu için toplam 9 aşınma deneyi gerçekleştirilmiştir. GD aşınma deneyinde, 200 ± 1 mm çaplı ve 70 ± 1 mm genişlikli disk 75 devir yaparak örneği aşındırmaktadır. Aşındırma sırasında dönen disk ile örneğin temas alanı arasına sürekli aşındırıcı toz beslemesi yapılmaktadır (Şekil 4). Bu toz, ilgili standartça belirlenmiş beyaz alüminyum oksit tozudur. Deney sonunda aşınmış örneklerin aşındığı alan ölçülerek genişlik mm olarak belirlenir, bu değer GD aşınma değeri olarak kullanılır. Aşındırıcı toz kullanımı ilgili standartça belirlenmiş olup 3 deneyden fazla aynı tozun kullanılmaması önerilmektedir. GD deney cihazının kalibrasyonu için Bolonez mermeri önerilmektedir [1]. Kalibrasyon için cihazın bu mermer üzerinde 20.0 ± 0.5 mm aşındırma yapması gerekmektedir. Bu değerden farklı olarak elde edilen değerlerin düzeltilmesinin gerektiği belirtilmiştir. Cihaz

kalibrasyonu Bolonez mermeri ile kontrol edilmiş ve ardından aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Marini ve diğ. [24], GD deneyinde aşındırıcı tozun en uygun kullanımı üzerine araştırmalar yapmış ve aynı tozun 40 kez kullanımdan sonra bile deney sonuçlarında bir değişiklik görülmediğini belirtmişlerdir. Bu çalışma kapsamında her 3 deney sonrasında aşındırıcı toz yenisi ile değiştirilmiştir. Her deney sonunda aşınan kısmın sınırları mercek altında ince uçlu kalem kullanılarak çizilmiş ve aşınma değeri belirlenmiştir. Şekil 5’de T-3-1 örneğinin deney sonu görünümü verilmiştir. Örnek üzerinde aşınan yüzeyin sınırları gösterilmiştir.

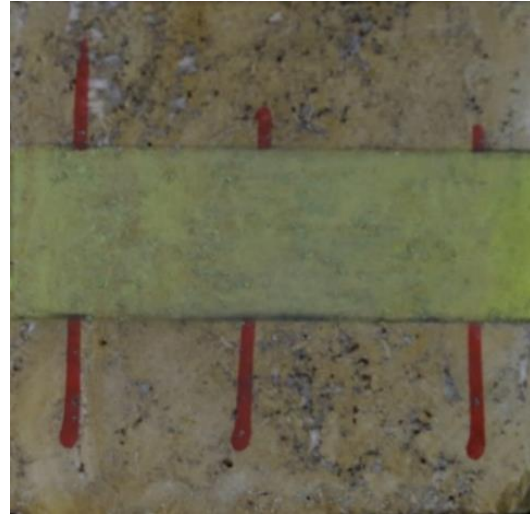


Şekil 3. GD cihazının şematik görünümü [1].

Çobanoğlu ve Çelik [10], 32 kaya türü üzerinde yaptıkları çalışmada doğal taşların GD aşınma değerleri üzerine bir sınıflama önermişlerdir. Bu çalışma kapsamında elde edilen GD aşınma değerleri bu sınıflama kapsamında değerlendirilmiştir. Tablo 4’de örnek türleri için elde edilmiş GD aşınma değerlerinin sınıfları toplu olarak verilmiştir. Traverten ve kireçtaşı gruplarının orta ve yüksek aşınabilir kaya sınıfında olduğu belirlenmiştir. Denizli travertenleri içinde en yüksek dayanım özelliklerine sahip Çivril bölgesinde bulunan [32] ve ticari adı Noçe olarak bilinen travertenin, Isparta bölgesi ve Burdur-Karamanlı bölgesine ait kireçtaşı örneklerinin ve bunun yanında dolomit ve mermer kaya gruplarının düşük aşınabilir kaya sınıfında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. GD cihazının görünümü (a), T-3-1 örneğinin deney görünümü (b).



Şekil 5. Geniş disk aşınma deneyi sonrası T-3-1 (Denizli Akköy sarı traverten) örneğinin görünümü.

5. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyleri

GD aşınma deneylerinden sonra tüm örneklerin TSD değerleri EN 1926 [11] standardına uygun olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. GD değerlerine bağlı aşınma sınıflandırması (Çobanoğlu ve Çelik [10]).

GD (mm)	Aşınma sınıfı	Kaya grupları
≤ 18	Düşük aşınabilir kaya	T-1, K-3, K-4, M-1, D-1
$18 < GD < 22$	Orta aşınabilir kaya	T-4, T-5, K-2
$GD \geq 22$	Yüksek aşınabilir kaya	T-2, T-3, K-1

TSD değerleri 2000 kN yüklemeye kapasiteli TSD cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre kaya örneklerinin TSD değerleri 28.13 ile 209.25 MPa arasında değişmektedir. Ortalama TSD değeri ise 91.24 MPa olarak belirlenmiştir. En düşük dayanıma sahip grupların T-2 ve T-3 traverten grupları ve en yüksek değerler ise D-1 grubu dolomitler üzerinde elde edilmiştir. Bu değerler ISRM [25]'ye göre orta ile çok sağlam dayanımlı kaya grubu sınıflarındadır. Geniş bir aralıkta değişen TSD değerlerine sahip karbonat kayalarının deneye tabi tutulmasının daha güvenilir ve sağlam ilişkiler elde edilebilmesi açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

6. Deney Verilerinin Değerlendirilmesi

Kaya malzemelerin farklı deney yöntemleri ile elde edilen aşınma dirençleri ile fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin incelendiği çalışmalar bulunmaktadır [26-31]. Bu çalışma kapsamında da Tablo 3'de verilen tüm deney sonuçları kullanılarak GD aşınma değerleri ile birim hacim ağırlık, görünür porozite, boyuna dalga hızı, tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri arasındaki ilişkiler basit ve çoklu regresyon analizleri ile incelenmiştir. Çoklu regresyon analizlerinde anlamlılık düzeyi % 95 olarak seçilmiştir.

Basit regresyon analizlerinden elde edilen sonuçlara göre birim hacim ağırlık artışı ile GD değerlerinin üstel bir fonksiyona bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir (Şekil 6). Bu azalmayı temsil eden üstel fonksiyonun determinasyon katsayısı (R^2) 0.66 olarak elde edilmiştir. GD değerleri ile görünür gözeneklilik arasında ise pozitif doğrusal bir ilişki mevcuttur ve bu doğrusal ilişki için ise R^2 0.71 olarak elde edilmiştir (Şekil 7).

Kaya malzemelerinin dayanım özelliklerinin tahmininde çok yaygın olarak kullanılan ve tahribatsız deney yöntemi olarak da bilinen boyuna dalga hızlarının belirlendiği deneyde,

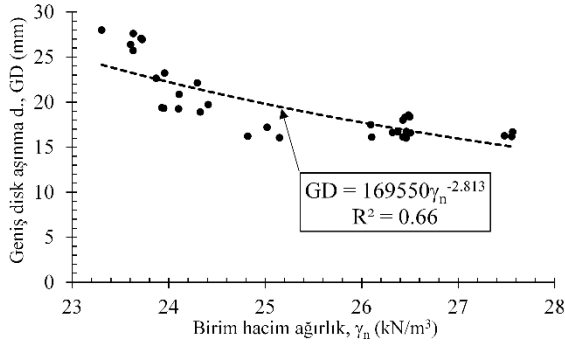
yüksek dayanımlı ve düşük gözenekli kayalarda daha yüksek değerlerde elde edildiği bilinmektedir. Bu çalışma kapsamında da GD değerleri ile boyuna dalga hızları (V_p) arasında, hız artışı ile GD değerlerinin üstel olarak azaldığı gözlenmiştir. Elde edilen R^2 değeri bu iki parametre için en yüksek değerde ve 0.73 olarak belirlenmiştir (Şekil 8).

Tablo 3. Tüm örneklerle ait deney verileri.

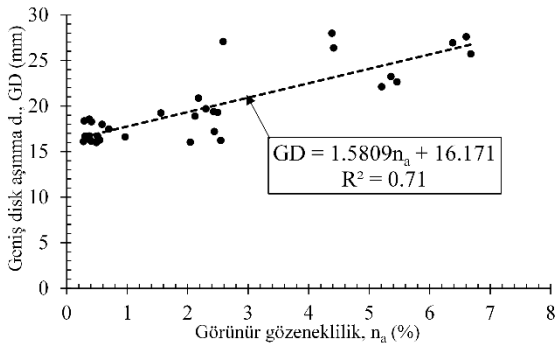
Kod	γ_n (kN/m^3)	n_a (%)	V_p (km/s)	TSD (MPa)	GD (mm)
T-1-1	25.15	2.04	6.277	98.84	16.03
T-1-2	24.82	2.55	6.287	91.81	16.21
T-1-3	25.02	2.44	6.263	114.00	17.19
T-2-1	23.60	4.41	5.260	33.18	26.37
T-2-2	23.31	4.38	5.417	33.71	27.99
T-2-3	23.71	2.59	5.536	30.83	27.06
T-3-1	23.87	5.46	5.234	50.01	22.63
T-3-2	23.96	5.36	4.867	28.13	23.22
T-3-3	24.30	5.21	5.240	67.18	22.11
T-4-1	23.95	2.49	5.301	46.24	19.29
T-4-2	24.10	1.56	5.604	55.82	19.24
T-4-3	24.11	2.18	5.644	58.41	20.85
T-5-1	24.41	2.30	6.107	76.21	19.70
T-5-2	24.33	2.12	5.939	75.16	18.90
T-5-3	23.93	2.43	5.886	84.91	19.38
K-1-1	23.63	6.68	4.213	49.74	25.71
K-1-2	23.63	6.60	4.475	49.72	27.61
K-1-3	23.72	6.38	4.402	52.90	26.94
K-2-1	26.48	0.37	6.541	148.54	18.54
K-2-2	26.43	0.58	6.592	125.32	17.98
K-2-3	26.45	0.41	7.201	159.85	18.29
K-3-1	26.10	0.28	6.657	107.08	16.10
K-3-2	26.43	0.40	6.610	73.53	16.13
K-3-3	26.37	0.30	6.637	92.12	16.69
K-4-1	26.32	0.96	6.190	112.46	16.61
K-4-2	26.50	0.29	6.731	112.54	18.36
K-4-3	26.09	0.70	6.235	78.47	17.47
M-1-1	26.46	0.37	6.584	85.24	16.72
M-1-2	26.46	0.49	6.763	110.75	15.99
M-1-3	26.50	0.34	6.614	145.83	16.58
D-1-1	27.55	0.51	7.085	159.36	16.17
D-1-2	27.48	0.54	7.091	193.83	16.26
D-1-3	27.56	0.51	7.074	209.25	16.68

(γ_n : Birim hacim ağırlık, n_a : Görünür gözeneklilik, V_p : Boyuna ses dalgası iletim hızı, TSD: Tek eksenli sıkışma dayanımı, GD: Geniş disk aşınma değeri)

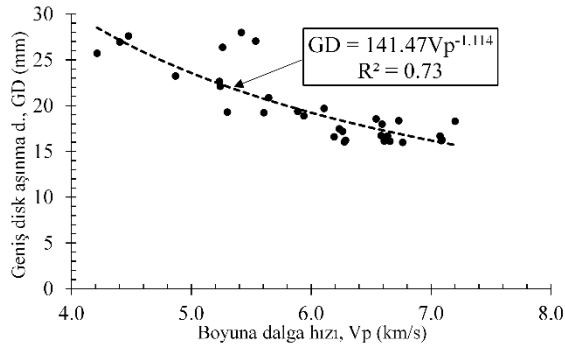
TSD ile GD değerleri arasındaki dağılım incelendiğinde ise dayanım artışı ile GD değerlerinin üstel olarak azaldığı gözlenmiştir (Şekil 9). Deney verileri incelendiğinde γ_n , n_a , V_p ve TSD değerlerinin geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir. Bu durumun, GD değerleri ile diğer deney verileri arasında anlamlı ancak çok yüksek olmayan determinasyon katsayılarının elde edilmesinde büyük etkisinin olduğu söylenebilir.



Şekil 6. Örneklerin birim hacim ağırlığı ile GD değerleri arasındaki ilişki.

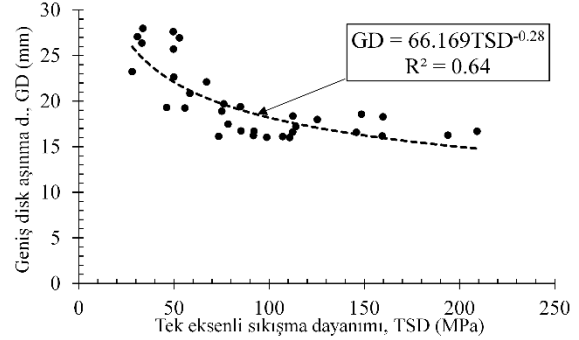


Şekil 7. Örneklerin görünür gözenekliliği ile GD değerlerinin dağılımı.



Şekil 8. Örnekler üzerinde elde edilen GD – V_p değerlerinin ilişkisi.

Basit regresyon analizlerinden elde edilen sonuçlar GD ile diğer değişken parametreler arasındaki ilişkilerin orta-kuvvetli olduğunu göstermektedir. GD aşınma değerinin daha güvenilir bir şekilde tahmin edilebilmesi için Tablo 3’de sunulmuş olan tüm veriler kullanılarak çoklu regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9. Elde edilen TSD değerleri ile GD değerlerinin dağılımı.

Çoklu regresyon analizlerinde öncelikli olarak γ_n ve n_a değerlerinden GD değerlerinin tahmini (Eşitlik 1), daha sonrada γ_n , n_a ve V_p değerlerinden GD değerlerinin tahmini (Eşitlik 2) amaçlanmıştır. Çoklu regresyon analizlerinden elde edilmiş eşitlikler ilgili belirleme katsayıları (R^2) ile aşağıda verilmiştir.

$$GD = 1.12n_a - 0.86\gamma_n + 38.95 \quad (R^2 = 0.74) \quad (1)$$

$$GD = 0.8n_a - 0.57\gamma_n - 1.31V_p + 40.22 \quad (R^2 = 0.74) \quad (2)$$

Çoklu regresyon analizlerinden elde edilen Eşitlik 1 ve 2 ye ait R^2 değerleri, basit regresyon analizlerinden elde edilen R^2 değerleri ile karşılaştırıldığında, Çoklu regresyon analizlerine ait R^2 değerlerinin daha yüksek olduğu ve GD değerlerinin tahmin edilmesinde Eşitlik 1 ve 2 nin kullanılması durumunda daha sağlıklı sonuçlar elde edilebileceğini görmek mümkündür.

Bu çalışmada elde edilen diğer önemli bir bulgu GD cihazının kalibrasyonu için kullanılabilir farklı bir mermer türünün de belirlenmiş olmasıdır. Marini ve diğ. (2011) yaptıkları çalışmada Bolonez mermeri yerine Canaloni mermerinin kullanılabilirliğini önermişlerdir. Bu çalışma kapsamında ise elde edilen aşınma değerleri incelenmiş ve cihaz kalibrasyonu için ülkemizden elde edilebilecek bir kayanın GD cihazının kalibrasyonunda

kullanılabilirliği araştırılmıştır. Denizli Kaklık bölgesinden elde edilmiş ve ortalama % 2 görünür gözenekliliğe sahip T-4 grubu Denizli klasik traverteninin ortalama GD değeri 19.79 mm'dir. Bu değer Bolonez mermerinin aşınma değeri ile aynıdır ve GD aşınma deneyinde Denizli klasik traverteninin de cihaz kalibrasyonunda kullanılabileceğini göstermektedir.

6. Sonuçlar

Bu deneysel çalışma kapsamında, Batı Anadolu'dan çeşitli bölgelerinden derlenmiş olan 11 tür traverten, kireçtaşı, mermer ve dolomit kaya gruplarının GD aşınma değerleri incelenmiştir. Örneklerin birim hacim ağırlık ve görünür gözeneklilik değerleri sırası ile 23.54 – 27.53 kN/m³ ve % 0.33 - % 6.55 arasında değişmektedir. Boyuna dalga hızları ve tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin ise sırası ile 4.213 – 7.201 km/s ile 28.13 – 209.25 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. Geniş disk aşınma değerleri ise 15.99 – 27.99 mm arasındadır. Yapılan çoklu regresyon analizleri sonucunda GD aşınma değerlerinin ekonomik ve pratik yöntemlerden tahmini için denklemler önerilmiştir. Bu çalışma ile ülkemizde kullanımı yaygınlaşmaya başlayan geniş disk aşınma deneyi tanıtılmış ve 11 karbonat kayası için GD aşınma değerleri belirlenmiştir. Daha fazla karbonat kaya türü ve farklı türdeki kayalar üzerinde GD deneyleri yapılarak daha yaygın ilişkilerin geliştirilmesi önerilmektedir. Aşınma ve dayanım gibi mekanik özellikler üzerinde kaya anizotropisinin önemi büyüktür. Bu çalışma kapsamında incelenen örneklerin anizotropik özellikleri dikkate alınmamıştır. Yapılacak sonraki çalışmalarda kaya anizotropisinin aşınma değerleri üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmaların yapılması ayrıca önerilmektedir. Bu çalışmadan ortaya çıkan diğer önemli bir sonuç, Türkiye'deki araştırmacı ve uygulayıcıların GD aletinin kalibrasyonu için Bolonez mermeri yerine Denizli klasik travertenini kullanabilecek olmalarıdır.

7. Kaynaklar

1. EN 14157 (2004). Natural stones - Determination of abrasion resistance. European Standard, 19p.

2. Budinski, K.G., Ives, L.K. (2005). Measuring abrasion resistance with a fixed abrasive loop. *Wear*, **258**, 133–140.
3. Ersoy, A., Büyüksağış, S., Atıcı U. (2005). Wear characteristics of circular diamond saws in the cutting of different hard abrasive rocks. *Wear*, **258 (9)**, 1422–1436.
4. S. Mezlini, S., Kapsa, P., Abry, J.C., Henon, C., Guillemenet J. (2006). Effect of indenter geometry and relationship between abrasive wear and hardness in early stage of repetitive sliding. *Wear*, **260**, 412–421.
5. Yavuz, H., Uğur, İ., Demirdağ, S. (2008). Abrasion resistance of carbonate rocks used in dimension stone industry and correlations between abrasion and rock properties. *Int Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **45**, 260 – 267.
6. Sahlin, T., Starzec, K., Stigh, J., Schouenborg, B. (2001). Physical properties and durability of fresh and impregnated limestone and sandstone from central Sweden used for thin stone flooring and cladding. *9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, 181 – 185.
7. Karaca, Z., Deliormanli, A.H., Elçi, H., Pamukcu, C. (2010). Effect of freeze-thaw process on the abrasion loss value of stones. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **47(7)**, 1207-1211.
8. Çobanoğlu, İ., Çelik, S.B., Alkaya, D. (2010). Correlation between wide wheel abrasion (capon) and Bohme abrasion test results for some carbonate rocks. *Sci Res Essays*, **5 (22)**, 3398-3404.
9. Karaca, Z., Güneş Yılmaz, N., Gökten, R.M. (2012). Considerations on the European Standard EN 14157 Test Methods: Abrasion Resistance of Natural Stones Used for Flooring in Buildings. *Rock Mech Rock Eng*, **45**, 103–111.
10. Çobanoğlu, İ., Çelik, S. B. (2017). Assessments on the usability of Wide Wheel (Capon) test as reference abrasion test method for building stones. *Construction and Building Materials*, **151**, 319–330.
11. EN 1926 (2006). Natural stone test methods - Determination of uniaxial compressive strength. *European Committee for Standardization*, 20p.
12. EN 1936 (2006). Natural stone test methods - Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity. *European Committee for Standardization*, 11p.
13. Anon (1979). Classification of rocks and soils for engineering geological mapping part I: Rock and soil materials. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, **19**, 364-371.
14. Proceq (2014). Pundit lab/Pundit lab+ ultrasonic instrument operating instructions. Proceq SA, 31p.
15. Yaşar, E., Erdoğan, E. (2004). Correlating sound velocity with the density, compressive strength and

- Young's modulus of carbonate rocks. *Int J Rock Mech Min*, **41**, 871–875.
16. Fener, M., Kahraman, S., Bilgil, A., Günaydın, O. (2005). A comparative Evaluation of indirect methods to estimate the compressive strength of rocks. *Rock Mech Rock Eng*, **38** (4), 329-343.
17. Sharma, P.K., Singh, T.N. (2008). A correlation between P-wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength. *B Eng Geol Environ*, **67**(1), 17-22.
18. Altındağ, R. (2012). Correlation between P-wave velocity and some mechanical properties for sedimentary rocks. *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, **112**, 229—237.
19. Karakul., H., Ulusay, R. (2013). Empirical correlations for predicting strength properties of rocks from P-wave velocity under different degrees of saturation. *Rock Mech Rock Eng*, **46**, 981-999.
20. Momeni, E., Nazir, R., Armaghani, D.J., Mohamad, E.T. (2015). Prediction of unconfined compressive strength of rocks: a review paper. *Jurnal Teknologi*, **77**(11), 43—50.
21. Selçuk, L., Nar, A. (2015). Prediction of uniaxial compressive strength of intact rocks using ultrasonic pulse velocity and rebound-hammer number. *Q J Eng Geol Hydroge* **49**(1), 67-75.
22. Madhubabu, N., Singh, P.K., Kainthola, A., Mahanta, B., Tripathy, A., Singh, T.N. (2016). Prediction of compressive strength and elastic modulus of carbonate rocks. *Measurement*, **88**, 202—213.
23. Azimian, A. (2017). Application of statistical methods for predicting uniaxial compressive strength of limestone rocks using nondestructive tests. *Acta Geotechnica*, **12**, 321—333.
24. Marini, P., Bellopede, R., Perino, L., De Regibus, C. (2011). Optimisation of an abrasion resistance test method on natural stones. *Bull Eng Geol Environ*, **70**, 133–138.
25. ISRM (2007). The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. In: Ulusay R, Hudson JA (eds) Suggested methods prepared by the commission on testing methods, ISRM, Compilation arranged by the ISRM Turkish National Group, Ankara, 628p.
26. MacGregor, I.D., Chiu, K.Y. (2000). Porosity and wear resistance in Stone flooring tiles. *J Test Eval*, **28**, 149–54.
27. Kahraman, S., Günaydın O. (2007). Empirical methods to predict the abrasion resistance of rock aggregates. *Bull Eng Geol Environ*, **66**, 449–455.
28. Kahraman, S., Fener, M. (2008). Electrical resistivity measurements to predict abrasion resistance of rock aggregates. *Bull Mater Sci*, **31**(2), 179–184.
29. Yavuz, H., Uğur, İ., Demirdağ, S. (2008). Abrasion resistance of carbonate rocks used in dimension stone industry and correlations between abrasion and rock properties. *Int Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **45**, 260 – 267.
30. Yaralı, O. (2016). Kömür Çevre Kayaçları Dayanım Özelliklerinin Cerchar Aşınma İndeksine Olan Etkileri. *Yerbilimleri*, **37**(2), 179-192.
31. Ureel, S., Momayez, M. (2017). Simple Correlations between Rock Abrasion and Other significant Rock Properties for Rock Mass and Intact Quartzite. *Open Journal of Civil Engineering*, **7**, 194-207.
32. Çelik, S. B., Çobanoğlu, İ., Atatanır, L. (2014). General material properties of Denizli (SW Turkey) travertines as a building stone. *Bull Eng Geol Environ*, **73**, 825-838.

Teğetsel Silindirik Taşlama Yönteminde İşleme Parametrelerinin Titreşim Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması

Çetin ÖZAY¹, Hasan BALLIKAYA², Mehmet ALTUĞ³, Vedat SAVAŞ¹, Mehmet SAĞLAM¹

¹Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, Elazığ Türkiye

²Aksaray Üniversitesi, Bilimsel ve Teknolojik Araştırma ve Uygulama Merkezi, Aksaray, Türkiye

³İnönü Üniversitesi, Malatya Meslek Yüksekokulu, Mak. ve Met. Tek. Böl., Malatya, Türkiye
cozay@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 17.12.2017; Kabul/Accepted: 22.02.2018)

Özet

Bu çalışmada Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılarak sementasyon çeliğinin teğetsel silindirik taşlama yöntemi ile işlenmesinde kesme parametrelerinin titreşim üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Kesme parametreleri olarak talaş derinliği, ilerleme hızı, kesici takım devri ve iş parçası parametrelerinin farklı seviyeleri kullanılmıştır. Ayrıca yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar, Minitab 15 paket programı kullanılarak ANOVA varyans analizi yöntemi ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar teğetsel silindirik taşlama yönteminin geleneksel silindirik taşlama yöntemine benzer sonuçlar verdiği ve daha pratik olduğu, dolayısıyla belirli üstünlükler getirdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Teğetsel Silindirik Taşlama, Titreşim, ANOVA

Investigation Of The Effects Of Processing Parameters On The Vibration Of Tangential Cylindrical Grinding Method

Abstract

In this study, the effect of vibrations parameters on cutting parameters in machining by tangential cylindrical of cementation steel by using Taguchi desing method have been investigated expermentally. Different levels of the dept of cut, feed rate, cutting tool speed and workpiec speed were used as cutting parameters. In addition, results obtained from experimental studies were evaluated statistically by ANOVA variance analysis method using Minitab 15 packet program. The studies have shown that tangential cylindrical grinding results give similar results to the conventional cylindrical grinding method and are more practical and have certain advantages.

Keywords: Tangential Cylindrical Grinding, Vibration, ANOVA

1. Giriş

Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak talaşlı imalat sektöründe de sürekli gelişmeler olmaktadır. Son yıllarda imalat sektöründe artan rekabetle mühendislik açısından önemli olan ürün tasarımı, imalatı, kalitesi ve üretim süresi gibi faktörler üzerinde yeni araştırma ve geliştirme çalışmaları artmıştır. Talaşlı imalatta yüzey kalitesinin artırılması, istenilen tolerans ve ölçü tamlığının sağlanması için taşlama işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Özellikle silindirik taşlama yöntemi büyük bir önem arz etmektedir.

Silindirik taşlama yöntemi torna tezgâhında işlenmiş silindirik veya konik parçalara son şeklini vermek için kullanılan son işlemlerden biridir. Silindirik taşlama tezgâhları imalat sektöründe çok dikkatli kullanılması gereken tezgâhlardan biridir. Bu sebepten dolayı kullanılan taşlama taşlarının taşlanacak malzemeye, işleme geometrisine, istenilen yüzey kalitesine göre seçilmeli, iyi dengelenmesi ve tezgâha dikkatli bir şekilde bağlanması gerekir. Bunu yanı sıra kesme parametreleri de yapılacak işleme uygun seçilmelidir. Bu yöntemde kullanılan kesme parametrelerin başında kesici takım bileşenleri, işlenecek parçanın malzemesi, kesici takım devri, iş parçası devri, talaş

derinliği, ilerleme hızı gibi parametreler gelmektedir.

Genel olarak, malzeme yüzeyinin taşlanması için, birden fazla işlem kombinasyonunun birbirine uyumu gerekecektir. Örneğin; ideal kesme, yanal yer değiştirmeyle oluşan kazıma, iş parçasının hareketi, aşındırıcı taş, iş parçasının elastikliği, titreşim, vb. çok sayıda kontrol edilebilen ve edilemeyen farklı parametreler taşlama işleminde etkili olmaktadır [1,2].

Talaşlı imalat işlemlerinde (tornalama, frezeleme, vb.) üretilen iş parçası kalitesinin artırılması ve maliyetin düşürülmesine yönelik yapılan çalışmalarda kesme kuvvetlerinin tespiti ve analiz edilmesi önemli bir yer tutmaktadır [3,4]. Kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İşleme esnasında taşlama taşının iyi dengelenmemesinden kaynaklı kesme kuvvetlerinde değişkenlik olması ve bunun akabinde tezgâh titreşiminin artması ve yüzey kalitesinin kötüleşmesi muhtemeldir. Titreşim, en genel haliyle bir cismin denge konumu etrafında yaptığı salınım hareketi olarak tarif edilir. Titreşim genellikle istenmeyen bir durumdur. Çünkü makinenin görevini zorlaştıracak, hatta bazı durumlarda rezonans oluşturacak makinenin tahrip olmasına yol açacaktır. Makineler tasarlanırken, titreşime sebep olabilecek iç ve dış kuvvetlerin mümkün olduğu kadar küçük olması istenir. Bu nedenle kesme kuvvetlerinin ve titreşimin talaş kaldırma işlemleri üzerindeki etkisini iyi analiz edebilmek için bu kuvvetlerin daha doğru olarak tespit edilmesi gerekmektedir. Özellikle taşlama işlemi diğer talaşlı imalat işlemlerinden çok daha karışık olduğu için taşlama işlemlerinde kesme kuvvetlerinin deneysel olarak ölçülmesi daha da önem kazanmaktadır [5].

Mühendislik alanlarında yapılacak deneysel çalışmaların özellikle uzun ve pahalı olması durumunda bu deneylerin kısa sürede ve daha ekonomik yapılabilmesi için Taguchi deney tasarımı yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Deneysel çalışmaların yapılmasında deney parametrelerinin ve seviyelerinin belirlenmesi ve deney planının yapılması deneysel çalışmalarının sağlıklı bir şekilde yapılmasını sağlar. Ancak bu çalışmanın yapılmasında bahsedildiği gibi daha az ve kısa sürede yapılması için Taguchi deney

tasarımı yöntemi önemli üstünlükler sağlamaktadır. Deney tasarımı yöntemlerinde birden fazla yöntem vardır. Bu tasarımı yöntemlerinin bir bölümünde çok fazla deney yapmak gerekir ama sonuçlar güvenilir olur, bazılarında ise az deney yapılması avantaj olarak görülse de sonuçların güvenilirlik seviyesinin düşük olması değerlendirme açısından uygun değildir. Taguchi deney tasarımı yöntemi deney tasarımıında Ortogonal dizin kullanarak deney sayısını azaltmakta deneylerde parametre ve seviyelerini eş zamanlı değişmesi ve eşit sayıda değişmesi güvenilirlik seviyesini artırmadadır. Ayrıca kontrol deneylerinin yapılması sonuçların daha da güvenli olmasını sağlamaktadır. Bunun yansısı sonuçların değerlendirilmesinde de önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Bu yöntem seviye bazında optimum sonuç belirlenmesinde S/N oranlarına göre uygun parametre seviyelerini vermekte kontrol edilemeyen parametrelerin etkilerini de minimize etmektedir.

Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılarak yapılan taşlama yöntemi ile ilgili bazı çalışmalar mevcuttur, Bu çalışmalardan ilgili olanları şöyle sıralanabilir.

Hassui ve Diniz AISI 52100 çeliğinin taşlanması taşlama parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Ayrıca oluşan titreşim ile yüzey pürüzlülüğünün arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir [6]. Srivastava, taşlama işleminde kesmenin yanal yer değiştirmeyle oluşan kazıma, iş parçasının hareketi, aşındırıcı taş, iş parçasının elastikliği, titreşim gibi birçok işlemin oluşturduğu bir durum olduğunu belirtmiştir. Bu olayın oluşmasında kontrol edilebilen ve edilemeyen çok sayıda değişik parametrelerin etkili olduğunu belirtmiştir [7]. Brambila ve diğ., silindirik malzemelerde, taşlama işlemi sonucunda otlamanın oluştuğu andaki, otlama olayının meydana geldiği konum ve zamanı grafiksel çıktı olarak bilgi verebilen bir cihaz tasarlamışlardır. Bu çalışmayı taşlama işleminde zaman- frekans analizi olarak isimlendirmişlerdir [8]. Kim, Taşlama yönteminde taşlama taşının geometrisinin, işleme parametreleri, taşlama dinamik özellikleri ve özellikle titreşim karakteristiğinin iş parçası yüzeyi üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olduğunu ifade etmiştir [9]. Yang ve Guo ultra hassas taşlama yönteminde taşlama taşı

titreşiminin iş parçası yüzey kalitesine etkisini araştırmışlardır. Ayrıca taşlama taşının yüzeyini düzgün kabul ederek titreşimin neden olduğu yüzey hatalarını tanımlayan bir matematiksel model oluşturmuşlardır [10]. Zhang ve diğ., Taşlama işleminin dinamik özelliklerini araştırmak amacı ile lineer olmayan dinamik bir matematik modeli geliştirmişlerdir [11]. Prabhu ve Vinayagam, Taguchi yöntemi kullanarak taşlama işleminde nano katkılı ve katkısız soğutma sıvılarının yüzey pürüzlülüğü ve mikro çatlaklar üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deney sonuçlarına uygun bir ampirik bağıntı elde ederek karşılaştırma yapmışlardır, Varyans analizi ile sonuçların uygunluğunu belirlemişlerdir [12]. Külençi AISI 1040 çelik malzemesinin yüzey taşlama yöntemi ile işlenmesinde Taguchi deney tasarım yöntemi kullanarak işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmıştır [13]. Rascalha ve diğerleri puntasız taşlama işleminde Taguchi deney tasarım yöntemi ve yük hücresi kullanarak taş düzeltme işleminin optimizasyonunu incelemişlerdir. Giriş parametreleri olarak düzeltme derinliği düzeltme hızı, taşlama taşı çapı, taş devri, ve ayar çarkı devri olarak seçmişlerdir. Bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğü, yuvarlaklık hataları ve düzeltme kuvveti üzerindeki etkilerini incelemişlerdir [14].

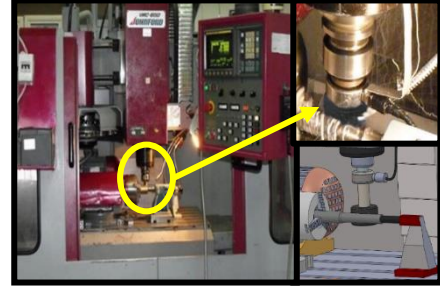
Yapılan bu çalışmada literatürde fazla değinilmeyen yeni bir metot olan teğetsel silindirik taşlama yönteminde kesme parametrelerin kesici takım üzerinde oluşturduğu titreşim deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Yeni bir yöntem olan teğetsel silindirik taşlama deney düzeneğinin tasarlanmasında VMC-850 Johnford dik işleme merkezli tezgâh kullanılmıştır. Dik işleme merkezli freze tezgâhının üzerine ekstra bir düzenek kurularak deney düzeneği hazırlanmıştır. Deney düzeneğinde iş parçasının kendi eksenine etrafında istenilen devirlerde dönmesi için Şekil 1 'de görülen düzenek kurulmuştur. Devir ayarlarının yapılması için Micromaster 440 marka invertör kullanılmıştır. İş parçası ve kesici takım eksenleri silindirik taşlamada olduğu gibi

birbirine paralel değil; İş parçası kesici takıma teğet olarak temas etmektedir.

Kesici takım olarak kullanılan taşlama taşı freze tezgâhında freze takımı gibi rahat bir şekilde sökölüp takılmaktadır. Devir ayarlarının kalibrasyonu Extech Instruments – 461880 marka takometre ve titreşim ölçüm cihazı ile yapılmıştır. İş parçasının koniklik ayarı komparatör yardımı ile yapılmıştır.



Şekil 1. Teğetsel silindirik taşlama deney düzeneği ve titreşim ölçümü

Teğetsel silindirik taşlama deneylerinin yapılması için AISI 8620 sementasyon çeliği $\varnothing 20 \times 60$ mm ebatlarında yapılacak olan deney sayısı kadar testere ile kesildi, İş parçası boyu $L \leq 2D$ oranına göre seçildi. Deney çalışmalarının yapılması için iş parçası bir tarafı aynaya bağlanırken diğer tarafı punta ile desteklendi. Ayna ile punta arasına bağlanan iş parçası belirli devirde döndürüldükten sonra kesici takım belirli bir devirde döndürülerek iş parçası eksenine dik ama iş parçasına teğet olacak şekilde temas ettirildi. Gerekli talaş derinliği verildikten sonra X eksenini yönünde aynaya doğru belirli bir ilerleme hızı ile talaş kaldırma işlemi yapıldı.

Teğetsel silindirik taşlama deneylerinin yapılmasında Üçer Zımpara Taşı San, ve Tic, Ltd, şirketinden temin edilen 44 mm çapında SIOUX K-17 marka taşlama taşı kullanılmıştır. Deneysel çalışmaların tam faktöriyel deneysel tasarım yöntemi ile yapıldığı takdirde çok sayıda deney yapılmasını gerektirmektedir. Bunun sonucu olarak da çok fazla zamana ihtiyaç olduğu ve maliyeti artıracak göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sebepten dolayı deney sayısını azaltan ve maliyeti düşüren Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar için kullanılacak parametre ve seviyeleri Tablo 1 'de verilmiştir.

Tablo 1: AISI 8620 Sementasyon çeliğinin işlenmesinde kullanılan parametreler ve seviyeleri

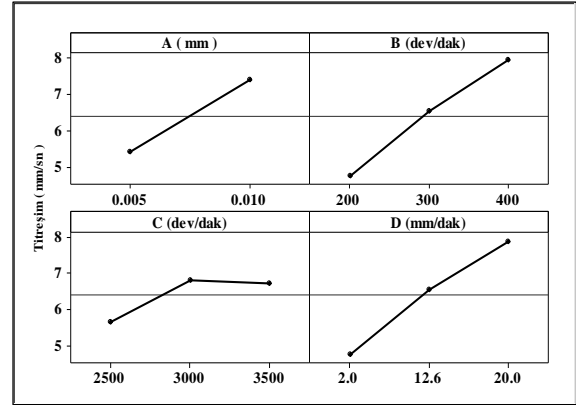
Kesme parametreleri ve seviyeleri					
Kesme par.	Birim	Sembol	Seviyeler		
			S.1	S.2	S.3
Talaş derinliği	mm	A	0,005	0,01	
İş parçası devri	(dev/dak)	B	200	300	400
Taşlama taşı devri	(dev/dak)	C	2500	3000	3500
İlerleme hızı	mm/dak	D	2	12,6	20

3. Sonuçlar

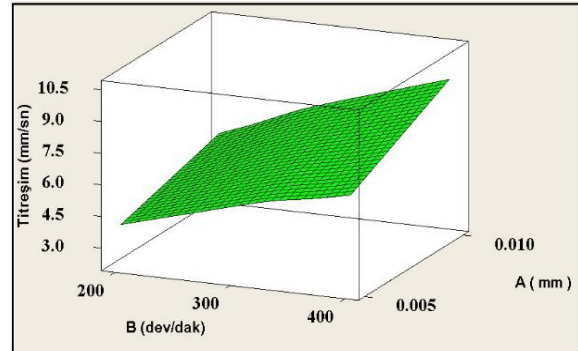
Taguchi deney tasarım tekniği ile belirlenmiş L_{18} ortogonal dizinine göre yapılmış olan deneylerde teğetsel silindirik taşlama yöntemi ile işlenmiş AISI 8620 sementasyon çeliğinden alınan titreşim değerleri Tablo 2 'de gösterilmektedir. Şekil 2'de ise AISI 8620 sementasyon çeliğinin işlenmesinde işleme parametrelerinin titreşim üzerindeki etkileri grafiksel olarak gösterildi.

Tablo 2: AISI 8620 Sementasyon Çeliğinin işlenmesi sonucu elde edilen titreşim oranları

Parametreler ve Seviyeleri				Titreşim (mm/sn)	S/N Oranı
(A)	(B)	(C)	(D)		
0,005	200	2500	2	2,406	-67,625
0,005	200	3000	12,6	4,323	-72,715
0,005	200	3500	20	5,327	-74,529
0,005	300	2500	2	3,306	-70,386
0,005	300	3000	12,6	5,939	-75,474
0,005	300	3500	20	7,318	-77,287
0,005	400	2500	12,6	5,840	-75,328
0,005	400	3000	20	8,920	-79,007
0,005	400	3500	2	5,245	-74,394
0,01	200	2500	20	5,816	-75,292
0,01	200	3000	2	4,309	-72,687
0,01	200	3500	12,6	6,143	-75,767
0,01	300	2500	12,6	6,591	-76,379
0,01	300	3000	20	10,067	-80,058
0,01	300	3500	2	5,919	-75,444
0,01	400	2500	20	9,899	-79,911
0,01	400	3000	2	7,333	-77,305
0,01	400	3500	12,6	10,456	-80,387

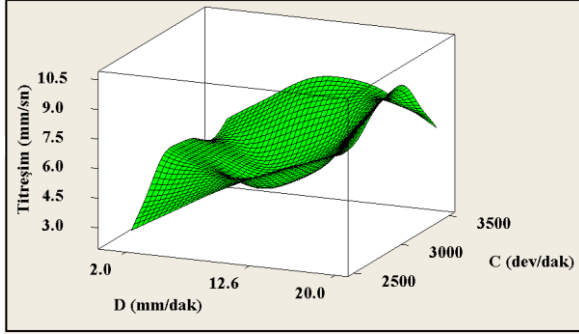
**Şekil 2:** AISI 8620 Sementasyon Çeliği işleme parametrelerinin titreşime olan etkisi

Tablo 2 ve Şekil 2 incelendiğinde talaş derinliğinin ve ilerleme hızı parametrelerinin artması ile titreşim değerinin arttığı görülmektedir. Talaşlı imalat işlemlerinde işleme zamanını azaltmak ve maliyeti düşürmek için ilerleme hızının mümkün olduğu kadar yüksek olması istenir. Genellikle ilerlemenin artması ile titreşim değeri artar. Sementasyon çeliğinin teğetsel silindirik taşlama yöntemi ile işlenmesinde talaş derinliğinin ve ilerleme hızının artması ile kesme kuvvetlerinin arttığı ve buna bağlı olarak da titreşim artacağı söylenebilir. Talaş kaldırma olayında titreşim artması yüzey pürüzlülüğünün kötüleşeceği anlamına gelmektedir.

**Şekil 3:** AISI 8620 Sementasyon Çeliğinin işlenmesinde taşlama taşı devri ve talaş derinliği parametrelerinin titreşime olan etkisi

Ayrıca iş parçası devri ve kesici takım devrinin artması ile titreşimin arttığı görülmektedir. İş parçası devrinin artması ile homojen olmayan bir yapıya sahip iş parçasının merkez kaç kuvvetini arttırdığı ve bunun titreşime sebep olduğu söylenebilir. Benzer

şekilde kesici takım devri içinde aynı ifadeler söylenebilir.



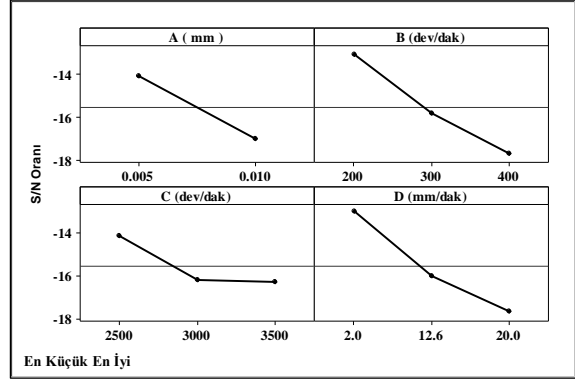
Şekil 4: AISI 8620 Sementasyon Çeliğinin işlenmesinde aksel ilerleme ve taş devri parametrelerinin titreşime olan etkisi

Tablo 3'te AISI 8620 Sementasyon çeliğinin işlenmesinde elde edilen titreşim değerlerine karşılık gelen S/N oranları verildi. S/N oranları titreşim değerleri için "En küçük en iyi", performans karakteristiğine göre belirlenmiştir. Bu tabloda işleme parametrelerinin optimum seviyeleri (^a) ile gösterilmiştir.

Tablo 3, AISI 8620 Sementasyon çeliğinin işlenmesinde titreşim için her bir seviyedeki faktörlerin etkisi (S/N oranı)

İşleme Parametreleri	Ortalama S/N oranı (dB)			
	Sembol	Seviye1	Seviye2	Seviye3
Talaş Derinliği (mm)	A	-74,08 ^a	-77,03	
İş Parçası Devri (dev/dak)	B	-73,10 ^a	-75,84	-77,72
Taşıma Taşı Devri (dev/dak)	C	-74,15 ^a	-76,21	-76,30
Eksenel İlerleme Hızı (mm/dak)	D	-72,97 ^a	-76,01	-77,68

Şekil 5'de teğetsel silindirik taşıma işleminde işleme parametrelerinin S/N oranı üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekil 5'deki grafik incelendiğinde işleme parametrelerinin optimum seviyeleri, S/N oranlarının en yüksek olduğu seviyelerdir. Parametrelerin en büyük S/N oranlarının A1B1C1D1 seviyelerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 5: AISI 8620 Sementasyon çeliğinin işlenmesinde işleme parametrelerinin S/N oranına etkisi

3.1. Optimum değeri belirlenmesi ve kontrol testleri

İşlem parametrelerinin optimum seviyesi seçildikten sonra, son adım, işlem parametrelerinin optimal seviyesini kullanarak performans karakteristiğinin iyileştirilmesini öngörmek ve doğrulamaktır.

İşlem parametrelerinin optimal seviyesini kullanarak tahmini S / N oranı Optimum η değeri tespit edilir. Aşağıdaki denklem kullanılarak optimum S/N Oranı hesaplanabilir

$$\text{Optimum } \eta = \eta_m + \sum_{i=1}^j (\eta_i - \eta_m)$$

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda optimal seviyeler A1B1C1D1 olarak belirlendi. Optimal seviyelerdeki S/N oranları kullanılarak S / N oranı Optimum η , -7,650 olarak tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalarda ise optimal seviyelere karşılık gelen S/N oranının -7,625 olduğu hesaplandı.

Tablo 4'de AISI 8620 Sementasyon çeliğinin işlenmesinde elde edilen titreşim değerlerinin varyans analizi ile değerlendirilmesi sonucu elde edilen değerler verilmiştir. Ayrıca Tablo 4'de varyans analize göre elde edilen kesme parametrelerinin titreşim üzerindeki etkileri yüzde olarak gösterilmiş ve hata payı ortaya konulmuştur. Bu değerler incelendiğinde titreşim değerleri üzerinde bütün parametrelerin belirli bir değerde etkili olduğu ancak; en fazla aksel ilerleme parametresinin titreşime etki yaptığı söylenebilir.

Tablo 4. AISI 8620 Sementasyon çeliğinin işlenmesinde elde edilen titreşim değerlerinin ANOVA analizi

İşleme Par.	Ser. Der. (v)	Kar. Top. (SSa)	Varyans	F Değeri	% Dağılım
Talaş Derinliği (A)	1	38,968	38,96823	34674,74	20,53
İş Parçası Devri (B)	2	64,740	32,37027	28803,74	34,12
Kesici Takım Devri (C)	2	17,685	8,84277	7868,481	9,320
İlerleme Hızı (D)	2	68,323	34,16159	30397,7	36,009
Hata	10	0,0112	0,001124	-	0,01007
Toplam	17	189,72			

Sonuç olarak yapılan deneysel çalışmalarda teğetsel silindirik taşlama yönteminde kesme parametrelerinin taşlama işlemine benzer sonuçlar verdiği görülmektedir [15]. Yapılan çalışma klasik silindirik taşlama yönteminde kullanılan büyük çaplı taşlar yerine daha küçük taşların kullanılmasına imkân vermektedir. Bunun yanı sıra büyük çaplı taşların bağlanması ve kullanılmasındaki sakıncalar minimize edilmektedir. Ayrıca tornalama-frezeleme tezgâhı üzerinde taşlama işlemine de imkân sağlamaktadır.

4. Tartışma

Bu çalışmada AISI 8620 sementasyon çeliğinin teğetsel silindirik taşlama yöntemi ile işlenmesinde titreşim değerleri önceden belirlenen kesici takım devri, ilerleme hızı, iş parçası devri ve talaş derinliği değiştirilerek incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Minitab 15 paket programı yardımı ile S/N oranlarına dönüştürülmüş optimum kesme parametre seviyeleri belirlenmiştir. Ayrıca Anova varyans analizi ile parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkileri istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar ve incelemeler neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- ✓ AISI 8620 Sementasyon Çeliğinin teğetsel silindirik taşlama yöntemi ile işlenmesinde iş parçası devri ve taş devrinin artması ile titreşim değerinin arttığı tespit edildi. En

düşük titreşim değerinin birinci seviyesinde çıktığı görüldü.

- ✓ AISI 8620 Sementasyon Çeliğinin işlenmesinde talaş derinliği ve eksenel ilerleme hızının artması ile titreşim değerinin arttığı görüldü. En uygun seviyelerin birinci seviyeler olduğu tespit edildi.
- ✓ Optimum titreşim değerlerinin A1B1C1D1 seviyelerinde elde edildi. Varyans analizi ile de parametrelerin titreşim üzerindeki etkileri % oranı olarak belirlendi. Titreşim üzerinde en fazla eksenel ilerleme hızının etkili olduğu belirlendi.
- ✓ Genel olarak AISI 8620 Sementasyon Çeliğinin işlenmesinde yapılan deneysel çalışmalar ve istatistiksel analizler sonucunda kesme parametrelerinin titreşim üzerinde belirli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kaynaklar

1. Kalpakjian. S. (1991). Manufacturing proces for engineering materials, *Addison-Wesley*, New York, 120-121,
2. Güllü, A. (1995). Silindirik taşlamada istenen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için taşlama parametrelerinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,
3. Şeker, U., Kurt, A., Çifçi, İ., (2002). Desing and construction of a dynamometer for measvremnt of cutting forces during machining with linear motion, *Materials and Desing*, 23:355-360,
4. Günay, M, (2003), Talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım talaş açısının kesme kuvvetlerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 40-49*,
5. Demir, H., ve Güllü, A., (2001). Taşlama parametrelerinin taşlama kalitesine etkilerinin incelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7: 189-198,
6. A, Hassui., A. E. Diniz, (2003). Correlating surface roughness and vibration on plunge cylindrical grinding of steel, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 43, 855-862,
7. Srivastava A, K., Yuen K. M., and Elbestawi M, A., (1992). Surface Finish İn Robotic Disk Grinding, *Int,J, Tools Manufact*, 32 (3), 297-279,
8. Brambila O,G., Rubio E., Jauregui J.C., and Ruiz G,H., (2006). Chattering Detection İn

- Cylindrical Grinding Processes Using The Wavelet Transform, *International Journal Of Machine Tools & Manufacture*, **46 (15)**, 1934–193,
9. Kim, J., Lee D., Lee,K., (2005). The effects of dynamic characteristics on the surface texture in mirror grinding, *Int J AdvManuf Technol* **27**: 274–280
 10. Yang XF., Guo Y.B., (2005) Study on the micro-vibration test system in ultra precision aspheric surface grinding, *J Fuzhou Univ (Natur Sci)* **33(4)**: 491–495
 11. Zhang, N., Kirpitchenko, I., Liu, D.K., (2005). Dynamic model of the grinding process , *J Sound Vib* **280**: 425–432
 12. Prabhu, S., Vinayagam, B. K., (2012). AFM investigation in grinding process with nanofluids using Taguchi analysis, *Int J Adv Manuf Technol*, **60**: 149–160
 13. Külekci, M. K., (2013). Analysis Of Process Parameters for a Surface-Grinding Process Based on The Taguchi Method, *Materiali in tehnologije / Materials and technology* **47 (1)**: 105–109.
 14. Rascalha, A., Brandão, L. C., Filho,S. L. M. R., (2005), The effects of dynamic characteristics on the surface texture in mirror grinding , *Int J Adv Manuf Technol* **27**: 274–280.
 15. Adıyaman, O., (2016). İkincil Dönel Eksenli İle Klasik Düzlem Yüzey Taşlama Mekanizmasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel İncelenmesi, *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, **11(1)**: 10-23.

Mn/Ni katkılı Nanoyapılı ZnO Yarıiletken İnce Filmlerin Yüzey Morfolojileri, Optik Sabitleri ve Dispersiyon Enerji Parametreleri

Cihat AYDIN

Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 23119 ELAZIĞ
caydin@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 25.11.2017; Kabul/Accepted: 22.02.2018)

Özet

Sol-jel Spin-Coating tekniği ile hazırlanan nano yapılı yarı iletken ZnO ince filmlerin optik sabitleri ve dispersiyon enerji parametreleri optik karakterizasyon yöntemi kullanılarak belirlendi. ZnO ince filmlerinin yasak enerji aralığı 3,08-3,25 eV arasında bulunmuştur. ZnO ince filmlerinin kırılma indisi dağılımı, tek salınım modeline uymaktadır. ZnO ince filmlerin dispersiyon enerjisi ve osilatör enerji değerleri sırasıyla 6,46-9,85 eV ve 4,82-5,54 eV aralığında bulundu. ZnO ince filmlerinin dielektrik sabitinin reel ve sanal kısımları belirlendi. ZnO ince filmler için ϵ_2 eğrileri bir pik vermektedir ve bu pik, elektronların valans bandından iletim bandına foto uyarılmasından kaynaklanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: ZnO İnce Filmler, Yarıiletken, Optik Sabitler, Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM).

Surface Morphologies, Optical Constants and Dispersion Energy Parameters of Mn/Ni doped Nanostructured ZnO Semiconductor Thin Films

Abstract

Optical constants and dispersion energy parameters of ZnO thin films single crystal semiconductor grown by spin-coating were determined using optical characterization method. The optical band gap of the ZnO thin films was found to be in the range of 3,08-3,25 eV. The refractive index dispersion of the ZnO thin films obeys the single oscillator model. The dispersion energy and oscillator energy values of the ZnO thin films were found to be in the range of 6,46-9,85 eV and 4,82-5,54 eV, respectively. The real and imaginary parts of the dielectric constant of the ZnO thin films were determined. The plot of ϵ_2 for the ZnO thin films gives a peak and the presence of this peak is due to photoexcitation process, in which the electrons are excited from valence band to conduction band.

Keywords: ZnO Thin Films, Semiconductor, Optical Constants, Atomic Force Microscope (AFM).

1. Giriş

ZnO geniş bant aralığına sahip bir yarı iletkenidir (oda sıcaklığında 3,3eV) [1-3]. Piezoelektriklik, kimyasal kararlılık, biyo uyumluluk, görünür bölgedeki optik geçirgenlik, yüksek gerilim-doğrusal olmayan akım gibi üstün ve farklı özellikleri sayesinde malzemeler arasında eşsiz bir konuma sahiptir [4-6]. Bu özelliğinden dolayı bilimsel olarak üzerinde en çok çalışılan malzemelerden biridir. Elektronik cihazlarda, optoelektronik devrelerde ve bilgi teknolojisinde şeffaf elektrotlar, güneş pilleri, gaz sensörleri, fotodiyotlar, transistörler, varistörler, fotodedektörler ve yüzey akustik

dalga aygıtları gibi pek çok potansiyel kullanımı vardır [7-11].

Günümüz teknolojisinde yüksek kalitede ince filmler üretmek için çeşitli fiziksel ve kimyasal teknikler kullanılmaktadır. Bunlara; kimyasal buhar biriktirme (CVD), püskürtme ile kaplama, lazer destekli kaplama (PLD), sprey piroliz (SPD) ve sol-jel teknikleri örnek olarak verilebilir [1-14]. Teknolojik uygulamalar için ZnO ince filmlerinin kaplanmasına olanak sağlayan bu tekniklerden en kolay uygulanabilir ve en düşük maliyetli olanı ise sol-jel tekniğidir [15-20]. Bu teknikle, parametre sayısının fazla olmasından dolayı istenilen türde ince film elde etmek mümkündür.

Bu çalışmada pek çok avantajından dolayı sol-jel metodu kullanılarak homojen çözeltiler hazırlandı ve cam altlıklar üzerine eşit şartlarda kaplandı. Saf çinko oksit çözeltisi içerisine katılan eşit hacimdeki Mn ve Ni çözeltilerinin hazırlanan ince filmlerin yapısal karakterizasyonunu, yüzey morfolojilerini ve optik özelliklerini hangi ölçüde değiştirdiği ve ne tür etkileri olduğu araştırıldı. Mn ve Ni katkılı ZnO nano yapıları bu çalışmada başarılı bir şekilde sentezlenmiş ve spin coater kaplama yöntemi kullanılarak cam altlıkların yüzeyinde homojen bir fiber ağı tabakası oluşturulmuştur. Bu yöntem mikro ölçekte yeni pek çok elektronik aygıt tasarım ve imalatında kullanılabilir. Karıştırılan çözeltilerin hacimleri, oranları veya konsantrasyonları değiştirilerek çinko oksit mikroyapı parametreleri kontrol edilebilir. Bu sebepten dolayı mikroyapı ve optiksel özelliklerdeki değişimlerin farklı hacimlerde yapılan karıştırma işleminin bir sonucu olduğu kabul edildi.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. İnce Filmlerin Hazırlanması

Katkısız ve farklı molarlarda, eşit hacimlerde, mangan-nikel karışımlarıyla katılan çözeltiler sol-jel prosesi kullanılarak hazırlandı. Cam altlıklar üzerine spin coater tekniği ile kaplandı. Başlangıç maddesi olarak Çinko Asetat ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$), Nikel (II) Asetat Tetrahidrat ($C_4H_6NiO_4 \cdot 4H_2O$) ve Mangan (II) Asetat Tetrahidrat ($C_4H_6MnO_4 \cdot 4H_2O$) kullanıldı. Çözücü olarak 2-metoksetanol, stabilizatör olarak da monoetanolin (MEA) kullanıldı. Her bir başlangıç malzemesinden 5M, 10 ml (0,005 mol) olacak şekilde 3 ayrı çözelti için madde miktarı hesaplandı. Çözücü içerisine katılan toz 10 dakika manyetik karıştırıcıda karıştırıldı. Ardından stabilizatör olarak monoetanolin (MEA) eklenip tekrar 10 dakika karıştırıldı. Hazırlanmak istenen çözelti karışımları Saf ZnO, 8ml ZnO+1 ml Ni+1 ml Mn, 8,5ml ZnO+0,75 ml Ni+0,75 ml Mn, 9ml ZnO+0,5 ml Ni+0,5 ml Mn, 9,5ml ZnO+0,25 ml Ni+0,25 ml Mn şeklinde hacimce ölçülerek ayrı kaplara koyuldu. Tüm çözeltiler 60 ° C'de 1 saat manyetik karıştırıcıda homojenliği elde etmek

için karıştırıldı. Karıştırmanın ardından çözeltiyi yaşlandırmak amacıyla 72 saat dinlendirildi. Cam altlıklar ultrasonik banyo kullanılarak sırasıyla aseton, metil alkol ve deiyonize su ile 10 dakika boyunca temizlendi. Azot gazı ile temizlenen altlıkların yüzeyleri kurutuldu. Kaplama çözeltileri temizlenen altlıkların üzerine damlatıldı. Spin coater vasıtasıyla 1000 rpm hızda 30 saniye boyunca döndürüldü. Kaplama işleminden sonra çözücünün buharlaşması ve organik kirliliklerin uzaklaşması için altlıklar önceden ısıtılmış 150 ° C'deki ısıtıcı üzerinde 5 dakika kurutuldu. Bu işlem 5 kez tekrarlandı. Kurutma işleminden sonra altlıklar hava atmosferinde, bir tüp fırın içerisinde 500 ° C'de 1 saat tavlandı.

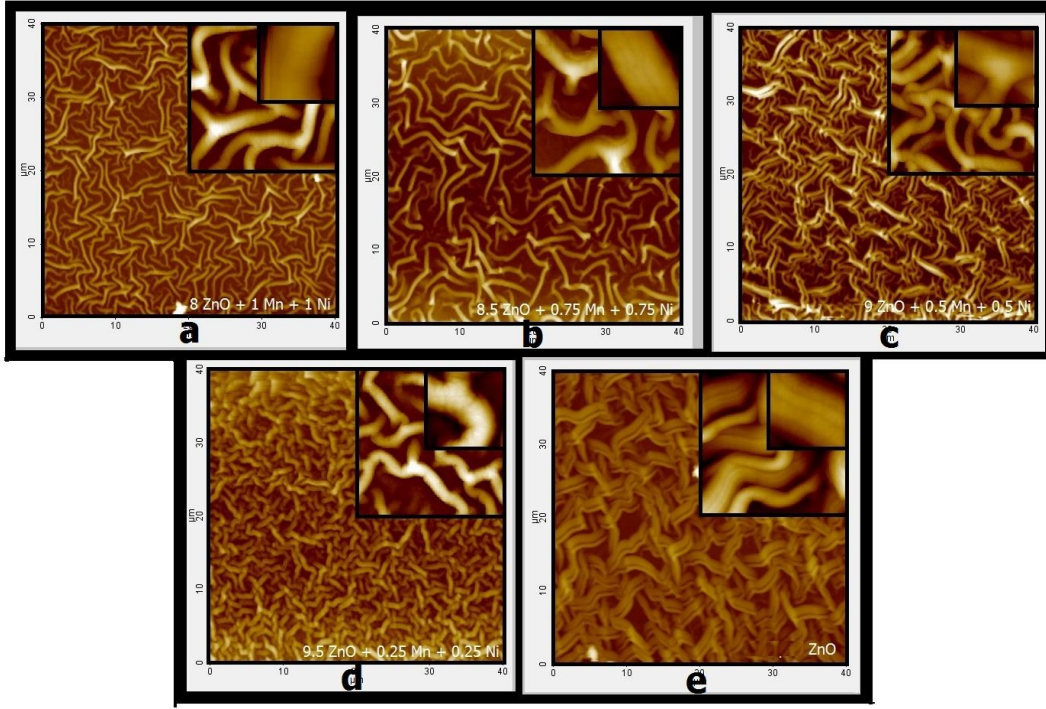
2.2. Karakterizasyon Teknikleri

Hazırlanan filmlerin yüzey morfolojisi Atomik kuvvet mikroskobu (AFM Park System XE-100E) ile incelendi. Filmlerin soğurma $T(\lambda)$, yansımaya $R(\lambda)$ ve geçirgenlik $A(\lambda)$ ölçümleri Shimadzu UV-VIS-NIR 3600 model spektrofotometre ile 200–1000 nm dalga boyu aralığında alındı. Tüm ölçümler oda sıcaklığında yapıldı.

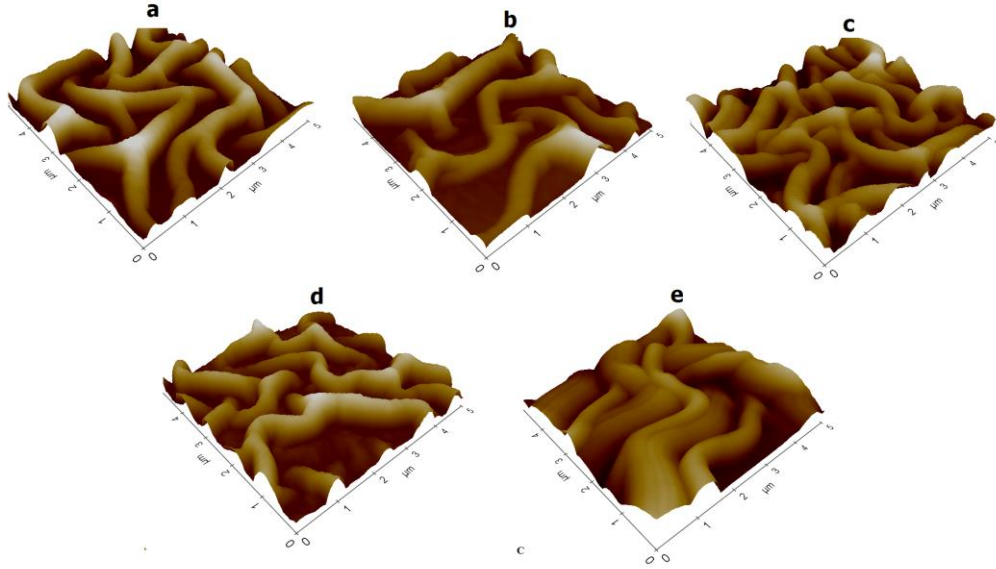
3. Sonuçlar

3.1. Hazırlanan Nanoyapılı İnce Filmlerin Morfolojik Karakterizasyonu

Nanoyapılı ince filmlerin yüzey morfolojisi ve tane boyutu analizleri Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ile karakterize edildi. Elde edilen katkısız ve farklı molar oranlarında eşit miktarda Mn ve Ni ile katkılandırılmış ZnO ince filmlerin 2 boyutlu ($40 \mu m \times 40 \mu m$), ($5 \mu m \times 5 \mu m$) ve ($1 \mu m \times 1 \mu m$) ile 3 boyutlu ($5 \mu m \times 5 \mu m$) AFM görüntüleri Şekil 1'de görülmektedir. Elde edilen görüntülerin PARK SYSTEM XE1 yazılım programı kullanılarak analiz edilmesi sonucu, tüm numuneler için hesaplanan fiber kalınlıkları (D_f), fiberleri oluşturan tane boyutları (D_t) ve yüzey pürüzlülüğü (R_q) değerleri Tablo 1'de listelenmiştir.



Şekil 1. Hazırlanan nano yapılı ince filmlere ait 2 boyutlu ($40\mu\text{x}40\mu$, $5\mu\text{x}5\mu$ ve $1\mu\text{x}1\mu$) AFM yüzey görüntüleri
a) 8ml ZnO+1 ml Ni+1 ml Mn b) 8,5ml ZnO+0,75 ml Ni+0,75 ml Mn c) 9ml ZnO+0,5 ml Ni+0,5 ml Mn
d) 9,5ml ZnO+0,25 ml Ni+0,25 ml Mn e) 10 ml (saf) ZnO



Şekil 2. Hazırlanan nano yapılı ince filmlere ait 3 boyutlu ($40\mu\text{x}40\mu$, $5\mu\text{x}5\mu$ ve $1\mu\text{x}1\mu$) AFM yüzey görüntüleri
a) 8ml ZnO+1 ml Ni+1 ml Mn b) 8,5ml ZnO+0,75 ml Ni+0,75 ml Mn c) 9ml ZnO+0,5 ml Ni+0,5 ml Mn
d) 9,5ml ZnO+0,25 ml Ni+0,25 ml Mn e) 10 ml (saf) ZnO

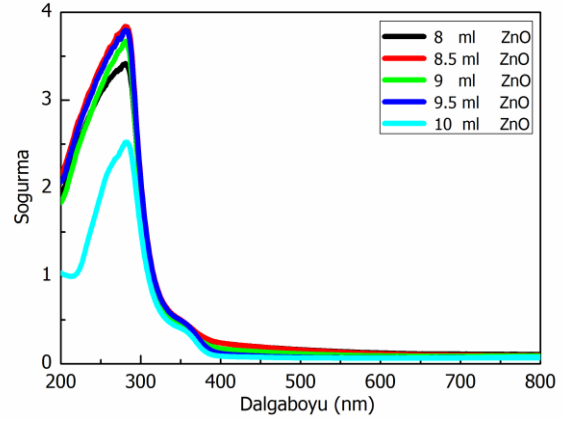
Filmlerin AFM görüntülerinden, numunelerin tamamının nanoparçacıklardan oluşan mikro fiber şeklinde bir morfolojiye sahip olduğu görülmektedir. Numuneyi oluşturan fiber kalınlıkları 0,625 ile 1,302 μm aralığında değişmektedir. Numunedeki ZnO oranına bağlı olarak fiber kalınlığı lineer olarak artmaktadır. ZnO esaslı fiberlerin alt tabaka üzerindeki dağılımı numuneyi oluşturan çözeltilerin molar oranına bağlı olarak değişmektedir. Bu dağılım, yüzey pürüzlülüğünde de bir değişikliğe neden olmaktadır. Katkısız ve Mn-Ni katkılı ZnO ince filmlerdeki mikrofiberleri oluşturan tanelerin boyutu, değişen kimyasal bileşim ile lineer olmayan bir değişim göstermektedir. En düşük tane boyutu, 9 ml ZnO numunesinde gözlemlenirken, en büyük tane boyutuna da 9,5 ml ZnO bileşimine sahip numunede rastlanılmıştır. Tane boyutlarındaki bu değişiklikler, ZnO çözeltisi içerisine eşit miktarda ve farklı oranlarda ilave edilen Mn ve Ni atomlarının ZnO' in yapısı içerisine dahil olduğu göstermektedir. Numuneler için ölçülen farklı tarama alanlarına ait yüzey pürüzlülüğü, fiberler ve fiberleri oluşturan tanelerin boyutları Tablo 1' de gösterilmektedir. Tablo 1 incelendiğinde, katkısız ZnO filminin yüzey pürüzlülük değerinin Mn ve Ni elementlerinin yapıya girmesiyle birlikte artışı dikkat çekmektedir. Bu durum yüzeyde oluşan tanelerin boyutlarının ve yüksekliklerinin Mn-Ni katkısı ile artmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca katkılı numunelerin film yüzeylerindeki tane boşluklarının daha fazla olması, tanelerin yüzeye yükselti olarak homojen dağılmaması ve tanelerin sıkı paketlenmeden oluşması pürüzlülük değerlerinin artmasına sebep olabilir.

Tablo 1. Numunelere ait yüzey morfolojisi değerleri

Numune Adı	Yüzey Pürüzlülüğü (nm)	Boyut	
		Fiber (μm)	Tane (nm)
8ml ZnO	73,95	0,625	42,085
8,5ml ZnO	152,482	0,833	44,204
9ml ZnO	54,682	0,938	41,537
9,5ml ZnO	67,011	1,25	47,232
10 ml ZnO (saf)	40,2	1,302	44,037

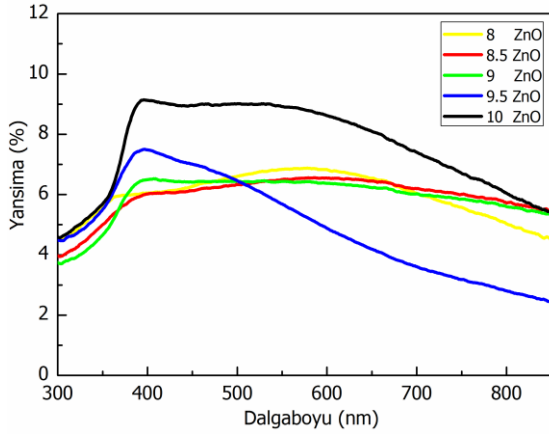
3.2. Katkısız ve Katkılı Nanoyapılı İnce Filmlerin Optik Özellikleri

Üretilen filmlerin optik özellikleri, oda sıcaklığında elde edilen soğurma (T), yansımaya (R) ve geçirgenlik spektrumları yardımıyla karakterize edilmiş ve bu eğriler sırasıyla Şekil 3., Şekil 4. ve Şekil 5.'te gösterilmiştir.



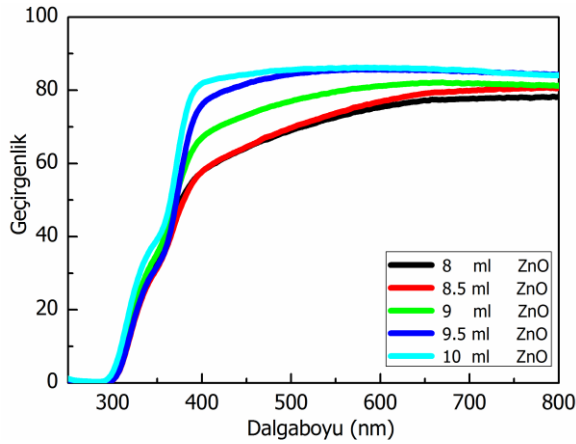
Şekil 3. Numunelere ait soğurma spektrumları

Şekil 3'te farklı Mn-Ni konsantrasyonlarındaki ZnO esaslı ince filmlerin 200-800 nm dalga boyu aralığında kaydedilen soğurma spektrumu sergilenmektedir. Numunelerin yüksek şeffaflığa sahip olmasından dolayı görünür bölgedeki ortalama soğurma, yaklaşık % 2 ile 4 aralığındadır. Katkısız ZnO numunesinde bu aralıktaki diğer tüm filmlerden daha düşük soğurma görülmekte ve ortalama değeri yaklaşık % 2,4 olarak gözlemlenmektedir. Katkısız ZnO için düşük soğurma değerinin, diğer numunelere göre film kalınlığının yüksek olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Genel olarak ince filmlerin düşük soğurma yüzdelilerinin, film kalınlığından kaynaklandığı iyi bilinmektedir.



Şekil 4. Numunelerin yansımaya grafikleri

ZnO esaslı nano yapıları ince filmlere ait yansımaya eğrileri Şekil 4 te verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde, saf ZnO çözeltisiyle hazırlanan numunenin diğer dört numuneden daha yüksek yansımaya spektrumu sergilediği açıkça göze çarpmaktadır. Ayrıca, yansımaya grafiklerinden, Mn ve Ni katkıları ZnO filmlerin tamamı için de yansımaya spektrumlarının, 200-800 nm dalga boyları aralığında yansımaya değerini düşürdüğü, ve yansımaya oranlarında lineer olmayan değişikliklere sebep olduğu fikrine varılmaktadır.



Şekil 5. Numunelerin geçirgenlik grafikleri

Numunelere ait geçirgenlik eğrileri Şekil 5 görülmektedir. Şekil 5 incelendiğinde, Mn ve Ni çözeltilerinin ilavesi ile filmlerin kalınlıklarının artması, filmlerde geçen ışığın şiddetini azaltır ve optik yoğunluk değerlerinin artmasına neden olur. Bu durum katkıları filmlerin geçirgenlik değerlerinin azalmasına bir sebebi olabilir.

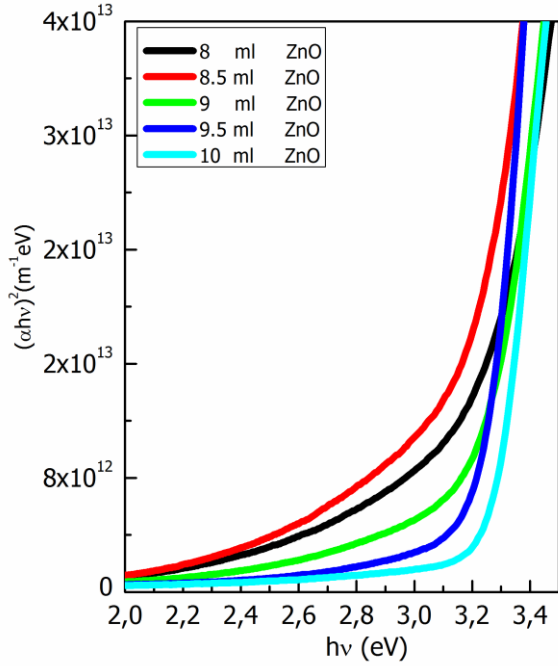
3.2.1.Filmlerin Yasak Enerji Aralığının Belirlenmesi

Yarıiletken malzemelerin optik ölçüm sonuçlarından faydalanılarak belirlenen diğer bir parametre ise yasak enerji aralığıdır. Yarıiletkenlerin yasak enerji aralığının direkt olarak belirlenmesinde belkide en basit yöntem temel soğurma spektrumundan faydalanarak optik metodu kullanmaktır. Enerjisi bilinen bir foton tarafından valans bandından iletim bandına uyarılması olarak bilinen ve soğurmanın keskin bir artış gösterdiği bölge temel soğurma bölgesi olarak tanımlanır. Temel soğurma sınırında yarıiletkenlerde doğrudan band geçişi ve dolaylı band geçişi olmak üzere iki tür geçiş olayı meydana gelebilir.

Yarıiletkenlerin yasak enerji aralıklarının belirlenmesinde kullanılan optik metot aynı zamanda optik geçişler hakkında da bilgi verir. Bu metotta yarıiletken malzemenin yasak enerji aralığı, temel soğurma spektrumu kullanılarak çizilen $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiğinden belirlenir. Bu değişimin lineer kısmının doğrultusunun $h\nu$ eksenini $(\alpha h\nu)^2=0$ 'da kestiği noktanın enerji değeri, yarıiletkenin yasak enerji aralığını vermektedir. Yasak enerji aralığının hesaplanmasında [21-29]:

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^m$$

formülü kullanılmıştır. Burada, α ; soğurma katsayısı, $h\nu$; foton enerjisi, E_g ; Yasak Enerji Aralığı, $n=1/2$ (direkt geçişler için) ve A ; sabittir. m değeri 2 ise materyal dolaylı band aralığına, eğer $1/2$ ise materyal doğrudan band aralığına sahiptir. Elde edilen grafiklerde m yerine $1/2$ konulduğunda en iyi lineerlik belirlenmiştir. Böylece yarıiletken ince film numunelerin doğrudan band geçişine sahip oldukları belirlenmiştir. Üretilen katkısız ve katkıları ZnO nano yapıları ince filmlerin yasak enerji aralığını belirlemek için $(\alpha h\nu)^2$ 'nin $h\nu$ 'ye karşı çizilen grafikleri Şekil 6' da gösterilmiştir. Şekil 6 daki eğrilerin yardımıyla numunelerin yasak enerji aralıkları belirlenmiş ve Tablo 2' de gösterilmiştir. Hesaplanan yasak enerji aralıklarının Mn ve Ni katkıları ile düştüğü görülmüştür.



Şekil 6. Numunelerin $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafikleri

Tablo 2. Filmlerin optik parametreleri

Numune Adı	E_g (eV)	E_o (eV)	E_d (eV)
8 ml ZnO	3,11	5,43	8,63
8.5 ml ZnO	3,08	5,54	8,88
9 ml ZnO	3,15	5,25	8,02
9.5 ml ZnO	3,21	4,82	6,46
10 ml (saf) ZnO	3,25	5,02	9,85

3.2.2. Numunelerin Kırılma İndislerinin Belirlenmesi ve Dielektrik Sabitleri

Yarı iletken malzemelerin kırılma indisi ve dielektrik özelliklerinin belirlenmesi, malzemenin optik özelliklerinden faydalanılarak uygun kullanım alanının belirlenmesinde, cihaz tasarımında ve doğru modellemesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Sol-jel tekniği ile üretilen nano yapıları ince filmlerin n ve k değerleri, geçirgenlik ve yansımaya spektrumlarından belirlenmiştir. ZnO esaslı ince filmlerin kompleks kırılma indisi aşağıdaki ilişki ile ifade edilebilir [30]:

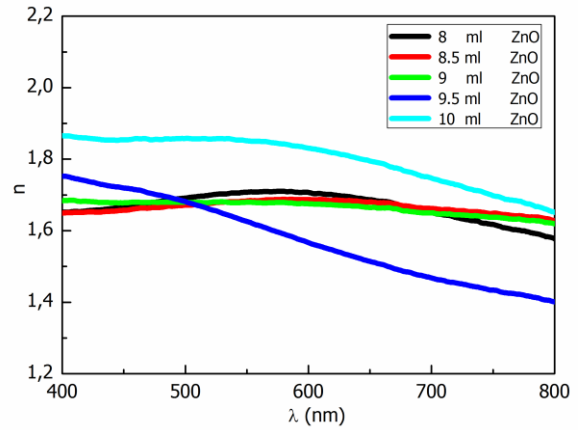
$$\hat{n} = n(\lambda) + ik(\lambda)$$

Burada, n ; kırılma indisi, k ise sönüm katsayısıdır. Numunelere ait yansımaya değerleri yardımıyla, kırılma indisini (n) hesaplamak için Fresnel formülü olarak adlandırılan aşağıdaki formül kullanılır [31]:

$$n(\lambda) = \frac{(1 + R(\lambda)) + \sqrt{4R(\lambda) - (1 - R(\lambda))^2 k(\lambda)^2}}{1 - R(\lambda)}$$

Fresnel formülü yardımıyla hesaplanan n ve k değerlerinin dalgaboyu ile değişimleri Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmektedir.

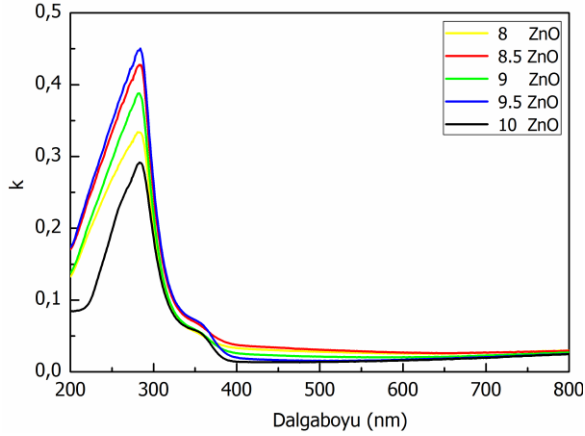
Filmlerin elde edilen kırılma indislerine göre çizilen $n-\lambda$ grafikleri Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu grafikten görüldüğü gibi genel olarak artan dalga boyu ile kırılma indisi değeri azalmaktadır. En yüksek kırılma indisi değerine katkısız ZnO numunesinin sahip olduğu görülmektedir. İlave edilen Mn ve Ni katkısı kırılma indisi değerlerinin düşmesine sebep olmuştur. Bu düşüşün nedeni katkı maddeleri ile numunelerin kimyasal bileşiminin değişmesi sonucunda taşıyıcı konsantrasyonundaki artışa veya katkılanan elementlerin ZnO bünyesindeki elektronların kutuplanma kabiliyetini düşürmesine atfedilebilir.



Şekil 7. Katkısız ve Mn-Ni katkılı ince filmlere ait kırılma indisinin dalga boyu ile değişimi

Şekil 8' de katkısız ve farklı oranlarda Mn ve Ni çözeltisi içeren ZnO filmleri için λ (200-800nm) ile sönüm katsayısının (k) değişimi görülmektedir. Şekil 48' de görüldüğü gibi, k değerinin tüm numuneler için $\lambda = \sim 290$ nm değeri için keskin bir biçimde düştüğü gözlemlenmektedir. Katkısız ZnO numunesinin katkılı numunelere kıyasla, daha düşük k

değerine sahip olduğu ve k değerinin tüm numunelerde artan dalga boyuyla öncelikle arttığı daha sonra orantılı bir şekilde azaldığı görülmektedir.

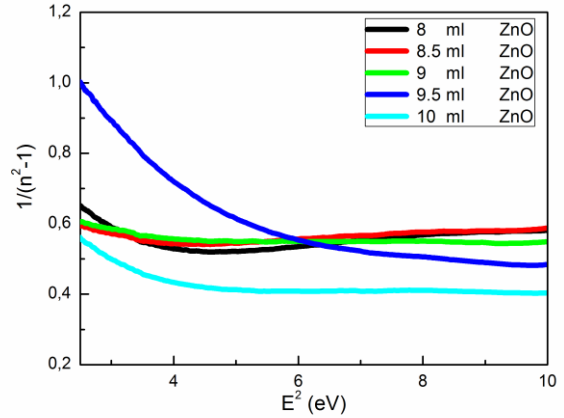


Şekil 8. Katkısız ve Mn-Ni katkılı ince filmlere ait sönüm katsayısının dalga boyu ile değişimi

Dispersiyon, optik materyallerin araştırılmasında önemli bir rol oynamaktadır çünkü optik iletişimde görüntü dağılımı için kullanılacak cihazların tasarımında önemli bir faktördür. Bu çalışmada elde edilen nano yapılı ince filmlerin kırılma indisi dağılımı Wemple ve Didomenico (WD) modeli ile analiz edilmiştir. Dispersiyon teorisi, düşük emilim bölgesinde, kırılma indisinin (n) etkili tek salınım modeline göre aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir [32].

$$n^2 = 1 + \frac{E_d E_o}{E_o^2 - (h\nu)^2}$$

Bu denklemde E_o ; salınım enerjisi, E_d ; dispersiyon enerjisi ve $h\nu$; foton enerjisidir. Numunelere ait E_o ve E_d değerleri Şekil 9' da verilen $(n^2-1)^{-1}$ 'ye karşı E^2 grafikleri yardımıyla hesaplanmış ve bu değerler Tablo 2' de verilmiştir. Tablo 2' de görüldüğü gibi, elde edilen E_o değerleri katkısız ZnO numunesi ile kıyaslandığında sadece 9,5 ml ZnO numunesinde bu değer düşüştüğü, bunun dışında diğer tüm katkı oranlarının E_o değerini artırdığı söylenebilir.



Şekil 9. Katkısız ve Mn-Ni katkılı ince filmlerin $1/(n^2-1) - (h\nu)^2$ grafikleri

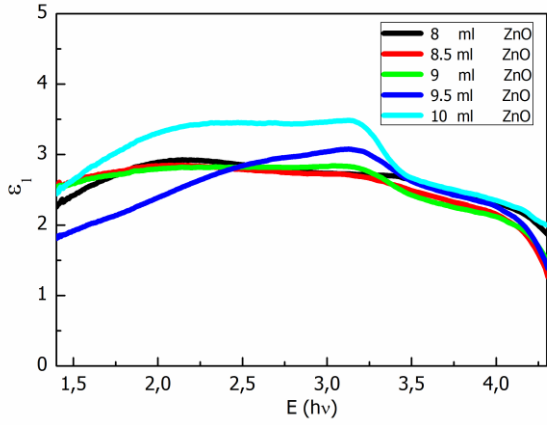
Herhangi bir katı maddenin polarize edilebilirliğinin, dielektrik sabitiyle orantılı olduğu bilinmektedir. Bu, yasak enerji aralığı içindeki durum yoğunluğuyla ilgilidir. Bu bağlamda, karmaşık dielektrik sabitinin gerçel ve sanal kısımlarını incelemek önemlidir. Dielektrik sabiti, $\epsilon = \epsilon_1 + i\epsilon_2$ şeklinde yani, kompleks dielektrik sabitinin gerçel ve sanal kısımları olarak tanımlanır. Bu durum aşağıdaki şekilde ifade edilir [32]:

$$\epsilon_1 = n^2 - k^2$$

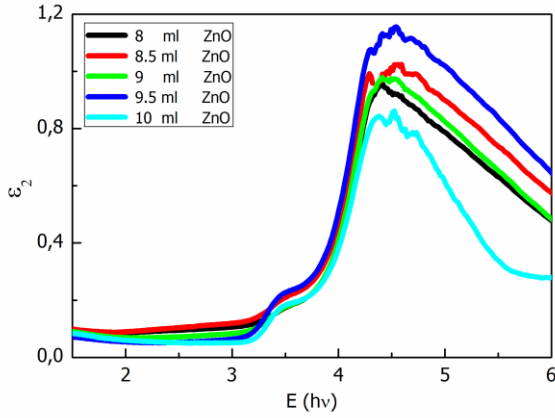
ve

$$\epsilon_2 = 2nk$$

Dielektrik sabitinin gerçel (ϵ_1) ve sanal kısımlarının (ϵ_2) foton enerjisine ($h\nu$) bağımlılığı Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde, tüm nano yapılı ince filmler için gerçel ve sanal dielektrik sabitinin görünür bölgede değiştiği gözlenmektedir. Tüm numunelerde, ortalama ϵ_1 değerlerinin; ϵ_2 ' den daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, Mn ve Ni katkılamanın genel olarak ϵ_1 değerlerini düşürdüğü, ϵ_2 değerlerini ise artırdığı göze çarpmaktadır. Gerçel ve sanal kısımlar arasındaki bu fark filmlerin enerji bant aralıklarındaki durum yoğunlukları ile (DOS) ile ilişkilendirilmektedir.



Şekil 10. Tüm numuneler için dielektrik sabitinin reel kısmının enerji ile değişimi



Şekil 11. Tüm numuneler için dielektrik sabitinin sanal kısmının enerji ile değişimi

4. Tartışma ve sonuç

Katkısız ve farklı oranlarda Mn ve Ni katkı ZnO esaslı nanoyapılı ince filmler sol-jel yöntemi kullanılarak hazırlandı. Numunelerin yasak enerji aralığı (E_g), kırılma indisi (n), soğurma katsayısı (k), dispersiyon enerji parametreleri (E_0 ve E_d) ve dielektrik sabitleri (ϵ_1 ve ϵ_2) gibi optik sabitleri araştırıldı. Hesaplanan optik parametrelerin tamamının, Mn ve Ni katkısı ile değiştiği görüldü. Sonuç olarak; bu çalışmada ZnO filmlerine göre daha düşük optik bant aralığına sahip Mn ve Ni katkı ZnO filmlerinin üretilmiş olması, bu filmlerin gün ışığında fotoaktif hale gelmesini sağlayacağı için özellikle fotokatalizör uygulamalarında kullanılabilmesi fikrini akla getirmektedir. Teknolojik uygulamalarda önemli bir yeri olan polikristal yarıiletken film üretimine yönelik bu

çalışma, özellikle maliyet açısından pahalı vakumlu sistemlere alternatif ZnO filmlerinin üretilmesi ve katkılama imkanı ile özelliklerinin değiştirilmesine olanak sağlaması açısından önem arz etmektedir. Ayrıca bu çalışma, gelecekte ZnO filmlerinin farklı elementler ile katkılanarak çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi ve ileri elektronik uygulamalarında kullanım potansiyelinin araştırılması üzerine yapılacak çalışmalar için alt yapı oluşturması açısından da ayrı bir öneme sahiptir.

Kaynaklar

1. Lu, J.J., Lin, T.C., Tsai, S.Y., Mo, T.S., Gan, K.J. (2011). Structural, magnetic and transport properties of Ni-doped ZnO films. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. **323(6)**,829-832.
2. Ohno, H. (1998). Making Nonmagnetic Semiconductors Ferromagnetic. *Science*, **281(5379)**, 951-956
3. Dietl, T., Ohno, H., Matsukura, F., Cibert, J. And Ferrand, D. (2000). Zener Model Description of Ferromagnetism in Zinc-Blende Magnetic Semiconductors. *Science*, **287**, 1019-1022.
4. Pandey, B., Ghosh, S., Srivastava, P., Kabiraj, D., Shripati, T., Lalla N.P. (2009). Synthesis of nanodimensional ZnO and Ni-doped ZnO thin films by atom beam sputtering and study of their physical properties. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, **41(7)**, 1164-1168.
5. Aljawfi R. N., Mollah S. (2011). Properties of Co/Ni codoped ZnO based nanocrystalline DMS. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. **323**, 3126-3132.
6. Jongh, P.E., Meulenkamp, E.A., Vanmaekelbergh, D., Kelly J.J., (2000). Charge carrier dynamics in illuminated, particulate ZnO electrodes, *J. Phys. Chem. B*, **104**,7686-7693.
7. Jeong, S.H., Kho, S., Jung, D., Lee, S.B., Boo, J.-H., (2003). Deposition of aluminum-doped zinc oxide films by RF magnetron sputtering and study of their surface characteristics, *Surf. Coat. Technol.* **174**, 187-192.
8. Sato, K., Katayama, Yoshida H., (2001). Ferromagnetism in a transition metal atom doped ZnO. *Physica E*, **10**, 251.
9. Sharma, P.K., Kumar, M., Pandey A.C., (2011). Green luminescent ZnO:Cu²⁺ nanoparticles for their

- applications in white-light generation from UV LEDs. *J. Nanopart. Res.*, **13**, 1629.
10. Kittilstved, K.R., Liu, W.K., Gamelin D.R. (2006). Electronic structure, origins of polarity-dependent high-TC ferromagnetism in oxide-diluted magnetic semiconductors. *Nat. Mater.*, **5**, 291.
 11. Kaneva, N., Yordanov, G., Dushkin, C., (2010). Manufacturing of patterned ZnO films with application for photoinitiated decolorization of malachite green in aqueous solutions, *Bull. Mater. Sci.*, **33**, 111-117.
 12. Kaneva, N.V., Yordanov, G.G., Dushkin, C.D., (2009). Photocatalytic action of ZnO thin films prepared by the sol-gel method, *React. Kinet. Catal. Lett.* **98**, 259-263.
 13. Zheng, G., Yang, A., Wei, H., Liu, X., Song, H., Guo, Y., Jia, C., Jiao, C., Yang, S., Zhu, Q., Wang, Z., (2010). Effects of annealing treatment on the formation of CO₂ in ZnO thin films grown by metal-organic chemical vapor deposition, *Appl. Surf. Sci.*, **256**, 2606-2610.
 14. Lemlikchi, S., Abdelli-Messaci, S., Lafane, S., Kerdja, T., Guittoum, A., Saad, M., (2010). Study of structural and optical properties of ZnO films grown by pulsed laser deposition, *Appl. Surf. Sci.*, **256**, 5650-5655.
 15. Deng, Z.W., Chen, M., Gu, G.X., Wu, L.M., (2008). A facile method to fabricate ZnO hollow spheres and their photocatalytic property. *J. Phys. Chem. B*, **112**, 16-22.
 16. Wang, C. Y. and Adhikari, S., (2011). ZnO-CNT composite nanotubes as nanoresonators. *Phys. Lett. A*, **375**, 2171-2175.
 17. Wang, Z. L. (2008). Splendid one-dimensional nanostructures of zinc oxide: A new nanomaterial family for nanotechnology. *ACS Nano*, **2**, 1987-1992.
 18. Liangyuan, C., Zhiyong, L., Shouli, B., Kewei, Z., Dianqing, L., Aifan, C., and Chiun Liu, C., (2010). Synthesis of 1-dimensional ZnO and its sensing property for CO. *Sens. Actuators B*, **143**, 620-628.
 19. Krunk, M., Katerski, A., Dedova, T., and Oja Acik, I. (2008). Nanostructured solar cell based on spray pyrolysis deposited ZnO nanorod array. *Solar Energy Mater. Sol. Cells*, **92**, 1016-1019.
 20. Kou, J., Li, Z., Guo, Y., Gao, J., Yang, M., and Zou, Z. (2010). Photocatalytic degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in GaN: ZnO solid solution-assisted process: Direct hole oxidation mechanism. *J. Mol. Catal. A*, **325**, 48-54.
 21. Aydın C., Benhaliliba M., Al-Ghamdi Ahmed A., Gafer Zarah H., El-Tantawy Farid, Yakuphanoglu F., (2013). Determination of optical band gap of ZnO:ZnAl₂O₄ composite semiconductor nanopowder materials by optical reflectance method, *Journal of Electroceramics*, **31**, 265-270.
 22. Orhan A., Aydın C., Aydın H., Al-Ghamdi A. A., El-Tantawy F., Yakuphanoglu F., (2015). Synthesis and optical properties of iron doped gallium nitride nanostructures by sol gel method, *Microsystem Technologies*, **21**, 6, 1219-1224
 23. Wang, X., Zhang, Y., Wu, Z., (2010). Magnetic and optical properties of multiferroic bismuth ferrite nanoparticles by tartaric acid-assisted sol-gel strategy, *Materials Letters*, **64**, 486-488.
 24. Wang, X., Lin, Y., Ding, X., Jiang, J., (2011). Enhanced visible-light-response photocatalytic activity of bismuth ferrite nanoparticles, *Journal of Alloys and Compounds*, **509**, 6585-6588.
 25. Azam A., Jawad A., Ahmed A. S., Chaman M., Naqvi A.H., (2011). Structural, optical and transport properties of Al³⁺ doped BiFeO₃ nanopowder synthesized by solution combustion method, *Journal of Alloys and Compounds*, **509**, 2909-2913
 26. Phokha S., Pinitsoontorn S., Maensiri S., Rujirawat S., (2014). Structure, optical and magnetic properties of LaFeO₃ nanoparticles prepared by polymerized complex method, *J Sol-Gel Sci Technol*, **71**, 333-341.
 27. Aydın H., Tataroglu A., Al-Ghamdi Ahmed A., Yakuphanoglu F., El-Tantawy Farid, Farooq W.A., (2015). A novel type heterojunction photodiodes formed junctions of Au/LiZnSnO and LiZnSnO/p-Si in series, *Journal of Alloys and Compounds*, **625**, 18-25
 28. Soylu M., Aydın H., Al-Ghamdi Ahmed A., Farooq W. A., Yakuphanoglu F., (2014). Study of optical and electrical assessments of the quaternary MgZnSnO system containing different Mg content, *J Mater Sci: Mater Electron*, **25**, 4235-4245.
 29. Yang X, Zhang Y., Xu G., Wei X., Ren Z., Shen G, Han G, 2013. Phase and morphology evolution of bismuth ferrites via hydrothermal reaction route, *Materials Research Bulletin*, **48**, 1694-1699.
 30. Aydın, H., Aydın, C., Al-Ghamdi, A., Farooq, w.a., Yakuphanoglu, F. (2016). Refractive index dispersion properties of Cr-doped ZnO thin films by sol-gel spin coating method. *Optik*, **127**, 1879-1883.

31. Aydın H., El-Nasser H.M., Aydın C., Al-Ghamdi Ahmed. A., Yakuphanoglu F., (2015). Synthesis and characterization of nanostructured undoped and Sn-doped ZnO thin films via sol-gel approach, *Applied Surface Science*, **350**, 109-114.

32. Aydın, H., Mansour, Sh.A., Aydın, C., Al-Ghamdi Ahmed., Omar, A., Al-Hartomy, A., El-Tantawy, F., Yakuphanoglu F., (2012). Optical properties of nanostructure boron doped NiO thin films. *J Sol-Gel Sci Technol.* **64**, 728-733.

Adli Bilişim Açısından Ses İncelemeleri

Yunus KORKMAZ¹, Aytuğ BOYACI²

^{1,2}Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Adli Bilişim Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye
¹ykorkmaz@firat.edu.tr, ²aytugboyaci@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 16.11.2017; Kabul/Accepted: 23.02.2018)

Özet

Geçmişte fiziksel araçlar ve yollarla işlenen suçlar dijitalleşmenin artmasıyla giderek yerini elektronik araçlarla işlenen suçlara bırakmaktadır. Elektronik araçlarla işlenen bu suçlar arkasında, bilgisayarlar, taşınabilir cihazlar, ağ cihazları ve depolama aygıtları gibi elektronik deliller bırakmaktadır. Ses delillerinin incelenmesi ya da ses adli bilişimi (audio forensic), elektronik delilleri ve içlerinde bulunan verileri kullanarak suçların aydınlatılmasına katkıda bulunan Adli Bilişim disiplininin bir alt dalı olarak bilinmektedir. Ses adli bilişimi için halihazırda kullanılacak birçok ses analiz yazılımı mevcuttur. Sayısal ses işleme teknikleri tabanlı yöntemleri kullanan bu yazılımların, ses kayıtlarında kurgu/montaj tespiti (kayıt bütünlüğünün doğrulanması), spektrum analizi, bozuk kayıtların anlaşılabilirliğinin artırılması (kayıt iyileştirme), konuşmacı profili (yaş, cinsiyet vs.) belirleme, ortam gürültüleriyle maskelenmiş ses analizi, adli takiplerde gerçek zamanlı ses analizi ve konuşmacının etnik yapısı ile ilgili olan dil ve aksan öğelerini belirleme gibi ses adli bilişimi işlemlerini otomatik olarak gerçekleştirebilmesi beklenmektedir. Bu makalede, konuşma üretimi ve ses bilimi, ses incelemede kullanılan temel konuşma işleme teknikleri, adli bilişim açıdan ses incelemeleri ve bu incelemelerde kullanılan yazılımların teknik ve performans kriterleri göz önünde bulundurularak karşılaştırılması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Adli Bilişim; Ses İnceleme; Konuşma İşleme; Ses Analiz Araçları; Ses Adli Bilişimi.

Audio Analysis in Terms of Digital Forensics

Abstract

Day by day, the crimes committed by physical means in the past give way to the crimes committed by electronic means with the increase of digitization. These crimes committed by electronic devices leave electronic evidences such as computers, mobile devices, network tools, storage devices behind. The job of examining audio evidences, mostly called as “audio forensic”, is a sub-branch of digital forensic area which contributes clarification of crimes by using electronic devices and data included in these devices. There are already plenty of audio analysis tools that can be used for audio forensic. These tools, which basically use DSP-based methods, are expected to automatically implement audio forensic tasks such as verification of audio integrity (editing and montage detection), spectrum analysis, speech enhancement (increasing the intelligibility of distorted records), speaker profile (age, sex, etc.) identification, analysis of audio masked by ambient noise, real-time audio analysis in judicial tracking and identification of ethnic items like language and accent. In this article, speech production and phonetics, fundamental digital speech processing methods used for audio analysis, audio examinations in terms of digital forensics and technical and performance comparisons of audio analysis tools used in these examinations are covered in detail.

Keywords: Digital Forensics; Audio Examination; Digital Speech Processing; Audio Analysis Tools; Audio Forensics.

1. Giriş

Dijital çağ olarak adlandırılan günümüzde yaşamı kolaylaştıran teknolojilerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Hızla gelişen teknoloji sayesinde her yeni gün hayatımıza farklı cihazlar entegre olmaktadır. Geçmişte fiziksel temas yoluyla işlenen suçlar günümüzde teknolojinin bu denli hızlı gelişimi sayesinde üretilen cihazlar yoluyla dijital olarak işlenmeye

başlanmıştır. Dijital yollarla işlenen suçlarda kullanılan cihazlar ve bu cihazlar içerisinde bulunan verilere “dijital delil” adı verilmektedir. Adli bilişim (digital forensics), teknoloji ile hayatımıza giren dijital cihazlarla işlenen suçların dijital deliller kullanılarak aydınlatılması disiplini. Adli bilişim, incelenen cihazın türüne göre kendi içerisinde bilgisayar, mobil cihaz, ağ (network), veritabanı, RAM (Random Access Memory), görüntü ve ses adli bilişimi

gibi farklı alanlara ayrılmaktadır. Bu alanlardan ses adli bilişimi (audio forensics) adli vakalarda ses delillerinin incelenip anlamlı sonuçlar elde edilmesi açısından önem arz etmektedir.

Ses adli bilişiminde;

- Konuşma çözümüleme (transkripsiyon)
- Ses kayıtlarında kurgu/montaj tespiti için kayıt bütünlüğünün doğrulanması
- Ses kaydındaki konuşmacının tespiti için otomatik ses izi eşleştirme
- Spektrum analizi
- Ünsüz harfler bazında formant frekansları tespiti
- Bozuk kayıtların anlaşılabilirliğinin artırılması (kayıt iyileştirme)
- Konuşmacı profili (yaş, cinsiyet vs.) belirleme
- Birden çok konuşmacının bulunduğu kayıtlarda konuşmacıları ayırt etme
- Ortam gürültüleriyle maskelenmiş ses analizi
- Adli takiplerde gerçek zamanlı ses analizi
- Kayıt cihazına yakın yerde bulunan radyo ve televizyon gibi cihazlardan kaynaklanan GSM gürültülerini yok etme
- Konuşmacının etnik yapısı ile ilgili olan dil ve aksan öğelerini belirleme

gibi ses inceleme işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Günümüzde, ses kayıtlarının adli vakalarda delil olarak kullanılmasının yanısıra bilişim alanında çalışan firmaların sayısındaki artış, ses adli bilişimi konusunda analizler yapabilen açık kaynak kodlu veya lisanslı bir çok sistemin (yazılım/donanım) geliştirilmesine olanak sağlamıştır.

Ses incelemede geliştirilen yazılımlar temelde dijital sinyal işleme (digital signal processing, DSP) tekniklerinden faydalanarak konuşma işleme gerçekleştirilmektedir. Konuşma işleme genel olarak öznel çıkarma, konuşma tanıma, konuşmacı tanıma, ses iyileştirme ve ses sentezleme gibi alt başlıklara ayrılmaktadır.

Bu çalışmada konuşma üretimi ve ses bilimi, ses incelemede kullanılan temel konuşma işleme teknikleri, adli açıdan ses incelemeleri ve bu incelemelerde kullanılan yazılımların teknik ve performans kriterleri göz önünde bulundurularak karşılaştırılması yapılmıştır.

2. Konuşma / İşitme Fizyolojisi ve Ses Bilimi

2.1 Ses ve Konuşma

Ses, belirli frekans değeriyle titreten bir cisim tarafından oluşturulan ve işitme hissi uyandıran basınç dalgası olarak tanımlanmaktadır. Ses, yayılma hızı, frekans, basınç, dalga boyu, desibel, genlik, şiddet, renk ve tını gibi fiziksel özelliklere sahip olabilmektedir [1].

İnsanlarda ses oluşturma sisteminin 3 ana bölümden oluşur [2]:

- Akciğer
- Gırtlak (ses telleri, ses kıvrımları)
- Ses Bölgesi (yutak,ağız)

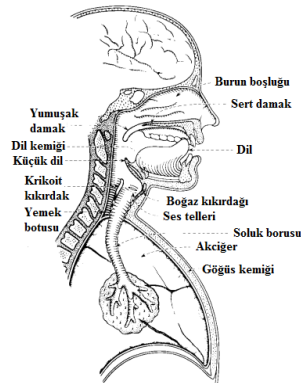
Bu sistemde, akciğerler hava kaynağı, ses telleri titreşim elemanı ve ağız rezonatör bölge olarak görev yapmaktadır.

2.2 Ses ve Konuşma Fizyolojisi

Ses dalgası, insanlarda ses üretim mekanizması tarafından üretilen akustik bir hava basıncı dalgası olarak ortaya çıkmaktadır. Konuşma sesleri genel olarak sesli kısım (voiced) ve sessiz kısım olmak (unvoiced) üzere ikiye ayrılmaktadır. Sesli kısım akciğerlerden gelen havanın gerilmiş ses tellerini titrettiği zaman oluşmaktadır. Sessiz kısım ise üretilen havanın ağızda ani ve düzensiz patlaması sonucu oluşur [3].

Ses Üretim Organları:

İnsan sesinde ayırt edici özellikler fiziksel ve öğrenilmiş olmak üzere iki genel başlığa ayrılmaktadır. Ses telleri ve yukarısında kalan organlar olarak tanımlanan vokal yolu, yapı itibari ile insan sesini farklı kılan fiziksel özelliktir. Ses üretim organları alt yutak, orta yutak, ağız boşluğu, üst yutak ve burun boşluğu şeklinde sıralanmaktadır [4].



Şekil 1. Ses üretim mekanizması.

Ses Oluşumu:

Şekil 1’de de görüldüğü gibi akciğerlerin uyarım kaynağı olarak ürettiği hava akışının nefes borusu yardımıyla ses tellerine geçmesiyle fiziki olarak ilk ses dalgası üretim işlemi başlamaktadır. Uyarımın fonasyon, fısıldama, friksiyon (sürtünme), basınçlandırma, titreşim gibi çeşitleri bulunmaktadır [5]. Ses telleri titreştiği anda altında ve üstünde yankılanmalar (sublottal resonance) oluşturur. Nefes borusunun yapısına göre değişebilen bu yankılanmalar konuşmacıya bağlı fiziksel bir özelliktir [6].

2.3 Ses Bilimi (Fonetik)

Bir dilin yapısını oluşturan seslerin fizyolojik olarak nerede ve nasıl çıkarıldıklarını, zamanla değişimlerini, konuşma organlarının işleyişini inceleyen, sesleri söyleyiş (üretim), akustik (iletim) ve dinleyiş (algılama) özelliklerine göre sınıflandıran bilim dalına ses bilimi (fonetik) denmektedir [7]. Ses bilimi genel olarak fonem (phoneme) adı verilen seslerin oluşumları ve bu oluşum sırasında artikulatorlerde meydana gelen değişimleri konu alır. Örneğin /s/ foneminin çıkarılışı sırasında dudakların, dilin, akciğerlerden gelen basınçlı havanın oral kavitedeki hareketi, bu basınçlı havanın zamanla dil ve gırtlak sayesinde nasıl kesildiğini araştırmaktadır [8].

Türkiye Türkçe’sinde Sesler:

Konuşma organlarının bir arada uyumla ve düzenli çalışmasıyla anlam ihtiva eden sözcükler ve tümceler oluşturmak için ağızdan çıkarılan birimlere ses (phon) denmektedir [9]. Seslerin kümelenmesiyle anlam ayırıcı özelliği bulunan fonemler meydana gelmektedir. Türkçe’de fonemler parçalı ve parçalarüstü (bürün) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [10].

Parçalı Fonemler:

Türkçe’de parçalı fonemler ünlü, ümsüz ve kayan ünlü olmak üzere 3 başlıkta incelenmektedir.

Ünlüler ve özellikleri:

Ünlü sesler akciğerlerden gelen havanın hiçbir sürtünme veya engele maruz kalmadan dilin üstünden geçerken çıkardığı seslerdir. Türkçe’de 8 adet ünlü harf bulunmakta ve tüm ünlüler 8 adet fonem ile temsil edilmektedir. Bu fonemler:

/a/, /e/, /o/, /ö/, /u/, /ü/, /ı/, /i/

şeklinindedir. Ünlü sesler, dilin ağızdaki konumuna, dudakların biçimine, genizin açık/kapalı durumuna göre sınıflandırılmaktadır:

- Çene açıklığı (dar, geniş)
- Dil konumu (ön, arka)
- Dudakların biçimi (yuvarlak, düz)
- Geniz (açık, kapalı)

Türkçe’de geniz dışındaki durumlar önem arz etmektedir. Tablo 1’de ünlü fonemler çene açıklığı, dil konumu ve dudakların biçimine göre gösterilmiştir.

Tablo 1. Türkçe’deki ünlü fonemlerinin dilin konumu, dudak biçimi ve çene açıklığına göre sınıflandırılması.

	Dilin Konumu				Dudak Biçimi		Çene Açıklığı	
	Düz Ön	Yuvarlak Ön	Orta	Arka	Yuvarlak	Düz	Dar	Geniş
a				+		+		+
e	+					+		+
o				+	+			+
ö		+			+			+
ı			+			+	+	
i	+					+	+	
u				+	+		+	
ü		+			+		+	

Bir ünlü fonemin diğer bir ünlü fonem ile yer değiştirmesi sonucu anlam değişikliğinin meydana gelip gelmediğinin kontrol edildiği sözcük çiftlerine yalın sözcük çiftleri denmektedir. Türkçe’deki ünlü fonemleri dilin konumu, dudak biçimi ve çene açıklığı esas alınarak tespit etmede yararlanılan yalın sözcük

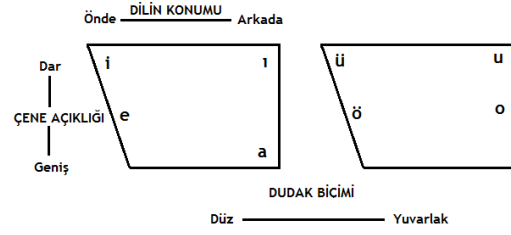
çiftleri Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 2. Çene açıklığı bazında yalın çiftler.

Geniş / Dar	ı	i	u	ü
a	kar/kır	kar/kir	kar/kur	sar/sür
e	kes/kıs	tez/tiz	bez/buz	ses/süs
o	koş/kış	sos/sis	koş/kuş	son/sün
ö	söz/sız	söz/siz	son/sun	söz/süz

Tablo 3. Dudakların biçimi bazında yalın çiftler.

Düz / Yuvarlak	o	ö	u	ü
a	kar/kor	kar/kör	kar/kur	sar/sür
e	kel/kol	gel/göl	ser/sur	kel/kül
ı	kış/koş	sır/sör	tır/tur	tır/tür
i	kir/kor	kir/kör	kir/kur	kir/kür

**Şekil 2.** Türkçe’de ünlü dörtgeni.**Tablo 4.** Dil konumu bazında yalın çiftler.

Arka / Ön	e	ö	i	ü
a	kas/kes	kar/kör	kar/kir	sar/sür
o	kol/kel	kor/kör	kor/kir	kor/kür
u	sur/ser	sun/sön	kur/kir	kul/kül

Ünlü fonemlerini sınıflandırmada kullanılan bir başka yöntem ise Şekil 2’de gösterilen ünlü dörtgenidir (vowel diagrams) [11].

Ünsüzler ve özellikleri:

Ünsüz fonemlerin çıkışında akciğerden gelen hava konuşma organlarının herhangi bir yerinde engele rastlamaktadır. Bu engeller dudaklar, dişler, alt ve üst damak ve dil ile oluşmaktadır. Ünsüz fonemle çıkış biçimlerine, çıkış yerlerine ve ses tellerinin durumuna göre Tablo 5’te gösterildiği gibi sınıflandırılmaktadır.

Tablo 5. Ünsüz fonemlerin sınıflandırılması.

	Özellik	b	c	ç	d	f	g	h	j	k	l	m	n	p	r	s	ş	t	v	y	z	
Çıkış Biçimlerine Göre	Patlamalı	+			+		+			+				+				+				
	Genizden											+	+									
	Çarpmalı														+							
	Yan daralmalı										+											
	Sızmalı		+	+		+		+	+							+	+		+	+	+	+
Çıkış Yerlerine Göre	Çift dudak	+										+		+								
	Alt dudak-Üst diş					+													+			
	Dil ucu-Diş ardı				+													+				
	Dil ucu-Diş eti												+		+	+						+
	Dil ucu-Ön damak										+											
	Dil-Ön damak		+	+					+									+			+	
	Dil-Damak sonu						+			+												
	Ses telleri							+														
Ses Telleri Titreşimine Göre	Ötümlü	+	+		+	+		+	+	+	+	+	+	+	+				+	+	+	
	Ötümsüz			+		+		+		+				+		+	+	+				

Parçalarüstü Fonemler:

Parçalarüstü fonemler (bürünler) sesli ifade tanıma kapsamında, sesli ifade örüntüsünün yakalanmasına yardımcı olmaktan çok sesli ifadeden anlam çıkarma aşamasında önem taşımaktadır.

Süre:

Süre, bir sesin söylenirken kısa ya da uzun zaman alması ile ilgilidir. Örneğin; “dügün” sözcüğü söylenirken süre kısa tutulursa “dün” sözcüğü ile anlam karışıklığı oluşturabilir.

Türkçe’de süre seslenme ve buyurma biçimlerinde de ortaya çıkabilmektedir.

Ton (Perde değişimi):

Bir sesteki sıklığın yüksek ya da düşük olması ton olarak tanımlanmaktadır. Örneğin; “aferin” sözcüğü ile ya beğeni ya da yanlış yapılan bir işe serzeniş dile getirme ton (perde değişimi) ile sağlanmaktadır.

Kavşak ve Durak:

Ünsüz ile biten bir kök ünlü ile başlayan ek aldığında hece düzenin değişmesi kavşak olarak tanımlanmaktadır. Örneğin; “ki-lim”, “ki-li-min”

sözcüklerinde olduğu gibi. Durak, bir tümcede anlamda farklılık oluşturabilecek şekilde duraklama yapılmasıdır. Örneğin; “Kara, deniz, hava yolları” ve “Karadeniz havayolları” tümceleri arasındaki fark gibi.

Vurgu:

Bir sözcükteki herhangi bir hecenin diğer hecelere göre daha baskılı bir şekilde söylenmesine vurgu denmektedir. Örneğin; “varmış” sözcüğü için yapılan vurgu “Epeyce parası varmış” ve “eve varmış” cümlelerinde farklı yerlerde bulunmakta olmasından anlam ayırt edici özellik sağlamaktadır.

Ezgi:

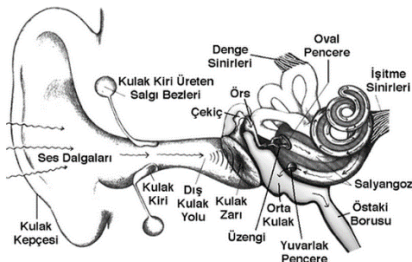
Sesli ifadedeki hece, durak ve vurguya bağlı ortaya çıkan ton değişimlerine ezgi denmektedir. Ruhsal etkenler, hece, durak ve vurgu değişimleri yoluyla, tümce içinde kimi sözcüklerdeki ton yükselmesi ya da alçaltılması, anlatılmak istenende belirli anlam ayrımı sağlamaktadır.

2.4 İşitme

Canlılar arasında iletişim, konuşma ve işitme olarak iki yönlü gerçekleşmektedir. İletişimde önemli bir role sahip olan işitme sisteminde, kulak işitmenin ilk adımı olan organdır [12].

Kulak Yapısı ve Görevi:

Şekil 3'te gösterildiği gibi hem harici kulak kanalını koruma görevini üstlenmekte hem de duyulabilir yüksek frekanslarda çok yönlü ses alabilen yapısıyla gelen sesin konumunu belirlemektedir.



Şekil 3. Kulağın yapısı [13].

Kulak genel olarak sesi toplayıp yönünü belirleyen ve kulak kepçesiyle başlayıp kulak zarı ile sonlanan dış kulak, ses dalgalarını mekanik dalgalara dönüştüren (empedans dönüşümü) çekiç, örs, üzengi kemikçiklerinin bulunduğu orta kulak ve mekanik titreşimlerin sinirsel uyarılara dönüştüğü yer olan

salyangozun bulunduğu orta kulak olmak üzere 3 kısma ayrılmaktadır.

Mekanik'ten Sinirsel Yola Geçiş:

Mekanik dalga sinirsel aktiviteye dönüştüğü reseptörlere organa corti organı denmektedir. Reseptörler salyangoz zarının içerisinde yerleşik halde bulunup işitsel sinir hücrelerinin de aralarında bulunduğu bir kısım sinir hücresi (nöron) ile bağlantı halinde bulunmaktadır. Bir nöron, belirli bir eşik değerinin üzerinde elektriksel girdi ile uyarıldığında, bir milisaniye süren elektrik sinyali (vuruşu) üretir. Bu işlem nöron sinyalleşmelerinin beyne taşınmasını sağlamaktadır [14].

3. Ses İncelemede Kullanılan Teknikler

3.1 Ön İşlemler

Çerçeveleme (Frame Blocking):

Konuşma sinyalinin her biri X adet konuşma örneği içeren parçalara ayrılması işlemi çerçeveleme olarak tanımlanmaktadır. Çerçeveleme yapılırken birinci çerçeve X adet konuşma örneği içeriyorsa ikinci çerçeve birinci çerçeveden Y adet örnek sonra başlatılır. Çerçeveleme yapılırken dikkat edilmesi gereken husus Y değerinin X değerinden daha küçük bir değer olarak seçilmesi gerektiridir ($Y < X$). Bu şekilde her çerçeve kendisinden sonra gelen çerçevenin bir kısmını örtmüş olur. Örtme işleminde amaç bir çerçeveden diğerine geçişteki keskinliği ortadan kaldırmaktır.

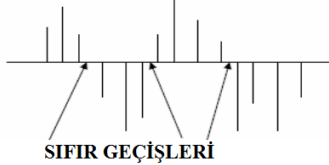
Pencereleme (Windowing):

Pencereleme, sinyalin N adet örneğinin (sample) pencere olarak tabir edilen matematiksel bir ifadeyle çarpılması işlemi olarak bilinmektedir. Pencereleme işlemi uygulanacak N adet örnek çerçeve (frame) adı verilen sinyal bölümünü oluşturur. Bir ses sinyalinden, o sinyale özgü özellikler çıkarılmak istendiğinde sinyal çerçevelere bölünüp bu çerçeveler üzerinden özellik çıkarılır. Bilinen pencereleme yöntemleri arasında Hamming, Hann (Hanning), Triangular, Gauss, Welch, Blackman ve Bartlett gibi yöntemler yer almaktadır.

Sıfır Geçiş Oranı (Zero Crossing Rate):

Sıfır geçiş oranı aralık zamanlı bir sinyalin ardışık örneklerinin farklı matematiksel işaret

sahip olma oranı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 4'te gösterildiği gibi sıfır geçişlerinin gerçekleşme oranı sinyalin frekans içeriğinin basit bir ölçümünü yansıtmaktadır. Ses sinyallerinde sıfır geçiş oranı, belli bir zaman aralığında ya da bir çerçeve içerisinde, ses sinyalinin genlik (amplitude) değerinin sıfır değerini kaç defa geçtiği ile ölçülmektedir.



Şekil 4. Ayrık zamanlı bir sinyaldeki sıfır geçişleri.

Enerji:

Ses sinyalinin kısa zamanlı enerji değeri sinyal genliğindeki değişimleri yansıtmaktadır. Genel olarak ses sinyallerine ait özellikler zaman uzayında önemli ölçüde çeşitlilik göstermektedir. Ses sinyalinin enerji değeri sesli-sessiz bölge ayrımı yapmaktaki da kullanılmaktadır. Bir ses sinyalinin enerji değeri sesli bölgelerde, sıfır geçiş oranı değeri ise sessiz bölgelerde yüksektir.

Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform, FFT):

Hızlı Fourier Dönüşümü, N adet konuşma örneği içeren her çerçeveyi orjinal uzayından frekans uzayına çevirmek için kullanılmaktadır. Buradaki amaç ses sinyalinin spektrum özelliklerini görmektir. Eşitlik 1'deki gibi tanımlanan Hızlı Fourier Dönüşümü, Ayrık Fourier Dönüşümü hesaplamasındaki zaman karmaşıklığı olan $O(n^2)$ 'yi azaltmak için kullanılan hızlı bir algoritma olarak bilinmektedir.

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-i2\pi kn/N} \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

Özellik Çıkarma Yöntemleri:

Konuşma sinyali içerisinde ortam sesleri, kullanılan donanımdan kaynaklanan gürültüler ve konuşmacıya ait akustik özellikler bulunmaktadır. Mel Frekanslı Kepstrum Katsayıları (Mel Frequency Cepstrum Coefficients, MFCC), Doğrusal Öngörülü Kodlama (Linear Predictive Coding, LPC) ve Algısal Doğrusal Öngörü (Perceptual Linear Predictive, PLP) yöntemleri özellikle konuşmacı tanıma işlemlerinde konuşmacıya özgü akustik

model çıkarmada kullanılan yöntemler arasında bulunmaktadır. Mel Frekanslı Kepstrum Katsayıları (MFCC), insan kulağı referans alınarak oluşturulan Mel ölçeği kullanılarak frekans uzayında en yaygın kullanılan özellik çıkarma yöntemlerinden biridir. Frekans uzayı özellikleri olarak da bilinen MFCC, zaman uzayında işlem yapılmasından daha net sonuçlar üretmektedir [15]. MFCC, FFT sonucu üretilen pencerelemiş kısa zamanlı sinyalin gerçek katsayılarını göstermektedir. Bir konuşma sinyaline MFCC uygulamak için sırasıyla aşağıdaki adımlar uygulanmaktadır [16].

- Ses sinyali her çerçevede aynı sayıda örnek bulunacak şekilde çerçevelere ayrılır.
- Her çerçeveye pencereleme yöntemlerinden biri (ör: Hamming) uygulanır.
- Zaman uzayında bulunan ses sinyalinin frekans değerlerini çıkarmak için her çerçeveye FFT uygulanır.
- FFT uygulanmış her çerçeveye 1 kHz'e kadar doğrusal 1 kHz'den yüksek frekanslarda logaritmik olan mel ölçekli filtre bankası uygulanır.
- Filtre bankası uygulanan çerçevelere daha sonra Ayrık Kosinüs Dönüşümü (DCT) uygulanır.

Konuşma sinyali içindeki her çerçeve için MFCC aşamaları uygulanarak bu işlemler sonunda bir MFCC seti elde edilmektedir. Bu set, sesin fonetik olarak önemli karakteristiğini içeren akustik vektör seti olarak da tanımlanmaktadır.

3.2 Konuşma / Konuşmacı Tanıma

Dinamik Zaman Eşleştirme (Dynamic Time Warping):

Dinamik zaman eşleştirme, iki özellik vektörü dizisini zaman ekseninde tam bir örtüşme sağlanana kadar daraltıp genişleterek eşleştirmeye çalışan döngüsel bir algoritma olarak tanımlanmaktadır. Dinamik zaman eşleştirme algoritması genel olarak zamanla değişiklik gösteren iki dizi arasındaki uzaklığı hesaplamak için kullanılmaktadır. Bu algoritma ayrıca gerçek zamanlı bir konuşma tanıma sisteminde konuşmacının farklı hızlarda ifade

ettiği aynı kelimeyi tanımak için kullanılmaktadır. Başka bir deyişle dinamik zaman eşleştirme algoritması yaklaşık şablonu olan iki sinyal arasındaki benzerliği arayan en uygun algoritma olarak bilinmektedir [17].

Örüntü Eşleştirme (Pattern / Template Matching):

Konuşma tanıma sistemi için kullanılacak olan örüntü eşleştirme yönteminde tanınacak konuşmacının sistemi kullanmadan önce birden fazla konuşma örneğini sisteme kaydetmesi gerekmektedir. Örüntü eşleştirme yöntemi çoğunlukla konuşmacı tanıma kelime sayısının kısıtlı olduğu sistemlerde kullanılmaktadır. Bir konuşmacı tanıma sisteminin öğrenme aşamasında her tanınacak kelime için birden fazla referans örüntü tutulur. Örüntü karşılaştırma öklid uzaklığı, kare uzaklığı ve kepsral uzaklık gibi ölçüm yöntemleri ile bulunan uzaklıkların en küçüğünü seçerek gerçekleştirilmektedir [18].

Vektör Niceleme Kaynak Modeli (Vector Quantization Source Model):

Vektör niceleme yönteminde temel amaç aynı sınıfa dahil vektörlerin birbirlerine daha çok yaklaşmasını farklı sınıfa dahil vektörlerin ise birbirlerinden uzaklaşmasını sağlamaktır. Bu yöntem, temel olarak en yakın komşular (nearest neighbours) algoritmasını kullanmaktadır. Konuşmacıya ait öznitelik vektörü çıkarma işleminden sonra vektör M sayıda bölgeye bölünüp gruplandırılarak konuşmacı modeli oluşturulur. Her birine “kod” adı verilen bu bölgeler bir araya geldiğinde “kod kitabını (codebook)” oluşturup “merkez (centroid)” ile gösterilmektedir. Sistem eğitilirken her konuşmacıya özgü kod kitabı tüm konuşmacılara ait öznitelik vektörlerinin birleştirilmesiyle oluşmaktadır. Kişiye özgü özellik vektörünü kod

$$A = [a_{ij}], \quad a_{ij} = P(q = j / q_{t-1} = i), \quad i, j = 1, \dots, X \quad (2)$$

kitabındaki en yakın kod kelimesine uzak olması durumuna “vektör niceleme bozulması (VQ-distortion)” denmektedir. Konuşmacı tanınırken bilinmeyen konuşmacı ve arasında minimum vektör niceleme bozulması olan kullanıcı eşleştirilir. Böylece tanıma gerçekleşmiş olmaktadır [19].

En Yakın Komşular (Nearest Neighbours):

En yakın komşular yöntemi vektör niceleme yönteminin aksine bir kod defteri üretmek için kaydedilen eğitim verilerini kümelememektedir. Bunun yerine bütün eğitim verilerini tutarak geçici olarak şekilde kullanır. En yakın komşu uzaklığı test verisi ile kaydedilmiş veriler arasındaki uzaklığın minimum olanı olarak da ifade edilmektedir. Bütün test verilerinden (her birini çerçevelere bölerek) hesaplanan en yakın komşu değeri ile eşleşme skoru üretilmektedir. Sonuç olarak bu eşleşme skoru ile benzerlik oranı yaklaşımı saptanmaktadır. En yakın komşu algoritması hesaplama yoğunluğu ve dolayısıyla hafıza gerektiren konuşmacı tanıma algoritmalarından biri olmasına rağmen en güçlü algoritma olarak bilinmektedir.

Saklı Markov Modeli (Hidden Markov Model, HMM):

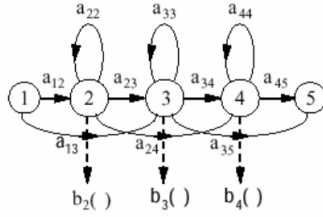
Saklı markov modeli (SMM), konuşma/konuşmacı tanıma alanında en çok kullanılan istatistiksel yöntemlerden biridir. X sayıda durum bulunan bir HMM’de önceki durum göz önünde bulundurularak oluşturulan geçiş olasılığına göre sonraki duruma geçilmektedir [20]. SMM, konuşma/konuşmacı tanıma alanında art arda gelen kısa süreli sesli ifade kesimleri için model oluşturmak ve bu modele dayanarak uzun süreli sesli ifade kesimlerini tanıma amacıyla kullanılmaktadır [21]. Ayrık bir t zamanındaki X adet durumdan birine Markov işlemi yada zinciri denmektedir. Durum değişkenleri q_t ile belirtilmektedir. Sistemin anlık durumu bir önceki duruma bağlı ise birinci dereceden markov modelinden bahsedilebilir. Durum geçiş matrisi Eşitlik 2’deki gibidir.

Sistemin ilk durumu q_0 olarak tanımlanmaktadır. Bundan sonra gelecek herhangi bir durum dizisi $q = (q_0, q_1, \dots, q_r)$ ’nin bir markov işlemi ile üretilebilme olasılığı Eşitlik 3’te gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$P(q | A) = \pi_{q_0} a_{q_0 q_1} a_{q_1 q_2} \dots a_{q_{r-1} q_r} \quad (3)$$

Eğer durum dizisi q doğrudan gözlemlenemiyorsa markov işlemi gizli olarak adlandırılmaktadır. Bu durumda durumların dolaylı olarak gözlemlenebilmesi söz konusudur. Bir gözlem ve bir durum arasında her ne kadar birebir bir gereklilik olmazsa bile her bir

durumun Şekil 5'teki gibi belirli bir olasılıkla gözlenmesi gerekmektedir.

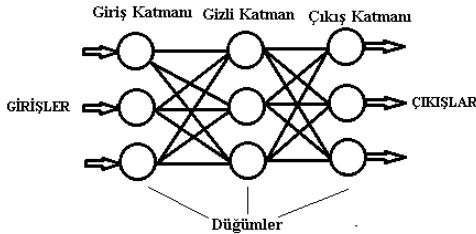


Şekil 5. 5 durumlu soldan sağa HMM örneği.

Bir konuşma tanıma sisteminde gözlemler özellik vektörleri, durumlar ise sesli ifade birimlerine denk gelmektedir. Bu durumda saklı olan durum dizisini gözlemleri kullanarak bulmak temel amaçtır. Eğer konuşma tanıma sistemi fonem tabanlı bir sistem ise, fonem dizisi durum dizisi olarak kabul edilmektedir.

Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network):

İnsan beyninin çalışma prensibi üzerine kurulmuş olan Yapay Sinir Ağları yöntemi giriş ve çıkış veri kümelerini kullanarak sistem davranışını öğrenebilen yapay sistemler olarak bilinmektedir [22]. Şekil 6'da YSA'nın genel modeli verilmiştir.



Şekil 6. Yapay sinir ağı genel modeli.

Konuşma tanıma sistemlerinde kesin sınırlar belirli olmadığından YSA yaklaşımına dayalı geriye yayılma algoritması (perceptron), çok katmanlı ağlar (multilayer networks) ve kendi kendini organize eden Kohonen haritaları (Kohonen self-organizing maps) gibi yöntemlerin kullanılması uygun görülmektedir.

YSA yöntemi, eğitime ve kullanma olmak üzere iki temel aşamadan oluşmaktadır. Eğitim aşamasında döğümlerin birbirlerine bağlantılarını ifade eden yüzdeler elde edilmektedir. Bu aşamada elde edilen yüzdeler kullanma aşamasında verilen girişlere çıkışlar hesaplanması için kullanılmaktadır. Bu yüzden kullanma aşaması eğitime aşamasından daha hızlı çalışmaktadır. [23].

3.3 Ses İyileştirme

Spektral Çıkarma Algoritmaları:

Spektral çıkarma algoritması (SÇA) ses sinyallerinde gürültü azaltımı için önerilen en eski algoritmalarından biridir. Şekil 7'de görselleştirildiği gibi gürültü içeren ses sinyalinden tahmini bir gürültü spektrumunun çıkarılmasıyla tahmini gürültüsüz bir sinyal elde edilmektedir. Ses sinyali içerisinde sesli ifadenin olmadığı yerlerde gürültü spektrumu tahmin edilip güncellenebilmektedir. İyileştirilmiş sinyal, gürültülü sinyalin fazı kullanılarak tahmin edilmiş sinyalin ters ayrık Fourier dönüşümü (inverse DFT) hesaplanmasıyla elde edilmektedir. SÇA'nın, doğrusal olmayan spektral çıkarma, çoklu bant spektral çıkarma, en küçük ortalama karesel hata tabanlı spektral çıkarma, genişletilmiş spektral çıkarma, uyarlanabilir ortalama kazanımı tabanlı spektral çıkarma, seçici spektral çıkarma ve algısal özellik tabanlı spektral çıkarma gibi algoritmaları bulunmaktadır [24].



Şekil 7. SÇA'nın genel yapısı.

Wiener Filtreleme:

Wiener Filtreleme (WF)'de, spektral çıkarma algoritmalarında olduğu gibi sezgisel tabanlı ilkeler bulunmamaktadır. En düşük karesel hata filtresi teorisini ilk olarak zaman uzayında Andrei Kolmogorov ve frekans uzayında Norbert Wiener geliştirmiştir [25]. Wiener filtresi katsayılarının hesaplanması için girişte kullanılacak sinyalin otokorasyon fonksiyonunun ve çıkışta elde edilmek istenen sinyalin çapraz kolerasyon fonksiyonunun tahmin edilmesi gerekmektedir. Eşitlik 4'te Wiener filtresinin giriş-çıkış işlemi gösterilmiştir [26].

$$x(m) = \sum_{k=0}^{P-1} w_k y(m-k) \quad (4)$$

Bu denklemde;

m : zaman indeksini,

$y^T = [y(m), \dots, y(m-P-1)]$: giriş sinyalini,

$x(m)$: Wiener filtresi çıkışı,
 $w^T = [w_0, w_1, \dots, w_{P-1}]$: Wiener filtresi katsayı vektörünü ifade etmektedir.

İstatistiksel Model Tabanlı Yöntemler:

Ses iyileştirme yapılırken istatistiksel model tabanlı yöntemlerde sinyal büyüklüğünün (ayrık fourier dönüşümü katsayıları) doğrusal olmayan kestirimi kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan bu kestirimler, gürültüye ait olasılık yoğunluk fonksiyonunu ve konuşma sinyalinin ayrık fourier dönüşümü katsayılarını kullanarak işlem yapmaktadır. En fazla benzerlik kestirimi, Bayesian kestirimi, en az ortalama karesel hata kestirimi, yönlendirilmiş karar yaklaşımı üzerinde iyileştirmeler, müzikal görüntüyü eleme yöntemleri, logaritma tabanlı en az ortalama karesel hata kestirimi, n'inci güç spektrumunun en az ortalama karesel hata kestirimi, Gaussian olmayan dağıtımlar tabanlı en az ortalama karesel hata kestirimi, MAP kestirimi, genel Bayesian kestirimi, algısal odaklı Bayesian kestirimi ve konuşma iyileştirmede konuşma bölgesi olmayan yerleri birleştirme gibi yöntemler istatistiksel model tabanlı yöntemler olarak bilinmektedir.

Altuzay Algoritmaları:

Ses iyileştirmede kullanılan altuzay algoritmaları çoğunlukla lineer cebir tabanlıdır. Altuzay algoritmaları temiz sinyalin gürültülü öklid uzayının bir altuzayıyla sınırlanabileceği ilkesine dayanmaktadır. Bu algoritmalar ile gürültülü sinyalin vektör uzayının, çoğunlukla temiz sinyalden oluşan bir altuzay ve çoğunlukla gürültülü sinyalden oluşan bir altuzay olarak iki ana parçaya ayrıştırılması amaçlanmaktadır. Daha sonra gürültülü altuzayda bulunan gürültü vektörünün elemanlarına "null" (boş) değer atanarak temiz sinyal tahmin edilmektedir. Gürültülü sinyalin vektör uzayının "sinyal" ve "gürültü" altuzaylarına ayrıştırılması tekil değer ayrışımı (TDA) ve özvektör (eigenvector) - özdeğer (eigenvalue) çarpanlara ayırma teknikleri gibi lineer cebirdeki en iyi bilinen ortogonal (dikey) matris çarpanlara ayırma teknikleri ile gerçekleştirilmektedir.

Gürültü Tahmin Algoritmaları:

Bir konuşma sinyali içerisinde gürültü tahmininin çok düşük seviyede gerçekleştirilmesiyle, ses içerisinde gürültüden kalan rahatsız edici artıkların duyulabilmesi,

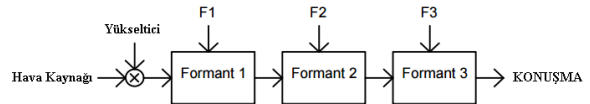
yüksek seviyede gerçekleştirilmesiyle de konuşma verisinin bozulup anlaşılabilirliğin yok olması dikkate alınması gereken iki önemli sorunu oluşturmaktadır. Bu bağlamda gürültü tahmini için en basit yaklaşımlarından biri ses hareketliliği tespiti (SHT) algoritması kullanarak, konuşmadaki her durma esnasında gürültü spektrumunu hesaplayıp güncellemektir. Bu yaklaşım sabit ortam gürültüsü (white noise) olan ses sinyallerinde başarılı olmasına rağmen, gürültünün sürekli değiştiği daha gerçekçi ortamdaki (ör. bir kıraathane'deki) seslerde tam verimli olmamaktadır.

Gürültü tahmin algoritmaları, minimal takip algoritmaları, zaman özyinelemeli ortalama algoritmaları ve histogram tabanlı teknikler gibi temel başlıklara ayrılmaktadır.

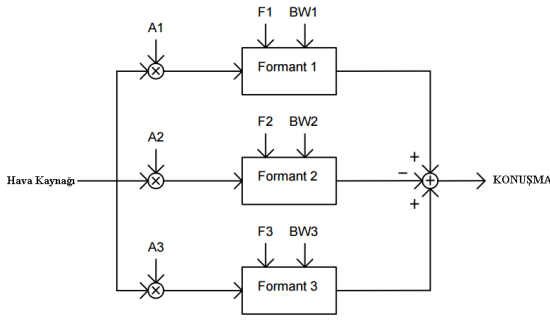
3.4 Konuşma Sentezleme

Formant Sentezleme:

Periyodik ve aperiodyik sinyaller üretilip bu sinyallerin vokal yolun modeli gibi olan bir filtre veya rezonatör devresiyle beslendiği kaynak-filtre modeli olarak tasarlanmıştır. Kabaca basitleştirilmiş bir uygulamada kaynak sinyali rasgele gürültü elemanları yüklenilmiş bir atış zinciri (impulse train) yada testere ucuna benzeyen şekilde bir sinyal olarak düşünülebilir. Bu yöntemde daha anlaşılır bir konuşma sinyali üretmek için azami 3 adet en düşük formant dikkate alınması gerekmekte olup sinyal ne kadar fazla formant içerirse o kadar yüksek kalitede olmaktadır. Vokal yol modellemesi yankılayıcının (resonators) Şekil 8'deki gibi basamak halinde (cascade) veya Şekil 9'daki gibi yatay olarak bağlanmasıyla gerçekleştirilmektedir [27]. Ses sentezleyici, formantları modelleyen yankılayıcıların yanı sıra gırtlığın yapısı ve dudak titreşimlerini modelleyen filtreleri ve burundan çıkan sesleri modellemek için anti-yankılayıcıları da (anti-resonators) barındırmaktadır.



Şekil 8. Basamak halinde formant sentezlemenin genel yapısı.



Şekil 9. Paralel formant sentezlemenin genel yapısı.

İfadesel Sentezleme:

İfadesel sentezlemede gırtlaktan başlayıp dudakta sona eren vokal yolun kesit alanı değişimini modellemek için genelde bir dizi alan fonksiyonu kullanılmaktadır. İfadesel modelde dudak pozisyonunu, dil konumunu, akciğer hava basıncını ve ses telleri gerilimini detaylı bir şekilde ayarlamak için çok sayıda kontrol parametresi kullanılmaktadır. Modellemeye esas olarak kullanılan veriler ise doğal konuşmanın X-Ray analizi ile elde edilmektedir.

Bitiştirerek Sentezleme:

“Kes ve yapıştır” sentezlemesi olarak da bilinen bitiştirerek sentezlemede, daha önce veritabanında saklanmış ses kayıtlarından kısa bölümler kesilip yanyana eklenerek istenilen ses oluşturulmaktadır. Yapay sesin oluşturulması için gerçek ses verilerinin kullanılması teoride yüksek ses kalitesi sağladığı bilinsede pratikte başta böyle bir sistemin gerektireceği yüksek kapasitede hafıza olmak üzere birçok kısıtlama mevcuttur. Bitiştirerek sentezlemede önemli sorulardan biride kesilecek/seçilecek ses parçasının uzunluğu ne olması gerektiğidir. Yeteri kadar esnekliği sağlamak ve hafıza gereksinimini karşılamak için en yaygın olarak fonemler ve difonlar seçilmektedir. Bitiştirme fonem ile yapıyorsa her fonemin merkez noktasında yapılır. Bu nokta fonemin en istikrarlı/sabit noktası olduğundan birleşmenin sınırlarında meydana gelebilecek bozulmanın (distortion) en düşük olması beklenmektedir.

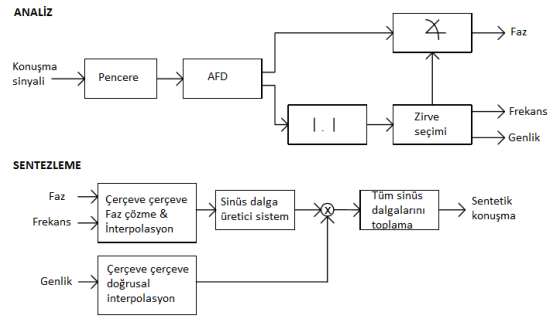
Yapay seste doğal ölçüyü yakalamak bugünkü teknikler ile imkansız olarak görülmekte olup ses parçacıkları arasındaki devamsız bölgeleri yok etmek için yoğunluğu ve temel frekans tabanlı birçok teknik önerilmektedir [28].

Sinusoidal sentezleme:

Sinusoidal sentezleme, bir konuşma sinyalin zamana bağlı değişen farklı genlik ve frekanslardaki birden fazla sinüs dalgasının birleşimiyle oluştuğu varsayımına dayanmaktadır. Eşitlik 5’te gösterildiği gibi, sinusoidal sentezlemede $s(n)$ konuşma sinyali L adet sinusoid’in toplamı olarak modellenmektedir.

$$s(n) = \sum_{i=1}^L A_i \cos(w_i n + f_i) \quad (5)$$

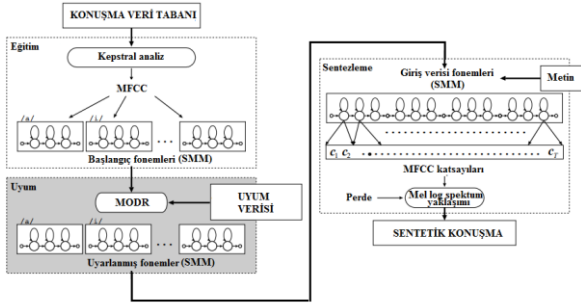
Bu denklem’de, A_i her bir sinusoidal’in sinyalin genlik değerini, f_i faz değerini ve w_i frekans değerini göstermektedir. A_i ve f_i parametrelerini bulmak için pencerelenmiş sinyal çerçevelerinin ayrık fourier dönüşümü (AFD) değeri hesaplanıp, Şekil 10’da gösterildiği gibi her çerçeveden spektral büyüklüğün zirve noktası seçilmektedir [29].



Şekil 10. Sinusoidal konuşma sentezleme/analiz sistemi.

Saklı Markov Modeli Tabanlı Sentezleme:

Saklı markov modeli tabanlı bir konuşma sentezleme sistemi Şekil 11’de gösterildiği gibi genel olarak eğitim, uyum ve sentezleme olmak üzere 3 aşamadan oluşmaktadır. Eğitim aşamasında konuşma veritabanından alınan örneklerin MFCC katsayılarıyla işlem yapılmaktadır. Uyum aşamasında verilen uyum bilgisine göre özellik vektörü hesaplanmaktadır. Sentez aşamasında ise sentezlenmesi istenen giriş verisi fonem dizisine dönüştürülmektedir [30].

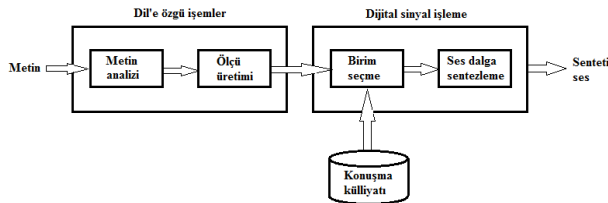


Şekil 11. SMM tabanlı konuşma sentezleme sistemi.

Birim Seçme Sentezleme:

Külliyyat tabanlı sentezleme olarak da bilinen birim seçme sentezlemede geniş veritabanı kullanılmaktadır. Veritabanı oluşturulurken, kaydedilmiş her konuşma örneği fonlara, hecelere, kelimelere, ifadeler ve cümlelere bölünmektedir. Genel yapısı Şekil 12'de gösterilen birim seçme sentezleme diğer metodlarla karşılaştırıldığında sentetik konuşmada daha çok doğallık sağladığı görülmektedir [31].

Birim seçme sentezlemede birim uzunluğunun seçimi önemli bir konu olarak görüldüğünden bu konu üzerinde birçok çalışma bulunmaktadır. Kısa birim uzunluğu seçimi daha az hafıza gerektirirken örnek toplayıp etiketleme daha zor ve karmaşık hale gelmektedir. Uzun birim seçimi, bölünme noktaları çok olmadığı için daha doğal ve eklemesal etkilerden uzak iken daha fazla hafıza gerektirmektedir [32].



Şekil 12. Birim seçme sentezleme sistemi.

4. Adli Açından Ses İncelemeleri

Adli Ses İnceleme Konuları:

Ses incelemelerinde kullanılabilecek yazılımlarda sayısal ses işleme teknikleri tabanlı yöntemler uygulanmaktadır. Kullanılan bu yöntemlerin adli ses inceleme yöntemi olarak sayılabilmesi için adli niteliğe sahip olması gerekmektedir. Örneğin bir metnin konuşmaya çevrilmesi (ses sentezleme) ve bir müzik kaydından vokal seslerin alınıp sadece müzik

aletlerine ait seslerin ortaya çıkarılması gibi işlemler ses işleme yöntemi olarak görülebilir ancak adli niteliğe sahip değildir. Ses inceleme yazılımlarının adli açıdan değerlendirilebilmesi için bu yazılımların aşağıdaki özellikleri barındırması beklenmektedir.

Konuşma Çözümleme (Transkripsiyon):

İncelenen ses kaydı üzerinde kayıta geçen konuşmaların yazıya dökülmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır. Bu çözümleme, kullanıcının ses kaydını segmentlere ayırıp her bir segmente karşılık o dildeki ifadeleri (fonem, hece, harf, kelime vs.) segment ile birlikte kaydetme işlemidir. Konuşma kaydı çözümleme işleminden sonra kayıt içerisinde istenilen ifadenin aratılması, konuşma kaydının dökümünün alınması gibi işlemler mümkün hale gelmektedir.

Kayıt Bütünlüğünün Doğrulanması:

Adli vakalarda delil olarak kullanılabilen ses kayıtları bütünlük açısından değerlendirildiğinde dikkate alınması gereken noktalar, o ses kaydının tek bir parça halinde olması ve üzerinde herhangi bir düzenleme yapılmamış olmasıdır. Günümüzde ses kayıtları ücretsiz birçok yazılım ile kolayca düzenlenebilmekte ve ortaya yeni bir ses kaydı çıkarılabilmektedir. Bir ses inceleme yazılımının adli ses inceleme yazılımı olarak kullanılabilmesi için adli vakalara konu olmuş ses kayıtları üzerinde kurgu/manipülasyon tespiti yapıp kayıt bütünlüğünü doğrulayabilmesi gerekmektedir.

Otomatik Ses İzi Eşleştirme:

Otomatik ses izi eşleştirme, içerik olarak niteliği belirsiz olan ses kaydının bilinen bir ses kaydı ile eşleştirilmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır. Birçok problem adli açıdan otomatik ses izi eşleştirme analizi ile çözülmektedir. Örneğin incelenen ses kaydında bulunan bir silah sesine ait ses izi üzerinden silahın marka/model tespitinin yapılması veya ses kaydındaki konuşmacıların teşhis edilmesi mümkün hale gelebilmektedir.

Spektrum Analizi:

Konuşma sinyalleri kendi içerisinde farklı frekanslarda bulunan birçok sinyal barındırdığı için karmaşık sinyaller olarak bilinmektedir. Konuşma sinyalleri açısından spektrum, konuşma sinyalindeki frekans değerlerinin zamanla değişimi anlamına gelmektedir. Spektrum analizi, zamana göre frekans

yoğunluklarının renklendirilmiş grafikte gösterildiği ve sesin görselleştirilmiş hali olarak da bilinen spektrogram üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bir ses kaydındaki konuşmada kulak yoluyla anlaşılmayan hece, harf, kelime vs. birimlerinden herhangi biri varsa bu birimlerin formant frekans değerleri göz önünde bulundurularak anlaşılmayan yerler belirlenebilmektedir.

Otomatik Formant Frekansları Tespiti:

Formant, ses dalgası enerjisinin belli bir frekansta yoğunlaşması olarak tanımlanmaktadır. Formant frekansı ise bu yoğunlaşmanın gerçekleştiği frekans değerini belirtmektedir. Her insanın hatta ses dalgası yayan her nesnenin ses yolu farklı olduğu için ürettiği ses dalgası içerisindeki formant frekansları farklıdır. Sesli harflerin seslendirilmesi sırasında oluşan kişiye özgü formant frekanslarının tespiti, spektrogram üzerinden görsel olarak yapılabilir. Formant frekans değerlerinin otomatik olarak belirlenmesi, seslendirme yapılırken formant frekans değerlerinin sesli harflerden önce ve sonra gelen harflerden etkilenmemesi açısından önem taşımaktadır.

Kayıt İyileştirme (Filtreleme):

Adli ses inceleme yöntemlerinden biride ses kaydının kalitesini ve anlaşılabilirliğini arttırmak için yararlanılan kayıt iyileştirme. Kayıt iyileştirme ile ses kaydı yapılan cihazdan kaynaklanan gürültüler önemli ölçüde temizlenmektedir. Gürültü azaltma ve sesli kısımları vurgulama gibi kayıt iyileştirme işlemlerinden sonra konuşma çözümü, konuşmacı teşhis ve tanıma, konuşmacı profili belirleme gibi işlemler daha başarılı sonuç vermektedir.

Konuşmacı Profili Belirleme:

Konuşmacı profili belirleme işleminde kişinin yaş, cinsiyet ve sağlık gibi fiziksel özellikleri ortaya çıkarılmaktadır. Bu işlemde işitsel yol ile yapılan analizlerle birlikte adli ses inceleme yazılımının fiziksel özellikleri otomatik tespit edebilmesi sağlıklı sonuç elde etmede başarı sağlamaktadır. Dünyada birçok hukuk sisteminin önemle üzerinde durduğu sorunlardan olan çocuk istismarı, tehdit ve şantaj gibi vakalarda yararlanılacak herhangi bir ses delilinde yaş ve cinsiyet tespiti yapılması önem arz etmektedir.

Birden Çok Konuşmacıyı Ayırt Etme:

Adli vakalarda dijital delil olarak kullanılan ses kayıtlarının incelenmesi sırasında, bu kayıtlarda geçen konuşmalarda işitsel olarak birbirlerine benzeyen birden fazla konuşmacının var olması bu konuşmacıların seslerinin yazılım yolu ile ayrıştırılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Birden çok konuşmacı varlığının söz konusu olduğu bir ses kaydı üzerinde belirli kişiye ait sesin mevcut olup olmadığının tespiti, mevcut ise bu kişinin seslendirdiği zaman aralığının belirlenmesi ve ses kaydındaki konuşmacıların seslendirdiği bölümlerin ayrı ayrı segmente edilmesi işlemleri gerçekleştirilebilmektedir.

Maskelenmiş Ses Analizi:

Ses maskeleye, bir ortamda kayıt altına alınan konuşmaların yüksek müzik veya televizyon sesleriyle fiziksel maskeleye maruz kalması olarak bilinmektedir. Özellikle yasal dinlemelerde, dinlendiğinden şüphelenen kişi tarafından kaydın kalitesini bozacak maskeleye yapılıyorsa bu ses kaydına gerçek zamanlı veya sonradan maskelenmiş ses analizi uygulanıp ses kaydında sadece konuşmanın olduğu kısımlar vurgulanabilmektedir.

Gerçek Zamanlı Ses Analizi:

Adli ses analizleri, analizin yapıldığı zaman açısından, sesin kayıt altına alındığı esnada ve ses kaydı alındıktan sonra analiz yapılması şeklinde temel olarak ikiye ayrılmaktadır. Gerçek zamanlı ses analizi, ses kaydının olduğu esnada anlık analiz yapılması işlemidir. Bu tür analizde kayıt cihazı yazılıma bağlanıp yazılım ve donanımın eşzamanlı çalışması sağlanmaktadır. Kayıt iyileştirme, spektrum analizi, maskelenmiş ses analizi gibi işlemlerin gerçek zamanlı analiz yoluyla yapılması konuşmayı net anlaşılır hale getirmekte ve konuşmacı tanımayı kolaylaştırmaktadır.

GSM Gürültüsü Yok Etme:

IS-95 (Interim Standard 95) ile birlikte günümüzün en çok kullanılan hücresel iletişim teknolojilerinden biri olan GSM (Global System for Mobile) [33], kendi sinyallerine yakın olan elektronik bir cihaz üzerinde parazit oluşturabilmektedir. Cep telefonları tarafından üretilen bu titreşim sesi, cep telefonu yakınındaki bir ses kayıt cihazı ile alınan sesi anlaşılmaz hale getirerek adli ses incelemeyi zorlaştırmaktadır. Bu nedenle ses kayıtlarında bulunabilen GSM

gürültülerinin temizlenmesi, bu kayıtların daha sağlıklı bir şekilde analiz edilmesine olanak sağlamaktadır.

Dil / Aksan Tanıma:

Küresel güvenlik açısından terörizmle mücadele ve istihbarat alanında dil ve aksan tanımının önemi gittikçe artmaktadır [34]. Dil/Aksan tanıma analizi, incelemeye konu olan ses kaydındaki konuşmacıların hangi ülkeden ve daha da ötesi hangi yöreden olduğunu tespit etmeye yönelik çalışmaları içermektedir. İşitsel yol ile yapılan dil/aksan tanımının otomatik dil/aksan tanıma ile gerçek zamanlı ses analizinde bütünleştirilip yapılması adli ses analistlerine başta zaman yönetimi olmak üzere her açıdan fayda sağlamaktadır.

Adli Ses İncelemelerinde Zorluklar:

Ses delillerinin incelenmesinde diğer delil türlerinde (disk, ram, cep telefonu vs.) olduğu gibi bir takım zorluklarla karşılaşılabilir. Adli ses incelemelerinde:

- Mevcut ses inceleme yazılımlarının, otomatik ses analizlerinde eksiklikler barındırması nedeniyle adli ses incelemelerinin çoğunlukla incelemecinin işitsel kabiliyetine bağlı olarak gerçekleştirilmesi,
- Dijital ses kayıtları üzerinde yazılımsal olarak yapılan manipülasyonların analog kayıtlar üzerinde yapılan fiziksel değişikliklere göre daha zor tespit edilmesi,
- Ses benzerlikleri yoluyla ses sahteciliği,

- Alışkanlık (sigara, alkol vs.), yaş, ve hastalık gibi etmenlerin ses üzerinde doğrudan değişiklik etkisinin bulunması

gibi zorluklarla karşılaşmaktadır.

Adli Ses İnceleme Yazılımları:

Ses incelemeleri için kullanılan yazılımlarda sayısal ses işleme tabanlı teknikler kullanılmaktadır. Bu yazılımların adli açıdan değerlendirilebilmesi için adli ses inceleme konularını uygulayabilmesi beklenmektedir. Bu makalede, önceki bölümde anlatılan adli ses inceleme konuları ve bazı ilave performans kriterleri göz önünde bulundurularak adli ses inceleme yazılımlarının değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Ses incelemelerinde kullanılabilecek birçok yazılım mevcuttur. Bu makalede, DC/Live Forensics (A.B.D.), SIS II (Rusya), SESTEK (Türkiye), Acu-Expert Audio Forensic (İrlanda), CEDAR Audio Forensic (İngiltere), Audacity, PhonEdit (Fransa), SFS/WASP (İngiltere), Agnitio SIFT (İspanya), SIL Speech Analyzer (A.B.D.), Praat (Hollanda), UCL Enhance (İngiltere), CoolEdit (A.B.D.), Acoustica 7 (Norveç), WaveSurfer (İsveç), Adobe Audition (A.B.D.), IKAR Lab (Rusya), LingWaves (Almanya), WinPitch 10 (Kanada), TrueRTA (A.B.D.), GoldWave (Kanada), WavePad (A.B.D.), Raven (A.B.D.), Sound Forge Pro 11 (Almanya), SoundRuler (A.B.D.), SpectraPLUS (A.B.D.), QuickEnhance Plug-in (A.B.D.) ve Foenics (Almanya) yazılımları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu yazılımların karşılaştırmaları Şekil 13'te gösterilmiştir.

		YAZILIM																											
		DC Forensics	STC SIS II	SESTEK	Acu-Exp. Forensic Audio	CEDAR Cambr.	Audacity	PhonEdit	SFS/AVASP	Agnitio SIFT	Speech Analyzer	Praat	UCL Enhance	CoolEdit	Aconisica 7	WaveSurfer	Adobe Audition	IKAR Lab	lingWaves	WinPitch 10	TrueRTA	GoldWave	WavePad	Raven	Sound Forge	SoundRuler	SpectraPLUS	OE Plug-in	C-I FOENICS
DEĞERLENDİRME																													
Teknik	Konuşma çözümüleme (transkripsiyon)	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓
	Kayıt bütünlüğünün doğrulanması	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Otomatik ses izi eşleştirme (Konuşmacı teşhis ve tanıma)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Spektrum analizi	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Otomatik formant frekansları tespiti	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Kayıt iyileştirme (filtreler)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Konuşmacı profili (yaş, cinsiyet) belirleme	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Birden çok konuşmacıyı ayırt edebilme	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Maskelenmiş ses analizi	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Gerçek zamanlı ses analizi	✓	-	-	-	✓	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	✓	✓
	GSM gürültülerini yok etme	✓	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	✓	✓
	Dil-Aksan tanıma	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Performans	Lisans gereksinimi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Ücretli	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	-	-	-	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ücretsiz		-	-	-	-	-	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	
USB Lisansı (dongle)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Eklenti desteği		-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	✓	-	-	✓	
Platform		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Windows		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Linux		-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	✓	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	✓	-	-	✓	-	-	
MAC		-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	
Backup		✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Ağ/Bulut'tan dosya aktarımı ve yönetme		-	-	-	-	✓	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Arayüz kişiselleştirme		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Önceden kaydedilmiş (preset) yüklenebilir ayarlar		✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	
Gelişmiş klavuz ve yardım		✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Raporlama desteği	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓		

Şekil 13. Ses incelemelerinde kullanılan yazılımların adli açıdan karşılaştırılması.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu makalede, mevcut durumda yapılan ses incelemelerinin ses adli bilişimi (audio forensics) açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Konuşma fizyolojisi, işitme fizyolojisi, ses bilimi konuları detaylı bir şekilde açıklandıktan sonra ses incelemede kullanılan tekniklere ön işlemler, konuşma/konuşmacı tanıma, ses iyileştirme ve konuşma sentezleme gibi alt başlıklar bazında değinilmiştir. Yakın geçmişte dijital delil incelemeleri tek bir incelemeci tarafından yapılabiliyorken, inceleme alanlarının genişlemesi ile birlikte konusunda uzman incelemecilere ve araçlara olan ihtiyacın artması

6. Kaynaklar

1. Kara, O. K., 2011. Adli amaçlı ses analizinde otomatik konuşmacı tanıma yazılımı kullanılarak kardeşler arası ses benzerliklerinin ve farklılıklarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Adli Tıp Enstitüsü, İstanbul.
2. M.E.B., Müzik aletleri yapımı ses oluşum uygulamaları, Ankara, 2006.
3. Makkook, M. A., 2007. A Multimodal Sensor Fusion Architecture for Audio-Visual Speech Recognition, Master Thesis, University of Waterloo, Canada.

sonucu ortaya çıkan ses adli bilişiminde yer alan konuşma çözümüleme, kayıt bütünlüğünün doğrulanması, konuşmacı profili belirleme ve kayıt iyileştirme gibi çalışmalardan bahsedilmiştir. Bu çalışmada son olarak adli ses incelemelerinde kullanılacak yazılımlar teknik ve performans açısından değerlendirilip sonuçlar bir karşılaştırma tablosunda gösterilmiştir. Bu karşılaştırmanın en önemli amacı bir adli ses uzmanına ses analizi yaparken hem analizin doğru ve güvenilir olmasını sağlamak hem de süreçleri optimum seviyede gerçekleştirmek için ihtiyaca uygun yöntem ve araçları seçme konusunda yardımcı olmaktır.

4. Campbell, J. P., 1997. Speaker Recognition: A Tutorial, Proceedings of the IEEE, 85, 1437-1462.
5. Parsons, T. W., 1987. Voice and Speech Processing, McGraw-Hill, New York.
6. Pentz, A., 1990. Speech science (Spath 4313) class notes, Oklahoma State University, Stillwater.
7. Ergenç, İ., 1995. Konuşma Dili ve Türkçenin Söyleyiş Sözlüğü, Şafak Matbaacılık, Ankara.
8. Sever, H., 2008. Adli Ses İncelemeleri ve Hukuki Boyutu, Adalet Yayınevi, Ankara.
9. Selen, N., 1979. Söyleyiş sesbilimi Akustik sesbilim ve Türkiye türkçesi, TDK yayınları, Ankara.

10. Artuner, H., 1994. Bir Türkçe Fonem Kümeleme Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirimi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara..
11. Demircan, Ö., 1979. Türkiye Türkçesinin Ses Düzeni Türkiye Türkçesinde Sesler, TDK yayınları, Ankara.
12. Mengüşoğlu, E., 2004. Confidence Measures for Speech/Speaker Recognition and Applications on Turkish LVCSR, PhD Thesis, University of Mons, Belgium.
13. <https://www.biyolojigunlugu.com/lys-kulak-konulanlatimi-kulak-islevi-kulak-yapisi-kulak-bilesenleri/>, YS, Kulak Konu Anlatımı, Kulak İşlevi, Kulak Yapısı, Kulak Bileşenleri, 15 Eylül 2017.
14. Flanagan, J. L., 1972. Speech Analysis; Synthesis and Perception, Springer, U.S.A..
15. Xie, L. and Liu, Z. Q., 2006. A Comparative Study of Audio Features for Audio to Visual Conversion in MPEG-4 Compliant Facial Animation, Proceedings of the 5th International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Dalian, August 13-16.
16. Dave, N., 2013. Feature Extraction Methods LPC, PLP and MFCC in Speech Recognition, International Journal for Advance Research in Engineering and Technology, 1, Issue VI.
17. Kavitha. R., Nachammai. N., Ranjani. R. and Shifali. J., 2014. Speech Based Voice Recognition System for Natural Language Processing (Voice Recognition using Dynamic Time Warping and Mel-Frequency Cepstral Coefficients Algorithms), International Journal of Computer Science and Information Technologies, 5, 5301-5305.
18. Gaudard, C., Aradilla, G. and Boulard, H., 2007. Speech Recognition based on Template Matching and Phone Posterior Probabilities, IDIAP, Switzerland.
19. Karasartova, S., 2011. Metinden Bağımsız Konuşmacı Tanıma Sistemlerinin İncelenmesi ve Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
20. Geleğin, İ. ve Bolat, B., 2011. Ayrık Kelime Tabanlı Bir Konuşma Tanıma Sistemiyle Bilgisayar Kontrolü, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Elazığ, 5-7 Ekim.
21. Yalçın, N., 2008. Konuşma Tanıma Teorisi ve Teknikleri, Kastamonu Eğitim Dergisi, 16, 249-266.
22. Rumelhart, D.E. and McClelland, J.L., 1986. Parallel Distributed Processing, MIT Press, Cambridge, 10-16.
23. Akçayol, M.A., 2001. Bir Anahtarlamalı Relüktans Motorun Sinirsel-Bulanık Denetimi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
24. Loizou, P.C., 2013. Speech Enhancement Theory and Practice, CRC Press, U.S.A.
25. Vaseghi, S.V., 2008. Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction, Wiley Publication, U.K.
26. Kutlu, C. ve Arserim, M. A., 2012. Spektral çıkarma tabanlı kalman filtresi ile ses sinyallerinin iyileştirilmesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 3/1, 49-59.
27. Lemmetty, Sami., 1999. Review of Speech Synthesis Technology, Master Thesis, Helsinki University of Technology, Finland.
28. http://www.cs.tut.fi/courses/SGN-4010/puhsynteesi_en.pdf, Speech Synthesis. 7 Haziran 2017.
29. Macon, M. W., 1996. Speech Synthesis Based on Sinusoidal Modeling, PhD Thesis, Georgia Institute of Technology, U.S.A.
30. Tamura, M., Masuko, T., Tokuda, K. and Kobayashi T., 1999. Speaker Adaptation for HMM-Based Speech Synthesis System Using MLLR, The 3rd ESCA/COCOSDA Workshop on Speech Synthesis, Australia, November 26-29.
31. Kayte, S., Mundada, M. and Kayte C., 2015. A Review of Unit Selection Speech Synthesis, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 5, 5.
32. Gros, J. Z. and Mario, Z., 2008. An Efficient Unit-selection Method for Concatenative Text-to-speech Synthesis Systems, Journal of Computing and Information Technology, 16, 69-78.
33. <http://www.ni.com/tutorial/7107/en/>, IS-95 (CDMA) and GSM(TDMA) Overview, 4 Temmuz 2017.
34. <http://www.forensiclinguistics.net/POST-PN-0509.pdf>, Houses of Parliament, Forensic Language Analysis, 5 Temmuz 2017.

Davranışsal Biyometrinin 5 Yılı: Kimlik Doğrulama ve Anomali Tespit Uygulamaları

Fatma GÜMÜŞ¹, Oğuz ATA², Hasan Hüseyin BALIK^{1,3}

¹Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

²Yazılım Mühendisliği Bölümü, İstanbul Altınbaş Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

³Hava Harp Okulu, Milli Savunma Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

hasanbalik@gmail.com

(Geliş/Received: 05.07.2017; Kabul/Accepted: 13.11.2017)

Özet

Mevcut biyometrik kullanıcı doğrulama teknikleri ikiye ayrılabilir: fizyolojik ve davranışsal yaklaşımlar. Fizyolojik biyometri, bir kişinin parmak izi, yüz, iris/retina ve el/avuç içi gibi fiziksel özellikleri ile ilişkili iken davranış biyometrisi, bir kişinin ses, yazılı imzalama, yürüyüş, yazım ritmi (tuş vuruş dinamikleri) ve dokunmatik dinamikleri gibi davranış modeliyle ilgilidir. Bu çalışmada son beş yılda en yaygın olarak incelenen davranışsal biyometri yöntemlerinin kimlik doğrulama ve anomali tespit uygulamalarında kullanılan öznelilikler ve çalışmaların performansları incelenmiştir. Davranışsal biyometri yöntemleri üç ana başlıkta incelenmiştir: Vücut dinamiklerine dayalı davranışsal biyometri (yürüyüş ve üst vücut dinamikleri, ses ve konuşma, göz hareketleri ve bakış, dudak hareketleri), bilgisayar çevre bileşenleri ve taşınabilir cihaz etkileşimine dayalı davranışsal biyometri (tuş vuruş dinamikleri, fare etkileşimi, dokunmatik ekran etkileşimi, diğer taşınabilir cihaz etkileşimi), imza ve davranış dinamikleri.

Anahtar Kelimeler: Davranışsal biyometri, biyometrik kimlik doğrulama, biyometrik anomali davranış tespiti.

5 Years Of Behavioral Biometrics: Authentication And Anomaly Detection Applications

Abstract

Biometric user verification techniques can be divided into two types: physiological and behavioral. While physiological biometry is related to the physical characteristics of a person such as fingerprint, face, iris/retina, and hand/palm, behavior biometrics relate to a behavioral pattern such as a person's voice, written signature, gait, keystroke and touch dynamics. In this study, the features used and the performances of the studies in authentication and anomaly detection applications of behavioral biometry methods are examined. The study's focus is the methods that have been examined most commonly in the past five years. Behavioral biometry methods are investigated in three main categories: behavioral biometry based on body dynamics (gait and upper body dynamics, voice and speech, eye movements and gaze, lip movements), behavioral biometry based on computer components and mobile device interaction (keystroke, mouse interaction, touch interaction, other portable device interaction), signature and behavior dynamics.

Keywords: Behavioral biometrics, biometric authentication, biometric anomaly behavior detection.

1. Giriş

1.1. Motivasyon

Bilgisayar ve internet uygulamalarının modern yaşamın vazgeçilmezleri olması ile birlikte bilgi ve sistemlere erişimde yetkili girişlerin yüksek doğrulukta sağlanması ve yetkisiz giriş teşebbüslerinin hassasiyetle yakalanması daha önemli hale gelmiştir. Bununla birlikte, giriş yapılan bir sistemde gerçekleştirilen işlemlerin yada güvenliğinin kontrol altında tutulması amaçlanan bir bölgede

meydana gelen normal ve anormal durumların tespit edilmesi de gereklilik olmuştur.

Yetkili giriş sorgulamasında girişi yapanın iddia ettiği kişi olduğunun doğrulanmasında kullanılan klasik yöntemler kişinin sahip olduğu bir eşya (genellikle elektronik kart) ve/veya bilgisi dâhilinde olan bir anahtar bilgi (şifre, PIN) ile doğrulamayı gerçekleştirir. Ancak kart ve şifrenin çalınması ya da sahtesinin üretilmesi önüne geçilmesi zorlu senaryolardır. Kişinin bireyselliğini ayırt edici olarak belirleyen,

fiziksel ya da davranışsal olarak üzerinde taşıdığı biyometrik veri ise çalınma ve sahtecilik senaryolarına karşı oldukça dirençlidir.

Mevcut biyometrik kullanıcı doğrulama teknikleri ikiye ayrılabilir: fizyolojik ve davranışsal yaklaşımlar. Fizyolojik biyometri, bir kişinin parmak izi, yüz, iris/retina ve el/avuç içi gibi fiziksel özellikleri ile ilişkili iken davranış biyometrisi, bir kişinin ses, yazılı imzalaması, yürüyüş, yazım ritmi ve dokunmatik dinamikleri gibi davranış modeliyle ilgilidir[1].

Davranışsal biyometri için güçlü bir argüman, ek donanım gerektirmeden kimlik doğrulamaya yardımcı olabilmesidir. Sonuç olarak, davranışsal kimlik doğrulamanın fizyolojik biyometri kullanmaktan daha ucuz olmasının yanında, ek donanım kullanımı içermediği için, kullanıcı tarafında giriş sisteminin kullanımı daha kolaydır.

Davranışsal biyometrik özelliklerin kullanıldığı sistemde pasif doğrulama yapmak oldukça elverişlidir. Aktif kimlik doğrulama, bir cihazla uğraşmayı ve bir veya daha fazla geçerli bilgi parçasını girmeyi veya başka türlü bir etkileşim gerektirir. Günümüzde kullanıcılar çok fazla sayıda uygulama veya hizmet kullandığından, her bir uygulama/hizmet için bu tür kimlik doğrulamanın gerekli olması sıkıcı ve sinir bozucu olarak değerlendirilebilir. Bunun bir sonucu olarak kullanıcılar sistem erişiminde daha az güvenli seçenekleri tercih edebilirler. Pasif, yada diğer bir adıyla sürekli doğrulama, sistem arka planında kullanıcıya direkt girdi isteği göndermeden çalışır. Kullanıcı sisteme giriş yaptıktan sonra sistemde tanımlanmış özelliklerin kaydını tutmaya başlar. Yeterli veri toplandığında istatistiksel yöntemler veya makine öğrenimi kullanılarak kullanıcı modeli oluşturulur ve belli süre aralıklarıyla ya da belli şartlar gerçekleştiğinde model güncellenebilir. Kullanıcı sistemde işlem yapar hâldeyken sürekli veri toplanır ve oluşan davranış modeli kullanıcı modeliyle karşılaştırılır. Anormal davranış tespit edildiğinde sistemde tanımlı güvenlik prosedürü uygulanır.

Fiziksel özelliklerin toplanmasında yüksek kaliteli girdi gerekirken, davranışsal özelliklerde bu hassasiyet şart değildir. Çünkü statik bir ölçümden çok zaman içindeki değişimlerin ifade edilmesi yolu izlenmektedir. Örneğin, güvenlik kameralarından alınan görüntüler, özellikle giriş

kontrolü değil gözetim amaçlı kullanılanlar, yüz tanıma ile kimlik doğrulama için yeterli kaliteye sahip değildir. Ancak yürüyüş profilinin çıkarılmasında insan vücudu hareket aksamlarının silüetinin elde edilmesi yeterli olabilmektedir[2].

Tüm bu özelliklerinin yanında bir dezavantaj olarak, birçok davranışsal biyometrik özelliğin fizyolojik özelliklere göre ayırt ediciliğinin daha az olduğu ve başka bir biyometrik özellik yada klasik giriş yöntemi ile birlikte kullanılmasının daha güvenli olduğu literatürde belirtilmiştir[3,4,5].

1.2. Araştırmanın gerekçesi ve katkısı

Bu çalışmada davranışsal biyometri alanında, kimlik doğrulama ve anomali tespit uygulamalarını konu alan son beş yılı içeren güncel çalışmaları incelenmesi ve bu süre zarfında en çok kullanılan yöntemlerin ve açık problemlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Davranışsal biyometri yöntemleri kategorize edilirken literatürdeki mevcut bölümlendirilmeden yararlanılmış ancak nihai şema son 5 yılda öne çıkan çalışmaların gruplandırılmasıyla oluşturulmuştur.

Biyometrik doğrulama ve anomali tespit uygulamalarının genel mimarisi benzerlik göstermektedir. Bu nedenle, incelemenin kapsamı son beş yılda öne çıkan çalışmalarda davranışsal biyometride kimlik modeli oluşturmanın ana fonksiyonu olan öznitelik çıkarımı prosedürlerini tanıtmak ve raporlanan başarılarını bildirmek olarak tanımlanmıştır. Doğrulama ve anomali tespit aşamasında kullanılan yöntemler kapsam dışı olduğu için bunlar hakkında ayrıntılı bilgiye yer verilmemiştir.

Yampolskiy ve Govindaraju[1] davranışsal biyometriyi beş alt grupta incelemektedir. İlk grupta incelenen kaynak tabanlı biyometri, bir kişinin ürettiği bir metin veya bir çizimi incelemeye dayanır. İkinci kategori, insan bilgisayar etkileşimi tabanlı biyometriden oluşur. Üçüncü kategori, bilgisayar yazılımının gözlemlenebilir düşük seviyeli eylemleri üzerinden kullanıcının davranışını izleyerek elde edilebilen, dolaylı insan bilgisayar etkileşimi tabanlı biyometri kümesidir. Diğer bir kategori, beyin, iskelet, eklemler ve sinir sistemi gibi motor becerilere dayandırılmıştır. Son grupta ise

saf davranışsal biyometri olduğu belirtilmiştir. Bu grup, bireyin davranışında benzersiz bilgi içeren ancak kalıcı kas hareketleri üzerinde yoğunlaşmayan insan davranışını içerir.

Davranışsal biyometri konusunda son yıllarda yapılan çalışmalar genellikle bu kategorizasyona atıfta bulunmuş olsa da içerik yoğunluğu bakımından mobil teknolojiler ve çevrimiçi kullanıcı davranışı gibi güncel gelişmelere paralel olarak gelişen ihtiyaçlara yönelik özel konulara yoğunlaşmıştır[5,7,8,9,10].

Geçtiğimiz iki yılda davranışsal biyometriyi ele alan inceleme (survey) çalışmalarında da benzer bir trend izlenmektedir. Alzubaidi ve diğ. [11] kullanıcı-akıllı telefon etkileşimine dayalı biyometrik özelliklerin kullanıldığı çalışmaları incelemiştir. Dört tür özellik ayrıntılı olarak incelenmiştir: tuşlama, dokunmatik ekran davranışı, yürüyüş ve el hareket mimikleri. Neves ve diğ. [2] sınırlandırılmamış koşullar ve izleme (surveillance) şartlarında davranışsal biyometri incelemesi, anomali ve eylem tespiti üzerine bir inceleme yapmıştır. Ali ve diğ. [12] tuş vuruşu dinamik kimlik doğrulaması, kullanılan yöntemler ve algoritmalar, doğruluk oranı ve bu araştırmaların eksikliklerini araştırmıştır. Meng ve diğ. [5] mobil telefonlarda uygulanan 6 davranışsal biyometrik kimlik doğrulama yöntemini (konuşma, imza, yürüyüş, davranış profili, tuşlama, dokunma) içeren bir inceleme yapmıştır.

Jain ve diğ. (2016) biyometrinin akademik çalışmalarda son 50 yılını değerlendirirken üç ana grup belirlemiştir: Kolluk kuvvetleri ve adli tıp uygulamalarında kullanılan özellikler, çoğunlukla ticari uygulamalarda kullanılan ancak kullanımı sınırlı olan özellikler ve araştırmacılar tarafından incelenmiş ancak yeterli teknolojik olgunluk veya kabul görmemiş özellikler[13]. Parmak izi, yüz, iris, kulak, yürüyüş, el, perioküler ve ses özelliklerine ilişkin akademik çalışmalar incelenmiştir. Fizyolojik ve davranışsal biyometrik özellikleri ele alan kapsamlı bir çalışma olmasına karşın, davranışsal biyometriye ilişkin yalnız ses özellikleri ve yürüyüş dinamiklerine yer vermesi nedeniyle davranışsal biyometri içeriği kısır kalmıştır.

Davranışsal biyometride son 5 yıllık literatürün incelendiği bu çalışmada son yıllarda öne çıkan konulara geniş yer vermek için

yöntemler üç ana bölüme ayrılmıştır: Vücut Dinamiklerine Dayalı Davranışsal Biyometri, Bilgisayar Çevre Bileşenleri ve Taşınabilir Cihaz Etkileşimine Dayalı Davranışsal Biyometri, İmza ve Davranış Dinamikleri. Bu çalışmanın devamı şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2'de biyometrik kimlik doğrulama, anomali tespiti ve değerlendirme metriklerini içeren arka plan kavramları, Bölüm 3'te üç ana başlığa ayrılmış literatür incelemesi, Bölüm 4'te ise yapılan incelemeye ilişkin genel değerlendirme ve açık sorulara yer verilmiştir.

2. Arka Plan Kavramları

2.1. Biyometrik kimlik doğrulama ve anomali tespiti

Biyometrik kimlik doğrulama ve anomali tespit uygulamalarının genel mimarisi fizyolojik ve davranışsal biyometri için aynıdır. Kimlik doğrulamada biyometrik özellik girdi olarak alınır, tüm geçerli kullanıcılar için bireysel modeller oluşturulur ve saklanır. Sisteme gelen giriş isteklerinde, istek sahibinden toplanan biyometrik girdi iddia edilen kimliğe ait saklı modelle karşılaştırılır ve doğrulama sonucu hesaplanır. Sistemde tanımlı eşleme skoru sağlanıyorsa erişim izni verilir, aksi halde erişim engellenir.

Davranışsal anomali tespit sistemleri sistem ve/veya kullanıcı davranışlarına odaklanmaktadır. Sistem davranışı, cihaz tarafından üretilir, bilgisayar etkinlikleri ve ağ durumuyla ilgilidir. Kullanıcı davranışı, kullanıcının sistemle etkileşimi sırasında üretilmektedir ve bu çalışmada anomali analizinin odağını oluşturmaktadır. Kullanıcı profili biyometrik ve psikometrik olarak incelenebilir[9].

Anomali tespit sistemleri genel olarak yetkisiz sistem girişlerinin tespiti amacıyla kullanılmaktadır. Sistemde toplanan kullanıcı verisi ile kullanıcının normal davranışının modeli oluşturulur (profil). Profiller statik yada zaman içinde yenilenecek şekilde tasarlanabilir. Aktif bir oturumda kullanıcı aktiviteleri sistemde toplanır, kayıtlı kullanıcı davranışıyla olan benzerliği hesaplanır. Dinamik profil yenilemenin olduğu sistemlerde, anomali analizinde aktif davranışın normal dışı olmadığı sonucuna varılırsa, bu yeni aktiviteler ile kullanıcı profili güncellenir. Normal davranış

dışı aktivite olduğu tespit edildiğinde, sistemde tanımlı uyarı mekanizmaları devreye girer.

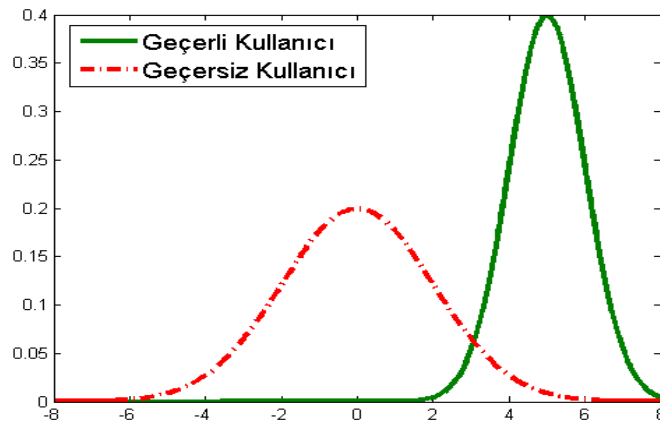
Biyometrik tanıma ve anomali tespit sistemlerindeki öncelik, tanıma hatalarını en aza indirmek olduğu için uygun sensör, öznelik seçim/çıkarım prosedürü ve benzerlik ölçümünün tasarlanması önemlidir. Öznelikler bireyi yeterince açıklamalı ve diğer bireylerden mümkün olduğunca ayırabilecek niteliğe sahip olmalıdır. Bu nedenle algılayıcıdan toplanan biyometrik veri nicelleştirildikten sonra öznelik seçimine yada çıkarımına tabi tutulur. Çeşitli biyometrik verinin kaynakları farklı olduğu için özneliklerinin de farklılık göstereceği açıktır.

Modelleme ve doğrulama prosedüründe istatistiksel yöntemler ve makine öğrenimi yöntemleri kullanılmaktadır. Gözetimli öğrenme yöntemleri kimlik doğrulama için kullanılırken, anomali tespitinde gözetimsiz öğrenme de kullanılabilir. Uzaklık ve benzerlik ölçümlerinin de işlemlerinde kullanıldığı istatistiksel yöntemlerden hem doğrulama hem de anomali tespitinde yararlanılabilmektedir.

2.2. Değerlendirme metrikleri

Biyometrik sistemlerin değerlendirilmesinde en sık kullanılan iki metrik doğruluk (accuracy) ve Eş Hata Oranı'dır (Equal Error Rate, EER) [6]. Doğruluk, geçerli ve geçersiz kullanıcı giriş denemelerinden oluşan bir test kümesinde, geçerli ve geçersiz denemelerin isabetli olarak ayırt edilme sayısının toplam deneme sayısına oranını ifade eder. Giriş denemelerinin hassasiyetle kontrol altında tutulmasını gerektiren biyometrik sistemlerde hatalı kabul

(False Positive Rate, FPR) ve hatalı ret (False Negative Rate, FNR) oranlarına yüklenen önem uygulama türüne göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu oranlar birbirlerine ters orantılıdır, birini azaltmak diğerinin yükselmesiyle sonuçlanır. Bunun nedeni biyometrik sistemlerde eşlemelerin birebir değil, olasılık değerlerine göre yapılmasıdır. Bir giriş denemesinin, iddia edilen kimlik modeline ne kadar çok benzediğini gösteren bir ifadedir. Doğrulamanın olumlu yada olumsuz sonuçlanması, belirlenen bir eşik değerine göre gerçekleştirilir. Pozitif model (yeşil) doğrulanmak istenen kimlik ve negatif model (kırmızı) sistemde saklı sahtekar modelleri olmak üzere aşağıdaki Şekil 1'de örnek dağılımlar görülmektedir. Sahtekar dağılımının bir bölümü geçerli kullanıcı dağılımı alanı ile kesişmektedir. Bu durumda eşik değeri sistemde güvenliğin önemi ve kullanıcıların hatalı olarak reddedilmesinin getirdiği maliyet dikkate alınarak değerlendirme yapılmaktadır. Eşik değeri arttıkça sisteme geçersiz girişler azalacaktır, ancak geçerli kullanıcıların bir bölümü girişte sorun yaşayacaktır (düşük FPR, yüksek FNR). Eşik değeri düşürüldüğünde geçerli kullanıcılar sisteme daha çok girebilecek ancak sistem sahtekarlara karşı daha korumasız hale gelecektir (düşük FNR, yüksek FPR). Biyometrik yöntemlerin başarısı değerlendirilirken doğruluktan daha çok bilgi veren, FPR ve FNR değerlerinin birbirine en yakın olduğu değer olan EER daha çok kullanılmaktadır.



Şekil 1. Örnek olasılık yoğunluk dağılımları.

3. Davranışsal Biyometri Çalışmaları

3.1. Vücut dinamiklerine dayalı davranışsal biyometri

3.1.1. Yürüyüş ve üst vücut hareketi

Yürüyüş biyometriğinde amaç, insanları yürüme biçimlerinden tanımadır. Yürüme ölçümü dikkat çekmeden, uzaktan görsel izleme yoluyla yapılabileceği gibi taşınabilir sensörden alınan değerlerin analiziyle de gerçekleştirilebilmektedir. Görsel izleme yoluyla alınan yürüyüş biyometrisi düşük çözünürlüklü görüntüden bile çıkarılabilmektedir. Model tabanlı olan ve olmayan şeklinde iki alt grupta incelenebilir[16].

Model tabanlı yaklaşım insan vücudunu temel alır. Görüntüyü insan modeli üzerinde haritalandırır. İyi doğrulama performansı elde edebilmek için bu haritalamanın yüksek isabetle yapılması gerekir. Burada arka plan görüntüsünün ne kadar iyi ayırt edilebildiği ve kıyafet değişikliklerinin modeli ne kadar etkilediği büyük önem göstermektedir. Vücut hareket aksamalarını işaretleyici araçların kullanılması, özniteliklerin doğru çıkarılması için kullanılan yöntemlerden biridir.

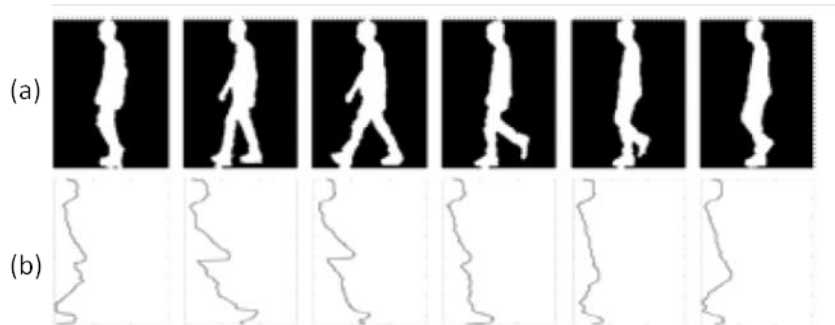
İnsan vücudunu model almayan (bütünsel) yaklaşımlarda ise görüntü içerisinde hareketli cisim tayini yapmak yada silüetler üzerinde enerji hesabı yapılması yöntemleri izlenebilmektedir.

Galajdová ve diğ. [17] deneklere uygulanan reflektörler ile vücutta 25 takip noktası belirlemiş ve hareketleri izlemiştir. Kimlik doğrulaması için vücut bölümlerinin açıları ve yörüngelerinden oluşan yürüyüşün kinematik

parametreleri değerlendirilmiştir. Bu parametrelerin matematiksel ve istatistiksel analizi yoluyla bireye özgü hareket örüntüsü elde etmek amaçlanmıştır. 5 kadın ve 5 erkekten oluşan örnek kümesinde, en çok değişim gösteren parametrelerin sağ dirsek, sağ ve sol bilekler, sağ uyluk, sol ve sağ dizler, sağ ve sol dirsekler ve sağ ve sol ayak bilekleri olmak üzere 10 bölgeden alınan veri olduğu çok kriterli analiz ile belirlenmiştir. Her birey için kimliği tanımlayıcı olan ancak diğer bireyleri ayırt edici olacak öznitelikler ayrıca manuel olarak belirlenmiştir. Çalışmadaki başarı %95.92 olarak raporlanmıştır, ancak veri setinin küçüklüğü göz önüne alındığında, yöntemin genel geçerliliğinin olduğunu söylemek zordur. Ayrıca doğrulamanın manuel olarak yapılmasının hızlı ve güvenilir sistemlerin gereksinim olduğu giriş sistemleri için çok uygun olmadığı söylenebilir.

Kim ve diğ. [16] yürüyüş videosunda insan silüetine dayalı iki yöntemi birleştirerek doğrulama yapmıştır. Deneyler, 20 denekten oluşan CASIA-A [35] veritabanında gerçekleştirilmiştir. Füzyonda kullanılan ilk yöntemde bir silüet resmi en ve boydan ikiye bölünmek suretiyle dört parçaya ayrılır. Böylece t zamanında H×W boyutuna sahip bir silüet görüntüsü için dört şablon tanımlanmıştır: Sol genişlik vektörü, sağ genişlik vektörü, yukarı genişlik vektörü ve aşağı genişlik vektörü.

Füzyona giren ikinci silüet yöntemi dikey izdüşüm vektörüdür. Bir silüet görüntüsünün satırındaki sıfır olmayan piksel sayısı olarak tanımlanmaktadır. Silüet yine 4'e bölünür ve her parça için ayrı ayrı hesaplama yapılır. Şekil 2'de dikey izdüşümü çıkarılmış 6 karelik bir video parçası örneği verilmiştir.



Şekil 2. Silüetlerin çıkarılması. a. Tüm silüet, b. sol silüet [16].

Füzyonun etkisinin izlenmesi için silüet yöntemleri ayrı ayrı, ardından öznitelik seviyesinde birleştirme ve daha sonra doğrulama skoru seviyesinde birleştirme yapılarak başarı ölçümü yapılmıştır.

Tekil silüet yöntemlerinin sonuçları izlendiğinde genişlik ölçümlerine dayanan yöntemde sağ ve sol genişliğe ilişkin özniteliklerin %81 ve %78 ile en yüksek başarıyı gösterdiği görülmüştür. Silüet izdüşümü yönteminde ise sağ, sol ve yukarı izdüşüm özniteliklerinde %90 üzeri başarı elde edildiği kaydedilmiştir. Alt bölge izdüşümünün çok iyi sonuç göstermemesinin en muhtemel nedeni kıyafet varyasyonlarının en çok bu bölgeyi etkilemesi olarak görülebilir. Öznitelik seviyesinde füzyonda genişlik vektörleri birleştirildiğinde %83 ve silüet izdüşümünde %95 başarı, skor seviyesinde birleştirmede ise en yüksek %98 başarı elde edilmiştir.

Liang ve diğ. [18], kıyafetin yanıltıcı etkisinin azaltılması için altın oranına dayalı bölütleme yöntemini önermiştir. Yürüyüş Enerji Görüntüsü (Gait Energy Image, GEI) yürüyüş modellemede kullanılan defacto bir yöntemdir[19]. Bütün bir yürüyüş silüetinde ortalama silüeti hesaplar. GEI, vücut bölümlere ayrılarak hesaplanmıştır. Vücut bölümlendirilirken 3 yöntem incelenmiştir: Önceden tanımlı oranları kullanarak bölümlendirme, eşit oranlı bölümlendirme, altın oranla kıyafet ile görünümü değişen bölümlerin bulunup çıkarılması. Altın oran yöntemi ile CASIA-B [36] verisetinde, farklı kıyafet senaryoları için elde edilen en düşük doğrulama sonucu %91.53 ve en yüksek %99.6 sonucu elde edilmiştir.

Liu ve diğ.[20] izleme (surveillance) ortamında bir kamera yakalanan kişinin modellenip, başka kamerada doğrulanması senaryosu ele almıştır. Hem görünüş profili hem de GEI özellikleri birlikte kullanılmıştır. Skor ve öznitelik seviyesinde füzyon sonuçları değerlendirilmiştir.

Deneyler CASIA verisetinde gerçekleştirilmiştir. Kişilerin kıyafet (ceket, çanta, normal) değişimi yapmadığı senaryoda öznitelik seviyesinde füzyon, çantalı örnekler dışında, en iyi performansı göstermiştir. Sonuçta görünüm ve GEI özniteliklerinin, öznitelik

seviyesinde birleştirilmesi ile hem kıyafetin değişmediği durumda hem de çapraz girim koşullarında daha iyi performansla sahip olduğu görülmüştür. Bunun da kişinin bir kamerada yakalanıp modellendikten sonra, diğer kamera görüşüne girdiğinde kişinin doğrulanması için uygun bir yöntem olduğunu gösterdiği söylenmiştir.

Bouchrika ve diğ.[21] güvenlik kameraları ile izleme senaryosunu ele almıştır. Senaryoda, izleme koşulları gözetimsizdir; arka planda gerçek öğeler bulunmaktadır, kayıtlarda insan dışında hareket eden nesnelere de bulunmaktadır. Önerilen yöntem dört ana adımdan oluşmaktadır. Önce noktasal mesafeyi kullanarak yürüyen kişi tespiti yapılmıştır. Videoda art arda gelen çerçevelerin birbirinden çıkarılmasıyla hareket noktaları tespit edilmiştir. Yapılan analizde insan yürüyüşünün oluşturduğu hareket noktalarının örüntülü bir şekilde ilerlediği, taşıt ve diğer objelerin ise daha rastgele hareket noktası kümeleri oluşturduğu görülmüştür.

İkinci aşamada yürüme özelliklerinin çıkartılması gerçekleştirilmiştir. İnsan yürüyüş özelliğinin çıkarımı için, hareket modelleri, yürüme türünün farklı evrelerinde diz ve kalça için açılma hareketi tanımlayan tıbbi verilere dayanarak türetilmiştir. Sonraki aşamada çıkarılan özelliklerin görüntüleme noktasına göre düzeltilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylece yürüyüş periyodunu ifade eden değerler elde edilmiştir. Son adımda yürüyüş imzası oluşturulmuştur. Bunun için başlangıç noktası sol bacağın topuk vuruşu olarak seçilmiş ve faz bilgisi hizalanmıştır.

Kameraların bakış açısı sabitken yürüyüş doğrulama senaryosunda, CASIA-B [36] verisetinde 6 bakış açısı için inceleme yapılmıştır. KNN ile kimlik doğrulama yapıldığında eklem açılarından elde edilen öznitelikler ile %73.6 başarı elde edilmiştir. Bu sonuç baseline silüet ve GEI yöntemleri sonuçlarına göre düşüktür, ancak kıyafet değişimlerine karşı gürbüz olması nedeniyle gözetimsiz izleme şartlarında daha uygun görülebilmektedir.

Ngo ve diğ. [22], atalet sensörü ile toplanmış yürüyüş biyometrisi verisiyle çalışmıştır. Verisetinde 744 bireyden alınan yürüyüş ölçümleri bulunmaktadır. Oluşturulan

verisetinin, literatürdeki örneklerinden farkı örnek sayısının fazla olması, dengeli cinsiyet dağılımına sahip olması, geniş yaş aralığında denekler içermesi, verinin üç atalet sensörü ve taşınabilir telefondan elde edilmiş olması, ve 3 farklı zemin eğim koşulunu değerlendirmiş olması olarak sıralanmıştır.

Sonuçlarda iki hususa dikkat çekilmiştir. Birincisi, sensörler, sensör konumları, ayakkabı çeşitliliğini çok fazla olduğu için bu farklılıklardan kaynaklanan etmenlerin etkisinden arındırılmanın zor olduğudur. Burada yaş aralığının genişliğine de dikkat çekilmiştir. Literatürdeki diğer veri setlerinde denekler yetişkindir (20-40 yaş) ancak çalışmanın veri setinde çocuk ve yaşlılar da bulunmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde, yalnız yetişkinler incelendiğinde doğrulama başarısının çok daha yüksek olduğu görülmüştür.

İkinci husus örnek sayısının etkisidir. Sensör ölçümlerinden yararlanan yürüyüş doğrulama sistemleri deneylerinde örnek sayısı çok küçük olduğundan, o sistemlerdeki tek haneli EER değerleri ile bu çalışmanın veri setinin farklı yürüyüş eğimi koşullarındaki % 15.8,% 14.3 ve% 14.3 EER sonucunu birbiriyle kıyaslamının çok doğru olmadığı belirtilmiştir.

3.1.2. Ses ve konuşma

Konuşmacı doğrulama işlemi, diğer biyometrik özelliklerde olduğu gibi önce öznelilik çıkarımı işlemine tabi tutulur, modellenir ve doğrulama yapılır. Sistem metine bağımlı yada metinden bağımsız olarak gerçekleştirilebilir. Metine bağımlı sistemde konuşma içeriğinin de eşlenmesi gerekirken, metinsen bağımsız sistemlerde bu kontrol edilmez.

Dijital ses sinyali öznelilik çıkarımında Mel Frekans Katsayıları (MFCC) ve Doğrusal Öngörülü Doğrulama Katsayıları (LPCC) en çok tercih edilen yöntemlerdendir[23]. Her iki yöntemde ses sinyalini kısa süreli (genellikle 25 ms) bölütler halinde olarak incelenir.

Metin bağımlı doğrulama sistemlerinde doğrulama aşamasında genel olarak Saklı Markov Modeli (HMM) ve Vektör Nicelleme (VQ) kullanılırken, metinden bağımsız sistemlerde Gauss Karışım Modeli (GMM) kullanılmaktadır.

Metinden bağımsız sistemler için son yıllarda GMM kullanım trendi yerini i-vector'e bırakmıştır. Her konuşma sinyali parçası, konuşmacıya bağlı öz-ses bileşenleri olarak da bilinen alt uzayın bulunduğunu varsaymaktadır. MFCC katsayıları kullanılarak pozitif (kullanıcıdan alınan) ve negatif (farklı konuşmacılardan alınan) örnekler için GMM parametreleri (ortalama ve kovaryans) hesaplanır. Negatif örnekler, genel arka plan modelini (UBM) oluşturur ve pozitif örnekler ise ilgili konuşmacının modelini, yani öz-sesini, oluşturmak için kullanılır[24].

Konuşma ve konuşmacı doğrulama yöntemleriyle ilgili inceleme yapan Hansen ve Hasan'ın güncel çalışmasında [25] yöntemler ve değerlendirme kriterleri ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

Sarkar ve diğ.[26] uzun süreli akustik özellikler elde edip, kısa süreli özelliklerle karşılaştırmış ve ikisinin birleşiminin performansını incelemiştir. Kısa süreli özellikler fonemleri modeller, uzun süreli özellikler ile ise hece ve kelimeleri modelleyebilmek mümkündür. Çalışmada uzun süreli konuşma özelliklerinin çıkarılması için Çok Katmanlı Perceptron (Multi-layer Perceptron, MLP) kullanılmıştır. Biri olasılık doğrusal regresyona (Maximum Likelihood Linear Regression, MLLR)[37] ve diğeri de i-vektör sistemine dayanan iki konuşmacı tanıma sistemi değerlendirilmiştir.

MLP girdisi, ham dijital ses verisinin 500 ms'lik segmentler halinde Ayrık Cosine Dönüşümü (Discrete Cosine transform, DCT) ile katsayıların elde edilmesi yoluyla elde edilmiştir. Elde edilen öznelilik için konuşmacı adaptasyonu yapılmaz, yalnız Temel Bileşen Analizi (Principal Component Analysis, PCA) veya Doğrusal Diskriminant Analiz (Linear Discriminant Analysis, LDA) ile projeksiyon gerçekleştirilir.

Deneylerde NIST'in 2008 ve 2010 yarışma verisetleri kullanılmış, ve deney sonuçlarında kısa ve uzun süreli özneliliklerin kullanıldığı sistem yalnız cepstal özellikleri kullanan i-vector yöntemiyle kıyaslandığında EER ölçümünde yaklaşık %50 azalma izlenmiştir.

Konuşma ve konuşmacı modellemede son yıllarda izlenen diğer bir gelişme derin öğrenmenin uygulanması olmuştur. Liu ve diğ.

[27] konuşma sinyalinin öznelik çıkarmada geleneksel yöntemler ve derin öğrenme yöntemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Derin yapay sinir ağlarının (DNN) dört tipi incelenmiştir: Derin Kısıtlanmış Boltzmann Makineleri (RBM), konuşma ayırt edici DNN, konuşmacı ayırt edici DNN ve çok görevli ortak öğrenilmiş DNN (j-vektör). DNN'den öznelikler elde edildikten sonra GMM yada i-vector sistemlerine verilmiş ve başarı ölçümü yapılmıştır.

Derin öznelikler elde edildikten sonra PCA ile projeksiyon yapılmış, ardından GMM ve i-vector konuşmacı sınıflandırma prosedürüne verilmiştir. Deneylerde j-vektör'den elde edilen öznelik üzerinde en iyi konuşmacı ve konuşma sınıflandırma başarısı (%0.1 EER) gözlemlenmiştir.

Metin bağımlı ve metinden bağımsız konuşmacı doğrulama yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir çalışma yapan Cai ve diğ. [28] ses perdesi ve MFCC öznelikleri kullanılmış, Vektör Nicemleme (VQ) ve Mahalanobis mesafesi (MD) ölçümlerinin performansı incelenmiştir. Deney sonuçlarında MD'nin doğruluk performansının VQ'ya göre üstün olduğu ancak, yöntemlerin çalışma süreleri incelendiğinde VQ'nun daha hızlı hesaplandığı görülmüştür. Yazarlar, bu yöntemlerden birinin seçileceği durumda hız ve doğruluk arasında tercih yapılması gerektiğini vurgulamıştır.

3.1.3. Göz hareketleri ve bakış

Rigas ve diğ. [29] dikkat noktasına dayalı göz hareketi biyometrisi üzerine çalışmıştır. Deneylerde denekler göz hareketleri izlenirken yüz görüntüleri kayıt altına alınmakta ve her katılımcının dikkat noktaları hakkında bilgi toplanmıştır. Deney, 20-30 yaş aralığından 15 gönüllü (12 erkek/3 kadın) katılımı ile yürütülmüştür.

Dikkat noktalarının oluşturduğu örüntüler doğrulama safhasında ele alınırken, örüntüler üst üste örtüştürülür ve noktalar arası mesafe ölçülür. KNN (k=1), KNN (k=3) ve SVM sınıflandırıcılarla elde edilen doğrulama sonuçları incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre KNN (k=3) sınıflandırıcıyla en yüksek başarı olan %70.2 değerine ulaşmıştır.

Cantoni ve diğ.[30] de benzer bir deney düzeneği üzerinde çalışmıştır. Yüz resimleri 17

ilgi bölgesine bölünmüş ve bireysel bakış bilgileri için her bölgeye düşen dikkat noktası yoğunluğu ölçülmüştür. Noktaların koordinatlarının yanında, bölgedeki yoğunluk ve dikkat süresi de öznelikler olarak kaydedilmiştir. Koordinat bilgileri kullanılarak göz dikkatinin izlediği yol (arc) belirlenmiştir.

Öznelikler doğrulama için tek başlarına kullanıldığında, en iyi performansı dikkat süresi özneliği vermiştir. Öznelik kombinasyonlarında ise yol ve dikkat süresinin birlikte kullanıldığı düzenek en düşük EER sonucunu göstermiştir.

Juhola ve diğ.[31] göz hareketi biyometrisinde medikal bir yaklaşımda bulunmuştur. Düzensiz göz hareketleri kullanarak, bir doğrulama yöntemi geliştirilmiştir. Göz bir nesneyi takip ederken, istemsiz bir hareket olan odağı doğrultma işlemi yapması özelliğinden yararlanıldığı belirtilmiştir. Elektro-oculography (EOG) ile kaydedilen 19 sağlıklı ve 21 oto-neurolojik hastanın düzensiz göz hareketi ve bir video kamera sistemi (VOG) ile kaydedilen 40 sağlıklı ek düzensiz göz hareketi kullanılmıştır.

Doğrulama için genlik, doğruluk, gecikme ve maksimum hız özellikleriyle doğrulama yapılırken, temsil edilen seriler KNN, doğrusal ve kuadratik diskriminant analizi ve naive Bayes sınıflandırması uygulanmıştır. EOG verilerinde en yüksek başarı %90 ile Naive Bayes sınıflandırıcıda, VOG'da ise 574 ile ikinci dereceden diskriminant analizinde elde edilmiştir.

Kasprowski ve Harezlak[32] bakış ve fare dinamiklerini birleştiren bir doğrulama sistemi önermiştir. Deneklere ekrandaki noktaları fare ile birleştirmeleri söylenmiş, ve deneyler sırasında hem fare hareketleri hem de göz hareketleri kayıt altına alınmıştır. Statik ölçümlere dayalı öznelikler, histogram'dan elde edilen değerler ve DTW ölçümü öznelikler olarak kullanılmış ve SVM ile sınıflandırma yapılmıştır. Bakış biyometrik verisi kimlik doğrulama için tek başına kullanıldığında %16.79 EER, fare dinamiği ile birlikte kullanıldığında %6.82 EER değeri gözlemlenmiştir.

3.1.4. Dudak hareketleri

Wang ve diğ. [33] konuşma sırasında dudakların fizyolojik ve davranışsal olarak

incelenebilen özniteliklerin ayırt ediciliği üzerine çalışma yapılmıştır. Fizyolojik dudak özellikleri, genellikle statiktir. Zamansal bilgi içermez ve tekil dudak görüntülerinden çıkarılabilirler. Davranışsal dudak özellikleri ise, konuşma sırasındaki dudak hareketine bağlı dudak deformasyonunu ile ilgili zamansal bilgi içeren dinamik öznitelikleri belirtir ve bir dudak görüntü dizisinden çıkarılırlar.

Çalışmada dudağın iki fizyolojik özelliği ile ilgili bilgi çıkarılmıştır. İlki dudak konturudur ve dudağın çerçevesini verir, diğeri de dudak bölgesinin parlaklık yoğunluğu bilgisidir. Çıkarılan davranışsal özelliklerden biri dudak görüntüsünde konuşma sırasında görülen bozulmalardır. Diğer bir davranışsal özellik dudak dokusunda oluşan zamansal değişimdir. Dudak görüntüsünde meydana gelen değişimler dudak çevresi bilgisiyle, dokuda meydana gelen değişiklikler ise parlaklık değeri bilgisiyle ölçülmüştür. Belirlenen bu dört özellik içinde analizler yapılarak her biri için ayrı öznitelik kümeleri oluşturulmuştur.

Konuşmacıların GMM ile modellendiği doğrulama senaryosunda beş set öznitelik kümesinde test gerçekleştirilmiştir: 4 özelliğin bireysel başarıları, fizyolojik özellikler içinden belirlenen optimal altküme oluşturulan öznitelikler, davranışsal özellikler içinden belirlenen optimal altküme oluşturulan öznitelikler. Fizyolojik öznitelik kümelerinden parlaklık değeri kümesi %0.81 EER ile en iyi performansı gösterirken, davranışsal özelliklerde şekil bilgisi ve optimal altküme deneyleri %0.52 EER ile en iyi doğrulama performansı sergilemiştir.

Liu ve diğ. [34] sesli şifre girişinde, konuşma sinyaliyle birlikte dudakların da modellendiği doğrulama sistemi sunmuştur. Dudakların yerinin tespiti, hareketinin HMM ile modellenmesi üzerinde çalışılmış ve doğrulama ses ve dudak biyometrisinin birlikte kullanılmasıyla oluşan doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Dudak öznitelikleri olarak konuşma sırasında meydana gelen şekil değişimleri kullanılmıştır. GMM ve HMM yöntemlerinin çeşitli versiyonları ve özniteliklerin farklı kombinasyonları üzerine yapılan deneylerde üç öznitelik türünün de kullanıldığı sistemlerin diğer varyasyonlardan daha yüksek doğruluk gösterdiği belirtilmiştir.

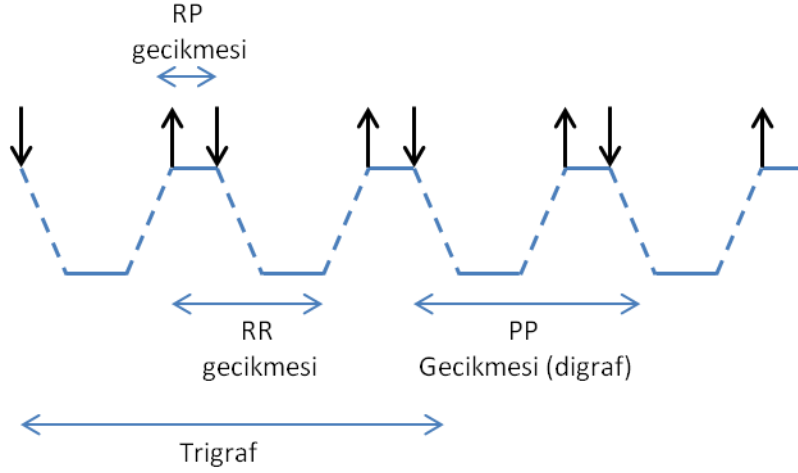
3.2. Bilgisayar Çevre Bileşenleri Ve Taşınabilir Cihaz Etkileşimine Dayalı Davranışsal Biyometri

3.2.1. Tuşlama dinamikleri

Standart klavye, erişimin sınırlandırıldığı oda girişlerinde bulunan güvenlik tabletleri ve taşınabilir cihazların klavyeleri gibi sistemler kullanılarak kullanıcıların tuşlama davranışları biyometrik ayırt ediciliğe sahiptir. En önemli avantajlardan biri kullanıcıdan pasif olarak toplanabilmesidir. Böylece mevcut güvenlik prosedürlerine ilave bir katman olarak eklenmesinin maliyeti düşüktür.

Genel olarak statik ve dinamik olarak veri toplanabilir[38][11]. Statik veri, belirlenmiş bir dizgenin (örneğin PIN yada alfanumerik şifre) doğruluğunun onaylanmasından sonra giriş sırasında alınan tuşlama davranışının kayıtlı profile ait olup olmadığına bakmayı içerir. Dinamik analiz, tuşlamanın sürekli yada belli aralıklarla izlenmesidir. İki şekilde olabilir. Gözetimli eğitim aşamasının olduğu yapıda, kullanıcıdan sisteme kayıt olurken bir dizgeyi birkaç defa yazması istenerek model oluşturulacak ve toplanan dinamik veri bu model ile karşılaştırılacaktır. Diğer bir yöntemde kullanıcı sisteme giriş yaptıktan sonra tuşlamaları log'lanmaya başlayacak ve öncül bilgi oluştuğundan sonra anomaliler belirlenecektir. Tuşlamanın dinamik izlenmesinin gizlilik sorunlarına yol açabileceği göz önünde bulundurulmalıdır[38].

Şekil 3'te tuşlama biyometrisinde kullanılan gecikmeye ilişkin öznitelikler görülmektedir.



Şekil 3. Tuşlama öznitelikleri [38].

Gecikmenin, tuşa basımından sonraki basıma (press-to-press, PP), tuşun bırakılmasın bir sonraki bırakmaya (release-to-release, RR) ve tuşun bırakılmasından basılmasına dek geçen süre (release-to-press, RP) olarak üç ana türü bulunmaktadır. PP gecikmesi "digraf" olarak da sıkça kullanılmaktadır. Trigraf, tuş geçişleri arasındaki zaman aralığıdır. Tuşta bekleme süresi ise, bir tuşun basılı kalma süresini ifade eder[38][12].

Chandrasekar ve Kumar [39] statik şifre tuşlamaları senaryosunda çalışmıştır. Öznitelik olarak PP ve RR gecikmesi kullanılmıştır. Ortalama medyan, standart sapma ve Hausdorff zamanlaması hesaplamaları kullanılarak önileme yapılmış, sonuçta her örnek için 4 öznitelik üretilmiştir. Hausdorff zamanlaması, iki nokta arasındaki maksimum izometrik mesafe olarak tanımlanmıştır ve mesafe ölçümü olarak Öklid kullanılmıştır[40].

Deneylerde bağışıklık sisteminden esinlenerek modellenen bir Yapay Sinir Ağı (Artificial Immune System, AIS) kullanılmıştır. Sistem, 5 geçerli kullanıcı ve 5 geçersiz kullanıcıyla eğitilmiştir. Tüm geçersiz kullanıcılara geçerli şifreler verilmiştir. Parolanın doğrulanmasından sonra, çıktı (desired output on neuron) ile sabit eşik değeri karşılaştırılarak tuşlama örüntüsü doğrulanmıştır. AIS kullanılarak elde edilen sonuçlarda FAR %4.99 olmuştur. Özniteliklerin tanıma başarısındaki öneminin anlaşılması için her öznitelik tek tek doğrulayıcı sistemden geçirilmiştir. Hausdorff zamanlama süresi,

%96'nın üzerinde başarıyla bu algoritma için en iyi performansı sağlamıştır.

Chandrasekar ve diğ. [40] diğer bir çalışmada deneylere öznitelik seçim aşaması eklemiştir. Özniteliklerde PP ve RR gecikmesinin yanında RP gecikmesinin ortalama, standart sapma, medyan ve Hausdorff zamanlama değerleri hesaplanmıştır. Stokastik Difüzyon Arama (Stochastic diffusion search, SDS) ve Yerçekimi Arama Optimizasyonu (Gravitational search optimization, GSO) öznitelik alt kümesi seçiminde kullanılmıştır. Kimlik modellerini doğrulamak için, yapay sinir ağı uygulamalarından olan Uyarlanabilir Rezonans Teorisi (Adaptive Resonance Theory, ART) kullanılmıştır. GSO'yu kullanırken Hausdorff zamanlaması, RP ve PP gecikmesi için yanlış sonuç kabul oranı (FAR)% 7.32 ile en iyi sonuca ulaşırken, stokastik difüzyon algoritması, sahte kabul oranı (FAR) %5.16 ile RP ve PP gecikmesi için en iyi sonucu vermiştir.

Fare ve tuş vuruş dinamikleri gibi davranışsal biyometri yöntemleri kullanılarak insan ve bot arasında ayırım yapmak için bir algılama yaklaşımı sunan Chu ve diğ. [41] bir tuşun basılıp serbest bırakılması, farenin tıklanması ve sürükleyip bırakma sürelerinden elde edilen öznitelikler kullanmıştır. Deney, 207 saat insan ve 32 saat bot'dan oluşan 239 saatlik veriyi içermektedir. 1000'den fazla insan kullanıcı ve iki tür bot (insan taklit eden ve tekrarcı) veri üretmiştir. C4.5 karar ağacı algoritması kullanılmıştır. Bot/insan ayırımının 96 aksiyonda %98 TPR ve %99 TNR ile sağlandığı görülmüştür.

Deutschmann ve diğ. [42] tuşlama ve fare dinamikleriyle davranışsal kimlik doğrulamanın sürekli, online olarak yapılmasını ele almıştır. Bir güven değeri hesaplanarak tuş girişleri kayıt altına alınmış ve belli aralıklarla kullanıcı modelinde oluşan değişiklikler izlenmiştir.

Veri haftada 20 saat boyunca 99 kişiden 10 hafta boyunca toplanmıştır. Kullanıcı profilleri oluşturulmuş, ardından profillerin test verisi ile karşılaştırılması için Bayes ağı kullanılmıştır. Deney sonuçlarında tuş vuruş dinamiklerinin, küçük gruplar için kullanıcıların güvenilir sürekli kimlik doğrulamanın mümkün olduğu gözlemlenmiştir. Testlerin hiçbirinde geçerli kullanıcılar yanlışlıkla reddedilmemiş ve 38 etkileşimden sonra geçersiz kullanıcılar tanınmaya başlanmıştır.

Prabha ve Vidhyapriya [15] dokunmatik klavye ile giriş PIN'inin girilmesinde anomali tespiti senaryosu üzerine çalışmıştır. Çalışmada tuşa bekleme süresi, RP gecikmesi, basınç, yükselen eğim (parmağın temas noktası ve rakama basarken maksimum basıncın bulunduğu nokta arasındaki doğru) ve iniş eğimi (maksimum basınç noktası ile ve parmağın tableten ayrıldığı noktayı birleştiren doğru) gibi beş özellik ele alınmıştır. Veri toplama işlemi 50 kullanıcı için yapılmıştır ve her kullanıcının elli örneği kaydedilmiştir.

Normal/anormal sınıflandırmasında mesafeye dayalı sınıflandırma ve meta bilişsel yapay sinir ağı (MCNN) performansı karşılaştırılmıştır. %0.2 EER ile MCNN'nin en iyi performansı sergilediği görülmüştür.

Schlar ve diğ. [43] eğitim kümesindeki eleman sayısının azaltılarak modelin fazla örtüşmesinin (overfitting) önüne geçmeyi hedeflemiştir. 817 kullanıcıdan aynı şifrenin on kere girilmesi istenmiştir. Öznitelik olarak tuşa bekleme süresi, RP, RP ve RR gecikme süreleri kullanılmıştır. Sınıflandırıcı olarak ise Naive Bayes, en yakın komşu ve Adaboost (C4.5 karar ağaçları ile) algoritmaları kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre, yüksek sayıda kullanıcının olduğu sistemlerde doğrulama yaparken eğitim kümesinin küçültülmesinin performansa olumlu etkisinin olduğu görülmüştür. En iyi doğrulama başarısı Adaboost deneylerinde izlenmiştir.

3.2.2. Fare etkileşimi dinamikleri

Sayed ve diğ. [46] deneylerinde katılımcılara ekran üzerinde örüntüler çizdirmiştir. Çizim alanından toplanan ham veriler, yatay koordinat (x eksen), dikey koordinat (y eksen) ve geçen her pikseldeki milisaniye cinsinden geçen süreyi içermektedir. Deneydeki 39 katılımcıya, her hareketi 30 kez çizdirilerek beş farklı tür hareketin tekrarlanması sağlanmıştır.

Koordinat ve zaman verisinden elde edilen öznitelikler şunlardır: Yatay koordinat, Dikey koordinat, Mutlak zaman, Yatay hız, Dikey hız, Teğet hız, Teğet hızlanma, Teğetsel titreme, piksel cinsinden orijinden izlenen yol, Tanjant eğimi açısı, Eğrilik ve Eğrilik değişim oranı. Yakalanan hareketler bir öğrenme vektör nicelme yapay sinir ağı (learning vector quantization neural network) sınıflandırıcısı kullanılarak analiz edilmiştir. Dört hareket kombine edildiğinde FAR % 5.26, ve FRR =% 4,59 değerleri elde edilmiştir.

Shen ve diğ. [44] fare dinamiklerinde anomali tespiti çalışması yapmıştır. 17.400 örnekten oluşan veri seti oluşturulmuş, öznitelikler çıkarılmış ve 17 farklı anomali tespit algoritmasının performansı değerlendirilmiştir. Hareket yönü, hareket mesafesi ve tıklama tipi verisi toplanmıştır.

Öznitelikler iki gruba ayrılmıştır: bütünsel özellikler ve işlemsel özellikler. Bütünsel özellikler, hareket hali ve hareket süresi gibi fare davranışlarının genel özelliklerini tanımlar, işlemsel özellikler ise hız eğrileri gibi fare davranışlarının ayrıntılı dinamik süreçlerini ifade etmektedir.

Feher ve diğ. [45] fare hareketi hiyerarşisi (toplam 3 seviye) oluşturmuş, ve öznitelikleri bu hiyerarşiden çıkarmıştır. İlk seviyeyi atomik fare hareketleri (butonlara tıklama ve ana yönlerde hareket etme) oluşturmaktadır. İkinci seviyede fare hareketindeki standart sapma hesaba katılmış ve çift tıklamada tıklamalar arası standart sapma hesaplanmıştır. Üçüncü seviyede ise, farenin hareket edip sol tuşa basılması hesaplanmıştır. Her seviyedeki özniteliklerin hesaplanmasında önceki seviyelerde hesaplanmış öznitelikler kullanılmıştır. Öznitelikler hareket (movement) ve eylem (action) olarak iki sınıfta incelenmiştir. Sınıflandırma Bayesian yaklaşımla

gerçekleştirilmiş ve yeni türetilen özniteliklerin doğrulama sonucunu iyileştirdiği belirtilmiştir.

Fare dinamikleri tek başına doğrulama prosedüründe kullanılmak yerine, genel olarak diğer biyometrik yöntemlerle birlikte kullanılır. Tuşlama Dinamikleri başlığında değinildiği üzere Chu ve diğ. [41] tuşlama ve fare dinamiklerini birlikte kullanmıştır. Fare dinamiklerinde öznitelikler, fare tuşlarının tıklanması arasında geçen süre, işaret edip tıklama ve tıklayıp sürüklenme verilerinden elde edilmiştir.

Yine tuşlama ve fare dinamiklerini birleştiren Deutschmann ve diğ. [42] sürekli kimlik doğrulama senaryosunda çalışmıştır. Farenin ekrandaki hareketi monitör çözünürlüğü ile birlikte analiz edilmiştir. FPR'nin tuşlama dinamiklerinden daha fazla olduğu, yetkisiz kullanıcıların ise hızla tespit edilebildiği gözlemlenmiştir. Kasproski ve Harezlak [32]'ın çalışmasında ise, fare ve göz hareketi dinamikleri birlikte kullanılmıştır. Tek başlarına yüksek doğrulama performansı sağlamayan bu iki yöntem birlikte kullanıldığında doğrulamanın %6.82 EER ile sağlandığı görülmüştür.

3.2.3. Dokunmatik ekran etkileşimi

Dokunmatik ekranlar özellikle akıllı taşınabilir cihazlarla günlük yaşamın bir parçası haline gelmiştir. Kullanıcıların dokunmatik ekranda kaydırma (swipe), hafifçe dokunma (ThumbStroke) ve çoklu dokunma (multi-touch) davranışlarının ayırt edici kullanıcı modelleri çıkarmak için elverişli olduğu literatür çalışmalarında ortaya koyulmuştur[11].

Robertson ve Guest [47], dokunmatik ekranda hem parmak hem ekran kalemi etkileşimini konu almıştır. Deneylere 40 üniversite öğrencisi katılmış ve dokunmatik ekranı parmak (ilk kip) ve kalem (ikinci kip) ile imzalamaları ve sağ-sol yönlerinde kaydırma hareketleri (üçüncü kip) kaydedilmiştir. Çıkarılan 15 öznitelik korelasyon analizi ile incelendiğinde, bazı özniteliklerin her üç kip için de ortak olarak kullanılabilceği sonucu çıkarılmıştır. Bunlar yol uzunluğu (hareketin başlangıç-bitiş mesafesi), ve hareketin başlangıç ve bitişi arasında geçen süredir.

Peng ve diğ. [48] giyilebilir gözlüklerde dokunma ve ses biyometrisi özellikleri kullanılarak, kullanıcıların sürekli

doğrulanmasının yapıldığı bir sistem önerilmiştir. Dokunmatik özelliği için çıkarılan öznitelikler süre, mesafe, hız, ve basınç ölçümlerine dayanmaktadır. 32 kullanıcı davranışının oluşturduğu örnek kümesinde en önemli öznitelikler tespit edilmiştir. Maksimum basınç tek parmak dokunmatığı için, iki parmak arasındaki mesafe iki parmaklı etkileşim için en önemli öznitelikler olduğu görülmüştür. Önemli olduğu belirtilen bir diğer bulgu, ivmeölçer özellikleri ve manyetometre özelliklerinin genellikle jiroskop özelliklerinden daha ayırt edici olmasıdır.

Öznitelik çıkarımı yapılmasının ardından, 7 SVM sınıflandırıcıdan alınan sonuçlar birleştirilmiştir. Sistem genel performansı incelendiğinde, dokunma dinamiklerinin bireysel kullanıldığı durumlarda % 90'dan fazla algılama oranı ve % 10'un altında yanlış alarm oranı elde edilmiştir. Yalnızca sesli komutlar kullanıldığında, doğruluk, tek bir dokunmatik hareket türünden daha iyi olduğu görülmüştür. Tüm dokunma tabanlı özellikler birleştirildiği durumda ortalama tespit oranı % 98.7, yanlış alarm oranı % 0.8 olmuştur. Sesli komutlar eklendiğinde ortalama algılama oranı % 99.2'ye yükselmiş ve yanlış alarm oranı % 0.5'e düşmüştür.

Bevan ve Fraser [49] akıllı telefonlarda kaydırma hareketi dinamikleri kullanarak doğrulama yapılması üzerine çalışmıştır. Öznitelik çıkarımı yapılmış, kaydırma hareketinde kullanılan parmağın fiziksel özellikleri ile ilgili çıkarım yapılmıştır. Kaydırma jestlerini ilişkin şu öznitelikler çıkarılmıştır: Jest uzunluğu, jest tamamlanma süresi, ortalama jest kalınlığı, ortalama uygulanan dokunmatik basınç, ulaşılan maksimum hız, ve ulaşılan maksimum ivme. Başparmak uzunluğu ve hızlıca kaydırma hareketlerinin üç özelliği arasında bir ilişki olduğunu gösterilmiştir.

Zhou ve diğ. [50] akıllı telefonlara hem girişte hem de giriş sonrasında ekrana dokunma dinamiklerinin birlikte kullanıldığı bir kimlik doğrulama yöntemi önermiştir. Doğrulamada şifrenin yanı sıra, tuşlama ve dokunmatik dinamikleri kullanılmıştır. Zamansal, pozisyonel, hareket yönü ve operasyonel olmak üzere 4 öznitelik kümesi elde edilmiştir. Bunlar 7 sınıflandırıcı kombinasyonlarından (karar ağacı,

naive Bayes, SVM, ANN, k-en yakın komşu, rastgele orman, AdaBoost) oluşan doğrulama düzeneklerine verilip, performans izlenmiştir. En yüksek başarı ANN ve rastgele ormanlarda sağlanmıştır. Yalnız tuşlama dinamikleri kullanıldığında başarı ~%40 iken, dokunma ve şifre ile birlikte kullanıldığında başarı %70+ olmuştur.

Kambourakis ve diğ. [51], dokunmatik tuşlara dokunma üzerine çalışma yapmıştır. Klasik tuş vuruş sistemlerinde kullanılan tipik özneliklerin yanı sıra, hız ve uzaklığın da kullanılması önerilmiştir. Veriseti 20 kişiden alınan veriden oluşmaktadır. İki senaryo incelenmiştir: alfa-nümerik şifre girişinde doğrulama ve yazılı ifadeyi yeniden yazma. Kullanılan klasik tuş vuruş öznelikleri tuşta bekleme süresi ve RP gecikmesidir. Ek olarak kullanılan özneliklerden uzaklık, dokunmatik klavyede birbiri ardına basılan iki tuşun ekrandaki uzaklığını belirtmektedir. Hız ise, PP gecikmesi ve RP gecikmesinin oranı (PP/RP) olarak hesaplanmıştır. Özneliklerin kullanılmasında iki metodoloji izlenmiştir: hesaplanan her özneliğin bir vektör olarak kullanılması ve her öznelik için ortalama alınması.

Sınıflandırma için rastgele orman ve KNN kullanılmıştır. Alfa-nümerik şifre doğrulama senaryosunda en iyi başarı, birinci öznelik metodolojisiyle rastgele orman algoritmasında %26 EER ile sağlanırken; yazılı ifade tekrarlama senaryosunda en iyi başarı ikinci öznelik metodolojisinde KNN algoritmasında %13.6 EER ile sağlanmıştır.

Sae-Bae ve diğ. [52] çoklu dokunuş (multitouch) özelliğine sahip cihazlarda dokunma bilgisini zaman serisi olarak alma, bunu işleyip öznelik çıkarma, ve sonra modelleme ve test örneğinin doğrulanmasından oluşan prosedür geliştirmiştir.

Çoklu dokunuşta, kullanıcılardan 22 farklı çok parmaklı şifre örüntüsü alınmıştır. Oluşan zaman serilerinde DTW uzaklığı Manhattan, Öklid ve Cosine fonksiyonlarıyla hesaplanıp, performans karşılaştırması yapılmıştır. 22 hareketin ortalama EER sonuçlarına göre en iyi performans %7.88 ile Manhattan fonksiyonunda gözlemlenmiştir.

SenthilPrabha ve diğ. [53] kaydırma dinamiklerine bağlı 30 öznelik çıkarmıştır. 60

kullanıcıdan x ve y koordinatları, basınç, mutlak olay zamanı, cihazın ekran yönü ve kaydırma yönü verisi toplanmıştır. Dokunma hareketi, parmağın ekrana değmesiyle başlar ve ayrılmasıyla son bulur. Bunlardan toplam 30 öznelik elde edilmiş ve önemli olanların bulunması için karşılıklı bilgi (mutual information) ölçütü kullanılmıştır.

Kullanılan sınıflandırıcılar, YSA temellidir. Bunlar meta bilişsel sinir ağı (Meta Cognitive Neural Network, MCNN), aşırı öğrenme makinesi (Extreme Learning Machine, ELM), kendiliğinden uyarlanabilir kaynak ayırma ağı (Self-adaptive Resource Allocation Network, SRAN) ve minimum kaynak ayırma ağı (Minimal Resource Allocation Network, MRAN) 'dir. MCNN sınıflandırıcısı en iyi performansı göstermiştir. 30 öznelikli MCNN sınıflandırıcısının doğruluğunun yaklaşık % 75 iken en önemli 6 öznelik kullanıldığında doğruluk yaklaşık % 82 olmuştur.

Frank ve diğ. [7] kullanıcı-dokunmatik ekran etkileşiminde 30 davranışsal biyometrik özneliği çıkarmış ve doğrulama yapmıştır. İlgilenilen senaryo, kullanıcının cihazı kullanması esnasında arkaplanda sürekli kimlik doğrulamadır.

Özneliklerin ilgililikleri ölçülmüş, KNN ve SVM ile sınıflandırma yapıp performansları incelenmiştir. Karşılıklı bilgi ölçümü kullanıldığında özneliklerde ilk 6 öneme sahip olan özelliklerin SenthilPrabha ve diğ. [14]'nin sonuçlarıyla aynı olduğu görülmüştür. Veri farklı oturumlarda toplanmıştır. Oturum-İçi, oturumlar-arası ve bir hafta sonraki oturum ile oluşturulan 3 senaryoda doğrulama yapılmıştır.

Medyan EER, tüm kullanım senaryolarında % 0-% 4 aralığındadır. Medyan oturumlar-arası hataları % 0 olmuştur. Yani oturum içinde davranış değişmemektedir. Oturumlar arası EER, senaryoya ve sınıflandırıcıya bağlı olarak % 2-% 3, bir hafta sonrası EER ise % 0-% 4 olmuştur. SVM, KNN yönteminden her zaman daha düşük bir hata elde etmiştir.

3.2.4. Taşınabilir cihaz etkileşimine dayalı diğer yöntemler

Sitová ve diğ. [54] akıllı telefon kullanıcılarının sürekli doğrulanması için el hareketleri, yönlendirmesi ve kavramasının

(HMOG) kullanıldığı bir yöntem önermiştir. 2 öznitelik kümesi ve 4 sınıflandırıcı kullanılarak performans karşılaştırılması yapılmıştır.

Öznitelik kümeleri, kavrama direnci ve kavrama istikrarı öznitelikleri olarak ayrılmıştır. Bu öznitelikler ivmeölçer, jiroskop ve manyetometre ile toplanan veri kullanılarak hesaplanır.

HMOG özelliklerinin kimlik doğrulama performansı, dokunmatik ekran dokunma (dokunma süresi, temas büyüklüğü, hız) ve tuş vuruşu dinamik öznitelikleri (tuşa bekleme süresi ve PP gecikmesi (bkz. Bölüm 3.1) ile birleştirilmiştir. Öznitelik seçimi HMOG özelliklerinde Fisher skoru ile, dokunma özniteliklerinde mRMR[55] yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Ardından PCA ile öznitelik dönüşümü gerçekleştirilmiştir.

Analizlerde manyetometre ile elde edilen HMOG özellikleri, tüm doğrulayıcı ve koşullarda, ivmeölçer ve jiroskop özelliklerinden daha kötü performans göstermiştir. Deneyler oturma ve yürüme senaryolarında gerçekleştirilmiştir.

Oturma senaryosunda HMOG %23.4 EER, HMOG ve 3 dokunma özniteliği %20.1 EER ve dokunma öznitelikleri %25.7 EER gözlemlenmiştir. Buna göre oturma senaryosunda HMOG ve 3 dokunma özniteliğinin daha uygun olduğu söylenebilir. yürüme senaryosunda yine HMOG ve 3 dokunma özniteliği %15.1 EER ile en iyi performansı göstermiştir.

3.3. İmza ve davranış dinamikleri

3.3.1. İmza dinamikleri

Literatürde imza analizine iki ana yaklaşım vardır: dinamik ve statik imza doğrulama. Dinamik doğrulama, imza sürecinin dinamiklerinin analizine dayanmaktadır. Bunlar dokunmatik cihazlarla etkileşim sürecinden elde edilen hız ve basınç özelliklerini temel almaktadır. Dinamik imza ile ilgili çalışmalar daha önce verilmiş olup, bu bölümün konusu statik imza doğrulamadır. Statik imza şekil ve oran gibi imzanın geometrik özelliklerini temel almaktadır.

Khan ve Dhole [56], Saikia ve Sarma [57], ve Hafemann ve diğ.[58] çalışmalarında statik imza doğrulama süreçlerini ayrıntılı olarak ele

almıştır. Statik imza doğrulama, imza modeli oluşturma ve test örneğinin oluşturulan model ile benzerliğinin tespit edilmesi aşamalarından oluşan tipik bir model tanıma görevi haline gelir. Bu kimlik doğrulama tekniğinde, bir kağıda yazılan imzaların görüntüleri kullanılarak analiz yapılmaktadır.

Neamah ve diğ. [59] ağırlık merkezi (COG, Center of Gravity) ve graf tekniklerine dayalı öznitelik çıkarma yöntemlerini kullanmıştır. Ağırlık merkezi, imza görüntüsünün yatay ve dikey centroid noktaları olarak ifade edilmektedir ve binary görüntü üzerinden hesaplanır[60]. Hesaplanan ağırlık merkezi referans noktası alınarak açısal aralık ve aralık mesafesi hesaplanmıştır. Her bireyin imzası için "yukarı", "aşağı", "sağ" ve "sol" bulanık değişkenleriyle komşuluklar bulunmuş ve graf bu yönler ile oluşturulmuştur. Doğrulama aşamasında HMM kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan veriseti ve doğrulama sonuçları hakkında bilgi verilmemiş, yalnız yöntemlerinin sahte imzaların ayırt edilmesinde faydalı olabileceği belirtilmiştir.

Batista ve diğ.'nin [61] çalışmasında az sayıda örnek kullanarak statik bir imza doğrulama sistemi tasarlanması için, hibrid üretken-ayırt edici (generative-discriminative) sınıflandırıcı toplulukları (EoC, ensembles of classifiers) önerilmiştir. Çalışmada sınıflandırıcıların seçim sürecinin dinamik olarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın temel çıkış noktası, devreye alınmış bir doğrulama sisteminde geçerli kullanıcıdan alınacak eğitim örneği sayısının çok az olmasından kaynaklanan sorunun çözülmesi amacıdır. Bunun üstesinden gelmek için "üretme" ardından "ayırt etme" işlemi yapılmıştır. Üretme aşamasında birden fazla ayırık HMM farklı durum sayısı ve kod defter (codebook) büyüklüğü ile eğitilmiştir. Bu şekilde bir imza farklı hiper-parametre değerleri ile eğitildiği için o imza için birden fazla model üretilmiştir. Kod defteri için bağımsız negatif örneklerden oluşan bir veri seti kullanılmış, bu örnekleri üreten kişilerin doğrulama sistemine asla kayıtlı olmayacakları belirtilmiştir. Ayırt etme aşamasında her eğitim imzası Rastgele Altuzay Yöntemi [62] ile iki sınıflı (pozitif ve negatif sınıflar olmak üzere) sınıflandırıcı havuzunda eğitilmiştir. Böylelikle sistemde

yalnız tek bir kullanıcı kayıtlı olsa dahi, bağımsız negatif veriseti örnek modelleri ve kullanıcının modeli olabilirliği hesaplanabildiği için, doğrulama gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir.

Her bir test örneği için [63] ve [64]'e dayalı dinamik iki sınıflandırıcı seçme algoritmasıyla (OP-ELIMINATE ve OP-UNION) en uygun sınıflandırıcı altkümesi seçilmiştir. OP-ELIMINATE algoritmasında sınıflandırıcı topluluğu K adet komşu örneğin tamamını doğru sınıflandıran sınıflandırıcılar ile oluşturulurken, OP-UNION algoritmasında bir adet örneği doğru sınıflandıran K en yakın sınıflandırıcı ile oluşturulmuştur. Seçilen sınıflandırıcı altkümesi ilgili test örneği için sınıflandırıcı topluluğunu (EoC, ensemble of classifiers) oluşturmuştur.

Deneylerde Brezilya statik imza veriseti [65] ve GPDS veriseti [66] kullanılmıştır. İlk senaryoda her kullanıcı için 20 imza örneği kullanılırken, ikinci senaryoda 4, 8 ve 12'şer imza örnekleri ile deneme yapılmıştır. Kullanılan verisetlerinde negatif örnekler ya rastgele yada uzman taklitlerden oluşmaktadır. Deneylerde performans değerlendirmesi yapılırken her negatif örnek grubu için ayrı ayrı FAR hesaplanıp ortalaması alınmıştır (average error rate, AER). Baseline olarak [65]'teki doğrulama yöntemi kullanılmış, farklı sınıflandırıcı seçme algoritma kombinasyonlarının performansı değerlendirilmiştir. Her iki veriseti ve senaryo için de baseline sınıflandırıcı en kötü performansı sergilemiştir.

Kumar ve diğ. [67] YSA ve SVM sınıflandırıcıların performansını çevrenin olma (surroundness) öznelik kümesi için karşılaştırmıştır. Görüntüler üzerinde önileme yapıp binary görüntü haline getirildikten sonra, her siyah piksel için çevrenin farklı mesafelerde ölçülmüştür. r mesafesinde çevrenin ölçmek için, ölçülmek istenen pikseli ortalamayan r yarıçaplı dairede bulunan siyah piksel sayısı sayılmıştır. Deneyler CEDAR[68] ve GPDS[66] verisetlerinde gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırıcılar karşılaştırıldığında, yüksek öznelik sayısının olduğu deneylerde YSA, diğerlerinde SVM'in daha iyi performans sergilediği görülmüştür. CEDAR verisetinde elde edilen en yüksek doğruluk oranı %91.67 iken, GPDS verisetinde %86.24 olup, bunlar karşılaştırılan literatür yöntemleri arasında en yüksek değerlerdir.

Guerbai ve diğ.[69] de topluluk öğrenmesinden yararlanmıştır. Tek sınıflı SVM (one-class SVM, OC-SVM) sınıflandırıcı kullanarak statik imza doğrulama gerçekleştirmiştir. OC-SVM eğitimde yalnız pozitif örneklerden oluşan bir veriseti kullanılmaktadır. Sisteme giriş yapmaya çalışan bir test örneği için eğitim örnekleriyle benzerliği hesaplanarak kabul yada ret kararı belirlenir. Ancak OC-SVM'in eğitim örnek kümesinin küçük olduğu durumlarda, eğitim kümesi üzerine fazla örtüştüğü ve FNR oranını artırdığı belirtilmiştir.

Öznelikler [70]'teki prosedürle elde edilmiştir. Deneyler CEDAR[68] ve GPDS[66] verisetlerinde gerçekleştirilmiştir. Eğitim sırasında çeşitli hiper-parametreler için destek vektörlerinin sayısını ve tanıma oranını maksimum yapan hiper-parametre değerleri sınıflandırıcıda kullanılmıştır. Eşik değeri için FAR ve FRR değerlerinin ortalaması kullanılmıştır. Her iki veriseti için de eşik değeri sifira yakın çıkmıştır. Sistemin 4, 8, 12'şer imza ile eğitildiği durumda örnek sayısı arttıkça başarının iyileştiği görülmüştür. GPDS veri kümesinde [67]'nin en iyi başarıyı verdiği ve ardından sırayla [69] ve [61]'in performansının geldiği görülmüştür.

3.3.2. Davranış dinamikleri

Dijital davranışsal profillemeye, son yıllarda popülerlik kazanan bir araştırma konusudur ve dijital hizmetler ile etkileşim verisine dayalı doğrulama için kullanılabilir[11].

Sultana ve diğ. [71] kişilerin sosyal ağ davranışlarından, sosyal platforma has öznelikler çıkartılmış ve kullanıcı modelleme yapmıştır. Twitter'da kullanıcı ile ilgili bilgi üç şekilde edinilebilir: Sosyal profil bilgileri, ağ bilgileri ve etkileşim bilgileri. Sosyal profilden elde edilen bilgi kişisel ve zamansal olarak iki kategoriye ayrılabilir. Kişisel bilgiler biyografi bilgileri iken, zamansal bilgi konum ve profil oluşturma tarihi gibi öğelerden oluşmaktadır. Ağ bilgileri, takip eden ve edilen kullanıcı verisiyle oluşturulan graftır. Twitter'da etkileşim bilgileri hashtag, yeniden tivit atma (retweet), tivit cevaplama (reply) ve URL'lerin yanında tivit içerikleri de biyometrik özellik olarak ele alınabileceği belirtilmiştir. Çalışmada bu dört çeşit etkileşim öznelikleri kullanılmıştır.

Deneysel, 3 aylık izlemeden elde edilen 50 kullanıcıdan oluşan düzenekte gerçekleştirilmiştir. Doğrulama aşamasında, tek özellik ve özellik kombinasyonları performansları ölçülmüştür. Doğrulan bir örneğin benzerlik değeri en fazla olan ilk değer doğru model olma olasılığı %20'nin altındadır, ancak ilk 20 değere bakıldığında oran %100'e çıkmıştır. Tüm özniteler kullanıldığında ilk değerinde doğru tanınma olasılığı %60 üzerine çıkmıştır.

Peng ve diğ. [9] bir sisteme izinsiz girişlerin tespitinde (intrusion detection) sistem ve kullanıcı davranışının modellerinden yararlanıldığı düzenekleri açıklamıştır. Özellikle kullanıcı davranışının modellenmesi üzerine bir inceleme çalışmasıdır. Kullanıcı davranışı, tuşlama karakteristiği gibi biyometrik özellikler ve metin içeriği gibi psikometrik özellikler ile modellenmektedir.

Psikometrik kullanıcı profilleri genel olarak kullanıcının özelliklerini içerir. Bu özellikler zekası, bilişsel becerileri, kararları, gereksinimleri ve tercihleri yansıtmaktadır. Psikometrik özellikler diğer davranışsal biyometri özelliklerine göre daha zor modellenirler, sayısallaştırmaları kolay değildir. [9]'da psikometrik özellikleri kullanan 14 çalışma (1994-2013) incelenmiştir.

4. Genel Değerlendirme Ve Açık Problemler

4.1. Genel değerlendirme

Bu çalışmada davranışsal biyometrinin kimlik doğrulama ve anomali tespiti uygulamalarını konu alan son 5 yıla dair literatür analizi yapılmıştır. Analizin büyük kısmını vücut dinamikleri ile ilgili, bilgisayar çevre bileşeni ve taşınabilir cihaz etkileşimi ile ilgili ve imza ve davranış dinamikleri ile ilgili olmak üzere 3 ana başlıkta incelenen yöntemlerin kullandığı öznitelik çıkarım metodları oluşturmaktadır. Analiz sonucunda ses ve yürüyüş biyometrisi gibi yöntemlerin fiziksel biyometriye denk performansı olduğu görülmesine rağmen birçoğunun performansı daha düşüktür. Bunun başlıca nedeni davranışsal biyometrinin zamanla değişen dinamik yapısıdır. Tüm bunlara rağmen düşük kalitede toplanmış verinin bile analizde kullanılabilmesi, kullanıcı verisinin pasif olarak elde edilebilme kolaylığı ve sürekli kimlik

doğrulama sistemlerinde yüksek kullanılabilirliği olması nedeniyle, davranışsal biyometrinin kullanımını giderek yaygınlaşmaktadır.

4.2. Açık problemler

4.2.1. Veri güvenliği

Davranışsal biyometri modellerinin tesis ve sistem erişimi, finansal işlemler ve çevrimiçi sosyal ağlar gibi alanlarda daha fazla yararlanılacağı öngörülmektedir. Bu tür uygulamalarda kötü niyetli şahısların izinsiz giriş yapmaları yada geçerli girişleri bloke etmelerinin en kestirme yolu biyometrik veri ile ilgili müdahalede bulunmaktır. Uygulama kullanıcıların mahremiyetinin korunması ve kimlik modeli veri güvenliğinin sağlanması hakkında öznitelik transformasyonu[72], sahtekar girişi önleyici prosedürler[4][73][74] ve diğer biyometrik özelliklerle füzyon[3] gibi yöntemler son yıllarda literatürde incelenmekte ve saha çalışmaları ile ilgili gelişmeler devam etmektedir. Ancak bulut bilişime entegre olan biyometrik sistemlere, işlem gücü hesaba katılarak uygun hale getirilmesi için güvenlik tedbirlerinin yeniden yapılandırılması hâlâ açık bir sorundur[75].

Makine öğrenmesi metodolojisi ile oluşturulan sistemlerin, başka düşman sistemlerin saldırısına maruz kalıp saklı biyometri örüntülerinin bozulması, doğrulama eşliğinden geçebilecek false-positive yapay verinin oluşturulması ile hatalı doğrulamanın gerçekleşmesi gibi tehditlere karşı yapılan çalışmaların az sayıda olduğu görülmektedir.

4.3. Davranışsal Biyometrik Doğrulama

Performansı

Fiziksel biyometrik sistemlerinin kıyaslandığında, davranışsal biyometrik sistemlerin doğruluğunun artırılması gerektiği açıkça görülmektedir[5]. Davranışsal biyometride öznitelik çıkarım yöntemleri çeşitlendirmeye açık bir konudur. Daha ayırt edici özniteliklerin eklenmesi ve düşük ayırt ediciliğe sahip olanların çıkarılması ile doğrulama performansının artırılması mümkün olduğu söylenebilir.

4.3.1. Güvenlik Seviyesi ve Kullanılabilirlik Dengesi Çalışmaları

Biyometrik doğrulamada yanlış kabullerin (false-positive) oranının en aza indirilmesi esas amaçtır. Sistemin doğruluk performansını daha az düşüreceği için yanlış reddetme (false-negative) maliyeti daha düşüktür. Fakat yanlış reddedilmeye maruz kalan bir yetkili kullanıcının uygulama için görüşünü olumsuz etkilemektedir. Uygulama kullanılabilirliği ve yaygınlığını artırmak için yanlış reddedilmeleri düşürücü politikalar sistem güvenliğini azaltacaktır. Bu da dolaylı olarak kullanıcının sistemdeki verisini daha korumasız hale getirecektir. Bu nedenle yanlış giriş / yanlış kabul dengesi ile ilgili kullanılabilirlik ve güvenlik açısından incelemeye adanmış çalışmaların yapılması önemlidir[5].

4.3.2. Saha Koşullarına Uygun Çalışmanın Yetersizliği

DeneySEL çalışmalarının büyük çoğunluğunda veri laboratuvar koşullarında toplanıp kaydedilmiştir. Bu koşullar saha şartlarının önemli kısmı göz ardı edilmek üzere düzenlenmiştir. Yeni çalışmalarda gerçek ortamın daha iyi simule edilmesi ve sıklıkla karşılaşılabilecek problemlerin iyi analiz edilip deney ortamına eklenmesi daha gerçekçi sonuçlar elde etmek ve yöntemlerin iyileştirilme çalışması için önemli katkı sağlayabilecektir[12]. Bunun yanında, deneylerin veri toplama cihazlarının (sensör, akıllı telefon gibi) farklı marka ve modelleri ile tekrarlanıp yöntem gürbüzlüğünün kontrol edilmesi de faydalı olabilecektir.

5. Kaynaklar

1. Yampolskiy, R. V., ve Govindaraju, V. (2008). "Behavioural biometrics: a survey and classification", *International Journal of Biometrics*, 1(1): 81-113.
2. Neves, J., Narducci, F., Barra, S., ve Proença, H., (2016). "Biometric recognition in surveillance scenarios: a survey", *Artificial Intelligence Review*, 46(4): 515-541.
3. Gofman, M. I., ve Mitra, S., (2016). "Multimodal biometrics for enhanced mobile device security", *Communications of the ACM*, 59(4): 58-65.
4. Šeděnka, J., Govindarajan, S., Gasti, P., ve Balagani, K. S., (2015). "Secure outsourced

4.3.3. Kaynakların Etkin Kullanımı

Biyometrik uygulamaların öncül gereksinimi doğruluk performansının yükseltilmesidir. Sistemlere her an her yerden erişimin bir gereksinim haline geldiği günümüzde, kaynak tüketimi analizi de büyük önem taşımaktadır[5]. İncelenen literatür çalışmaları arasında geliştirilen yöntemlerle ilgili kaynak tüketimi sonuçları bulunsa da, üzerinde çalışılan veri ve platform farkından dolayı, çok sağlıklı karşılaştırma yapma imkanı olmamaktadır. Kaynak tüketimi analizinde yalnız çalışma süresi, fiziksel kaynak kullanımı (CPU, bellek, enerji kaynağı vb.) gibi öğelerin yanında yöntem için gerekli öznitelik sayısı ve bunların elde edilme maliyetleri ve eğitim safhasında kullanılan model sayısı gibi kalemlerin de analiz edilmesi yöntem iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için yarar sağlayabilecektir.

4.3.4. Erişime Açık Verisetinin Oluşturulması

Davranışsal biyometri ile ilgili çalışmalarda açık veri setlerinin yetersizliği yöntemlerin performans karşılaştırılmasının yapılmasının önüne geçebilmektedir. Ayrıca, bazı çalışmalarda kullanılan veri miktarının çok az olduğu görülmektedir. Bunun nedeni özellikle bu türde veri toplamanın özellikle zamansal ve finansal olarak pahalı olmasıdır. Uluslararası çalışmalarda kullanılabilir, ilgili yasal, gizlilik ve güvenlik protokollerine uyan, veri tabanlarının oluşturulabilmesine olanak tanıyan bir platformun geliştirilmesi bu alandaki çalışmalara büyük katkı sağlayabilecektir.

- biometric authentication with performance evaluation on smartphones", *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 10(2): 384-396.
5. Meng, W., Wong, D. S., Furnell, S., ve Zhou, J., (2015). "Surveying the development of biometric user authentication on mobile phones", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(3): 1268-1293.
6. Precise Biometrics, Understanding Biometric Performance Evaluation, Teknik Rapor, <https://goo.gl/AbirLE>, Son Erişim: Nisan 2017.
7. Frank, M., Biedert, R., Ma, E., Martinovic, I., & Song, D. (2013). "Touchalytics: On the applicability of touchscreen input as a behavioral biometric for continuous authentication", *IEEE*

- transactions on information forensics and security, 8(1): 136-148.
8. Sultana, M., Paul, P. P., ve Gavrilova, M. (2014, October). "A concept of social behavioral biometrics: motivation, current developments, and future trends", In *Cyberworlds (CW), 2014 International Conference on* (pp. 271-278). IEEE.
 9. Peng, J., Choo, K. K. R., ve Ashman, H. (2016). "User profiling in intrusion detection: A review", *Journal of Network and Computer Applications*, 72: 14-27.
 10. Murmura, R., Stavrou, A., Barbará, D., & Fleck, D. (2015, November). "Continuous authentication on mobile devices using power consumption, touch gestures and physical movement of users", In *International Workshop on Recent Advances in Intrusion Detection* (pp. 405-424). Springer International Publishing.
 11. Alzubaidi, A., ve Kalita, J., (2016). "Authentication of smartphone users using behavioral biometrics", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(3): 1998-2026.
 12. Ali, M. L., Monaco, J. V., Tappert, C. C., ve Qiu, M., (2016). "Keystroke biometric systems for user authentication", *Journal of Signal Processing Systems*, 86(2): 1-16.
 13. Jain, A. K., Nandakumar, K., ve Ross, A., (2016). "50 years of biometric research: Accomplishments, challenges, and opportunities", *Pattern Recognition Letters*, 79: 80-10.
 14. Salakhutdinov, R., ve Hinton, G., (2009). "Deep boltzmann machines", *Artificial Intelligence and Statistics*, 448-455.
 15. Prabha, R. S., ve Vidhyapriya, R., (2017). "Intruder Detection System Based on Behavioral Biometric Security", *Journal Of Scientific & Industrial Research*, 76: 90-94.
 16. Kim, E., Hong, S., ve Lee, H. (2012). "Human Identification By Fusion Of Multiple Gait Representations", *Advanced Topics in Biometrics*, 229.
 17. Galajdová, A., Šimšík, D., ve Rákay, R., (2016). "An automated procedure for identification of a person using gait analysis", *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 13(5): 1-5.
 18. Liang, Y., Li, C. T., Guan, Y., ve Hu, Y., (2016). "Gait recognition based on the golden ratio", *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2016(1): 22.
 19. Man, J., ve Bhanu, B. (2006). "Individual recognition using gait energy image", *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 28(2): 316-322.
 20. Liu, Z., Zhang, Z., Wu, Q., ve Wang, Y., (2015). "Enhancing person re-identification by integrating gait biometric", *Neurocomputing*, 168: 1144-1156.
 21. Bouchrika, I., Carter, J. N., ve Nixon, M. S., (2016). "Towards automated visual surveillance using gait for identity recognition and tracking across multiple non-intersecting cameras", *Multimedia Tools and Applications*, 75(2): 1201-1221.
 22. Ngo, T. T., Makihara, Y., Nagahara, H., Mukaigawa, Y., ve Yagi, Y., (2014). "The largest inertial sensor-based gait database and performance evaluation of gait-based personal authentication", *Pattern Recognition*, 47(1): 228-237.
 23. Bimbot, F., Bonastre, J. F., Fredouille, C., Gravier, G., Magrin-Chagnolleau, I., Meignier, S., ... & Reynolds, D. A. (2004), "A tutorial on text-independent speaker verification. *EURASIP journal on applied signal processing*", 2004, 430-451.
 24. Kanagasundaram, A., Vogt, R., Dean, D. B., Sridharan, S., & Mason, M. W. (2011, August). "I-vector based speaker recognition on short utterances", *Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Speech Communication Association* (pp. 2341-2344). International Speech Communication Association (ISCA).
 25. Hansen, J. H., ve Hasan, T., (2015). "Speaker recognition by machines and humans: A tutorial review", *IEEE Signal processing magazine*, 32(6): 74-99.
 26. Sarkar, A. K., Do, C. T., Le, V. B., ve Barras, C., (2014). "Combination of cepstral and phonetically discriminative features for speaker verification", *IEEE Signal Processing Letters*, 21(9): 1040-1044.
 27. Liu, Y., Qian, Y., Chen, N., Fu, T., Zhang, Y., ve Yu, K., (2015). "Deep feature for text-dependent speaker verification", *Speech Communication*, 73: 1-13.
 28. Cai, Y., Li, X., Gong, Z., ve Codina, T. R., (2014). "Speaker verification for multi-task interactions", *Interacting with Computers*, 26(2): 135-144.
 29. Rigas, I., Economou, G., ve Fotopoulos, S., (2012). "Biometric identification based on the eye movements and graph matching techniques", *Pattern Recognition Letters*, 33(6): 786-792.
 30. Cantoni, V., Galdi, C., Nappi, M., Porta, M., ve Riccio, D., (2015). "GANT: Gaze analysis technique for human identification", *Pattern Recognition*, 48(4): 1027-1038.
 31. Juhola, M., Zhang, Y., ve Rasku, J., (2013). "Biometric verification of a subject through eye movements", *Computers in biology and medicine*, 43(1): 42-50.
 32. Kasprowski, P., ve Harezlak, K., (2016). "Fusion of eye movement and mouse dynamics for reliable behavioral biometrics", *Pattern Analysis and Applications*, 1-13.

33. Wang, S. L., ve Liew, A. W. C., (2012). "Physiological and behavioral lip biometrics: A comprehensive study of their discriminative power", *Pattern Recognition*, 45(9): 3328-3335.
34. Liu, X., ve Cheung, Y. M., (2014). "Learning multi-boosted HMMs for lip-password based speaker verification", *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 9(2): 233-246.
35. Wang, L., Tan, T., Ning, H., ve Hu, W. (2003). "Silhouette analysis-based gait recognition for human identification", *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 25(12): 1505-1518.
36. Zheng, S., Zhang, J., Huang, K., He, R., ve Tan, T. (2011). "Robust view transformation model for gait recognition", 2011 18th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2073-2076.
37. Stolcke, A., Kajarekar, S. S., Ferrer, L., & Shrinberg, E. (2007). "Speaker recognition with session variability normalization based on MLLR adaptation transforms", *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 15(7): 1987-1998.
38. Banerjee, S. P., & Woodard, D. L. (2012). "Biometric authentication and identification using keystroke dynamics: A survey", *Journal of Pattern Recognition Research*, 7(1): 116-139.
39. Chandrasekar, V., ve Suresh Kumar, S., (2016). "A dexterous feature selection artificial immune system algorithm for keystroke dynamics", *Stochastic Analysis and Applications*, 34(1): 147-154.
40. Chandrasekar, V., Kumar, S. S., ve Maheswari, T., (2016). "Authentication based on keystroke dynamics using stochastic diffusion algorithm", *Stochastic Analysis and Applications*, 34(1): 155-164.
41. Chu, Z., Gianvecchio, S., Koehl, A., Wang, H., ve Jajodia, S., (2013). "Blog or block: Detecting blog bots through behavioral biometrics", *Computer Networks*, 57(3), 634-646.
42. Deutschmann, I., Nordström, P., ve Nilsson, L., (2013). "Continuous authentication using behavioral biometrics", *IT Professional*, 15(4): 12-15.
43. Schclar, A., Rokach, L., Abramson, A., ve Elovici, Y., (2012). "User authentication based on representative users", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 42(6): 1669-1678.
44. Shen, C., Cai, Z., Guan, X., ve Maxion, R., (2014). "Performance evaluation of anomaly-detection algorithms for mouse dynamics", *Computers & Security*, 45: 156-171.
45. Feher, C., Elovici, Y., Moskovitch, R., Rokach, L., ve Schclar, A., (2012). "User identity verification via mouse dynamics", *Information Sciences*, 201: 19-36.
46. Sayed, B., Traore, I., Woungang, I., ve Obaidat, M. S., (2013). "Biometric authentication using mouse gesture dynamics", *IEEE Systems Journal*, 7(2): 262-274.
47. Robertson, J., ve Guest, R., (2015), "A feature based comparison of pen and swipe based signature characteristics", *Human Movement Science*, 43, 169-182.
48. Peng, G., Zhou, G., Nguyen, D. T., Qi, X., Yang, Q., ve Wang, S., (2016). "Continuous Authentication With Touch Behavioral Biometrics and Voice on Wearable Glasses", *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 99: 1-13.
49. Bevan, C., ve Fraser, D. S., (2016). "Different strokes for different folks? Revealing the physical characteristics of smartphone users from their swipe gestures", *International Journal of Human-Computer Studies*, 88: 51-61.
50. Zhou, L., Kang, Y., Zhang, D., ve Lai, J., (2016). "Harmonized authentication based on ThumbStroke dynamics on touch screen mobile phones", *Decision Support Systems*, 92: 14-24.
51. Kambourakis, G., Damopoulos, D., Papamartzivanos, D., ve Pavlidakis, E., (2014). "Introducing touchstroke: keystroke-based authentication system for smartphones", *Security and Communication Networks*, 9(6): 542-554.
52. Sae-Bae, N., Memon, N., Isbister, K., ve Ahmed, K., (2014). "Multitouch gesture-based authentication", *IEEE transactions on information forensics and security*, 9(4): 568-582.
53. SenthilPrabha, R., Vidhyapriya, R., ve RavithaRajalakshmi, N., (2016). "Performance analysis for a Touch dynamic authentication system with reduced feature set using neural networks", *IETE Journal of Research*, 62(2): 198-204.
54. Sitová, Z., Šeděnka, J., Yang, Q., Peng, G., Zhou, G., Gasti, P., ve Balagani, K. S., (2016). "HMOG: New behavioral biometric features for continuous authentication of smartphone users", *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 11(5): 877-892.
55. Peng, H., Long, F., & Ding, C. (2005). "Feature selection based on mutual information criteria of max-dependency, max-relevance, and min-redundancy", *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 27(8): 1226-1238.
56. Khan, S., ve Dhole, A. (2014). "A Review on Offline Signature Recognition and Verification Techniques", *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 3(6): 6879-6882.

57. Saikia, H., ve Sarma, K. C. (2012). "Approaches and issues in offline signature verification system", *International Journal of Computer Applications*, 42(16): 45-52.
58. Hafemann, L. G., Sabourin, R., ve Oliveira, L. S. (2015). "Offline handwritten signature verification-literature review", *arXiv preprint arXiv:1507.07909*.
59. Neamah, K., Mohamad, D., Saba, T., & Rehman, A. (2014). "Discriminative features mining for offline handwritten signature verification", *3D Research*: 5(1), 2.
60. Baltzakis, H., ve Papamarkos, N. (2001). "A new signature verification technique based on a two-stage neural network classifier", *Engineering applications of Artificial intelligence*, 14(1): 95-103.
61. Batista, L., Granger, E., ve Sabourin, R. (2012). "Dynamic selection of generative-discriminative ensembles for off-line signature verification", *Pattern Recognition*, 45(4): 1326-1340.
62. Skurichina, M., ve Duin, R. P. (2002). "Bagging, boosting and the random subspace method for linear classifiers", *Pattern Analysis & Applications*, 5(2): 121-135.
63. Ko, A. H., Sabourin, R., ve Britto Jr, A. S. (2008). "From dynamic classifier selection to dynamic ensemble selection", *Pattern Recognition*, 41(5): 1718-1731.
64. Cavalin, P. R., Sabourin, R., & Suen, C. Y. (2010). "Dynamic selection of ensembles of classifiers using contextual information", *International Workshop on Multiple Classifier Systems*, 7-9 Nisan 2010, Cairo, 145-154.
65. Batista, L., Granger, E., ve Sabourin, R. (2010). "Improving performance of HMM-based off-line signature verification systems through a multi-hypothesis approach", *International Journal on Document Analysis and Recognition (IJDAR)*, 13(1): 33-47.
66. Vargas, F., Ferrer, M., Travieso, C., ve Alonso, J. (2007). "Off-line handwritten signature GPDS-960 corpus", *Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007)*, 23-26 Eylül 2007, Parana, IEEE, 764-768.
67. Kumar, R., Sharma, J. D., ve Chanda, B., (2012). "Writer-independent off-line signature verification using surroundedness feature", *Pattern recognition letters*, 33(3): 301-308.
68. Kalera, M. K., Srihari, S., ve Xu, A., (2004). "Offline signature verification and identification using distance statistics", *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 18(07), 1339-1360.
69. Guerbai, Y., Chibani, Y., ve Hadjadji, B. (2015). "The effective use of the one-class SVM classifier for handwritten signature verification based on writer-independent parameters", *Pattern Recognition*, 48(1): 103-113.
70. Donoho, D. L., ve Duncan, M. R., (2000). "Digital curvelet transform: strategy, implementation, and experiments", *Wavelet Applications VII*, 5 Nisan 2000, Orlando, FL.
71. Sultana, M., Paul, P. P., ve Gavrilova, M., (2015). "Social behavioral biometrics: an emerging trend", *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 29(08): 1556013.
72. Lim, M., Teoh, A. B. J., ve Kim, J., (2015). "Biometric feature-type transformation: Making templates compatible for secret protection", *IEEE Signal Processing Magazine*, 32(5): 77-87.
73. Sizov, A., Khoury, E., Kinnunen, T., Wu, Z., ve Marcel, S., (2015). "Joint Speaker Verification and Antispoofing in the i-Vector Space", *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 10(4): 821-832.
74. Ichino, M., Yamazaki, Y., ve Yoshiura, H., (2015). "Speaker verification method for operation system of consumer electronic devices", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 61(1): 96-102.
75. Al-Rubaie, M., ve Chang, J. M., (2016). "Reconstruction Attacks Against Mobile-Based Continuous Authentication Systems in the Cloud", *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 11(12): 2648-2663.



Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Telif Hakkı Devir Formu / Copyright Form

Biz aşağıda gerekli bilgileri bulunan,

[Yazarların Adı / Author names]

.....

.....tarafımızdan yazılmış,

[Makale Adı / Article title]

.....

.....

başlıklı makale içeriği, sunduğu sonuç, bilgi, bulgu ve yorumları konusunda, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü'nün hiç bir sorumluluk taşımadığını kabul ederiz.

Sunduğumuz makalenin orijinal olduğunu; herhangi bir başka dergiye yayınlanmak üzere gönderilmediğini; daha önce yayınlanmadığını; tümüyle yada bir bölümü herhangi bir kongre/sempozyum da sunulup fakat tam metin olarak basılmadığını ve orijinal telif hakkı devri formu ile birlikte Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü'ne gönderildiğini garanti ederiz.

Makalenin telif hakkından feragat etmeyi kabul ederek sorumluluğu üstlenir ve imza ederiz. Bu vesileyle makalenin telif hakkı Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü' ne devredilmiştir. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü makalenin yayınlanabilmesi konusunda yetkili kılınmıştır. Bununla birlikte yazarların aşağıdaki hakları saklıdır:

Aşağıdaki ve diğer bütün durumlarda makalenin Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi tarafından yayımlandığına dair referans verilmelidir.

1. Telif Hakkı dışında kalan patent v.b. bütün tescil edilmiş haklar.
2. Makaleyi satmamak koşulu ile kendi amaçları için çoğaltma hakkı.
3. Yazarın gelecekteki kitaplar ve dersler gibi çalışmalarında; makalenin tümü ya da bir bölümünü ücret ödemeksizin kullanma hakkı.

Bütün yazarlar tarafından imzalanması gerekiyor: (Sorumlu yazar/Corresponding author*)

Yazarın Adı ve Soyadı / Author Names

İmzası / Signature

Tarih / Date

1

2

3

4

5

NOT: Eksik imza durumunda sorumluluk imzalayan yazarlara aittir. Lütfen formu doldurunuz, imzalayanız ve aşağıdaki adrese metinle birlikte gönderiniz.

Adres: Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Editörlüğü, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 23119-Elazığ.