

Kırıkkale University International Journal of Engineering Research and Development

International Peer Reviewed Journal
e-ISSN: 1308-5514



Volume: 10
Issue: 1

JANUARY 2018

Kırıkkale Üniversitesi
Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi
Uluslararası Hakemli Dergi
Cilt: 10 Sayı:1 Ocak 2018



MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ / KIRIKKALE UNIVERSITY

Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi
International Journal of Engineering Research and Development

Sahibi / Owner

Ekrem YILDIZ
Rektör / Rector

Editör/Editor

Ali ERİŞEN
Dekan / Dean

Yardımcı Editörler / Associate Editors

Ertuğrul ÇAM
Murat LÜY

Alan Editörleri / Area Editors

Adnan AKTEPE - Endüstri Mühendisliği / Industrial Engineering
Tolga EREN - Elektrik-Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering
Atilla ERGÜZEN - Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering
İlker KALKAN - İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering
Hakan ARSLAN - Makine Mühendisliği / Mechanical Engineering

Yazışma Adresi /Address

Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 71450-
Kampüs- Kırıkkale- TÜRKİYE

<http://ijerad.kku.edu.tr>

ijerad@kku.edu.tr

Tel : +90-318-357-42 42 (1001)

Fax: +90-318-357-24 59

ISSN - Online: 1308-5514

Ocak / January 2018

Kapak Tasarım / Graphics Design : Hüseyin AYDİLEK

Danışma Kurulu / Editorial Board
(*Alfabetik Sıralama / Alphabetical*)

- A. Serdar YILMAZ Sütçü İmam Üniversitesi
Ahmet Kürşat TÜRKER Kırıkkale Üniversitesi
Ali Payıdar AKGÜNGÖR Kırıkkale Üniversitesi
Ayten ÇELEBİ KESKİN Kırıkkale Üniversitesi
Burak BİRGÖREN Kırıkkale Üniversitesi
Hasan Şakir BİLGE Gazi Üniversitesi
Hüseyin CANBOLAT Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
İbrahim UZUN Kırıkkale Üniversitesi
İlhami DEMİR Kırıkkale Üniversitesi
İlhan KOCAARSLAN İstanbul Üniversitesi
İsa NAVRUZ Ankara Üniversitesi
M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU Gazi Üniversitesi
M. Tunay GENÇOĞLU Fırat Üniversitesi
Mehmet Ali AKÇAYOL Gazi Üniversitesi
Metin DAĞDEVİREN Gazi Üniversitesi
Mustafa YİĞİTOĞLU Kırıkkale Üniversitesi
Mustafa TÜRK Kırıkkale Üniversitesi
Nihat İNANÇ Kırıkkale Üniversitesi
Osman YILDIZ Kırıkkale Üniversitesi
Ömer Muhammet SOYSAL Louisiana State University
Recep ÇALIN Kırıkkale Üniversitesi
Süleyman ERSÖZ Kırıkkale Üniversitesi
Tamer EREN Kırıkkale Üniversitesi
Ümit Sami SAKALLI Kırıkkale Üniversitesi



MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ / KIRIKKALE UNIVERSITY

Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi
International Journal of Engineering Research and Development

Amaç

Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi mühendisliğin tüm disiplinlerinde çalışılmış olan orijinal ve yüksek kalitedeki araştırma sonuçlarını basan ve teşvik eden bir araştırma dergisidir. Akademisyenler, bilim adamları, üniversitelerdeki araştırmacılar ve ilgi duyan herkesin çalışmaları basım için düşünülebilir.

Aim

International Journal of Engineering Research and Development is a peer-reviewed international research journal aiming at promoting and publishing original high-quality research in all disciplines of engineering sciences and technology. Manuscripts are invited from academicians, scientists, researchers of universities and industry and for all interested people for publication consideration.

Araştırma Alanı

Mühendislik Teorisi ve Uygulamaları

Research Highlights

Engineering Theory and Applications

Kapsam

Derginin ilgi alanlarında, sınırlama olmaksızın, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Makina Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Bilgisayar Mühendisliği ve Endüstri Mühendisliği bulunmaktadır.

Scope

Areas includes (but not limited to) all issues in Electrical&Electronics Engineering, Mechanical Engineering, Civil Engineering, Computer Engineering and Industrial Engineering.

Yazarlara Bilgi

Ayrıntılı bilgi için lütfen <http://ijerad.kku.edu.tr/> adresini ziyaret ediniz.

Authors Information

For detailed information please visit <http://ijerad.kku.edu.tr>

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

1	Antideprasan İlaçların Etken Maddelerinin Adsorpsiyonu: Kinetik ve İzotermi <i>Making Adsorption of Effective Agents of Antidepressant Drugs: Kinetic and Isotherm</i> Orhan BAYTAR DOI: 10.29137/umagd.419657	1-11
2	Boru Hatlarında Meydana Gelen Heyelan Olaylarında Jeoteknik Etütler ve Mühendislik Jeolojisi Yaklaşımları <i>Geotechnical Investigations and Geological Engineering Approaches in Landsliding on Pipelines</i> Mustafa Can CANOĞLU DOI: 10.29137/umagd.332170	12-21
3	Ortotrop Plakların Çift Fourier Serileri İle Statik Analizi <i>Static Analysis Of Orthotropic Plates By Double Fourier Series</i> Mustafa Haluk SARAÇOĞLU, Fethullah USLU, Uğur KAFKAS DOI: 10.29137/umagd.419658	22-29
4	Al-18Si Alaşımında Döküm Kalitesi, Mikroyapı Ve Mekanik Özellikler Arası İlişkinin İncelenmesi <i>Investigation of the Relationship Between Casting Quality, Microstructure and Mechanical Properties in Al-18Si Alloy</i> Muhammet ULUDAĞ DOI: 10.29137/umagd.419659	30-41
5	Plandaki Dolgu Duvar Yerleşiminin Bina Performansı Üzerindeki Etkisi <i>The Effects of Infill Walls Located in Plan on Buildings Performance</i> Osman AKYÜREK, Hamide TEKELİ, Fuat DEMİR DOI: 10.29137/umagd.419660	42-55
6	YSA Ve DVM Yöntemlerinin Bir Metro Hattında Gerilim Düşümünün Tahmini İçin Karşılaştırılması <i>The Comparison of the ANN and SVM Methods for the Prediction of Voltage Drop on a Subway Line</i> İlhan KOCAARSLAN, Mehmet Taciddin AKÇAY, Abdurrahim AKGÜNDOĞDU, Hasan TİRYAKI DOI: 10.29137/umagd.352946	56-65
7	Acil Servislerde Talebin Zaman Serileri Modelleri ile Tahmin Edilmesi <i>Time Series Modelling for Forecasting Demand in the Emergency</i> Görkem SARIYER DOI: 10.29137/umagd.419661	66-77
8	A Comparison Study of the Optical Measurement Sensitivity of the Phototransistor and Photodiode Mehmet Ali ÖZÇELİK DOI: 10.29137/umagd.419662	78-84
9	Koronar Arter Hastalığı Riskinin Veri Madenciliği Yöntemleri İle İncelenmesi <i>Identification of Coronary Artery Disease Risk Using Data Mining Techniques</i> Şeyma CİHAN, Bergen KARABULUT, Güvenç ARSLAN, Gökhan CİHAN DOI: 10.29137/umagd.419663	85-93
10	Perlit Kullanımının Seramik Duvar Karosu Teknik Özelliklerine Etkisi <i>Effect of Usage of Perlite on Technical Properties of Ceramic Wall Tile</i> Müge TARHAN, Baran TARHAN DOI: 10.29137/umagd.364552	94-100
11	Kırklareli İli Merkez İlçede Yer Alan İlkokul Ve Ortaokul Tesislerinin Mevcut Durumunun Analiz Edilmesi Ve 2026 Yılı İçin Öngörülerde Bulunulması Etkisi <i>Analysis of The Current Situation of Primary And Secondary School Facilities In Kırklareli Province Central District And Predictions For The Year 2026</i> Azem KURU, Mete Korhan ÖZKÖK, Melih BİRİK, Ezgi TOK, Hatice Meltem GÜNDOĞDU, Göksel DEMİR DOI: 10.29137/umagd.346341	101-117

12	2B Video ve Derinlik Haritası Temelli 3B Videolarda Yapısal Karmaşıklık Tabanlı Video Kalite Değerlendirmesi <i>Color Plus Depth Map Based 3D Video Quality Assessment Based on Structural Complexity</i> Mustafa Yasin ERTEN, Gökçe NUR YILMAZ DOI: 10.29137/umagd.356397	118-125
13	Chemical Analysis of Wet Deposition Sequential Samples at Istanbul, Turkey <i>Ilker ORUC, Bulent Oktay AKKOYUNLU, Murat DOGRUEL, Mete TAYANC</i> DOI: 10.29137/umagd.419664	126-132
14	Kayseri-Sahabiye Medresesi 3-Boyutlu Modelleme Çalışması ve Animasyonu <i>3-Dimensional Study of Modelling And Animation of Kayseri-Sahabiye Madrasa</i> Murat YAKAR, Engin KOCAMAN DOI: 10.29137/umagd.419665	133-138
15	Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bölümlerin Veri Zarflama Analizi ile Karşılaştırmalı Etkinlik Ölçümü <i>Activity Analysis of Sakarya University Engineering Faculty Departments with Data Envelopment Analysis</i> Gültekin ÇAĞIL, Gökçe BAHADIR DOI: 10.29137/umagd.368644	139-147
16	Design Optimization of Machining Parameters for AWJ Turning Operations of 718 Inconel Super alloy Based on the Taguchi <i>Fuat KARTAL</i> DOI: 10.29137/umagd.419669	148-156
17	Numerical Solution of Thermal Residual Stress Analysis with Finite Difference Method of Functionally Graded Circular Plates <i>M.Didem DEMİRBAŞ, M.Kemal APALAK</i> DOI: 10.29137/umagd.349654	149-157
18	An Efficient DWT and EWT Feature Extraction Methods for Classification of Real Data PQ Disturbances <i>Mehmet İsmail GURSOY, Seydi Vakkas USTUN, Ahmet Serdar YILMAZ</i> DOI: 10.29137/umagd.350231	158-171
19	Çok Boyutlu Dalga Denklemleri için Geri Adımlamalı Sınır Değer Kontrolü <i>Boundary Backstepping Control for Multi-Dimensional Wave Equations</i> Aziz SEZGİN DOI: 10.29137/umagd.441671	172-183



Antideprasan İlaçların Etken Maddelerinin Adsorpsiyonu: Kinetik ve İzotermi

Making Adsorption of Effective Agents of Antidepressant Drugs: Kinetic and Isotherm

Orhan BAYTAR*¹

¹*Siirt Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 56000 Siirt, TÜRKİYE*

Başvuru/Received: 25/08/2017

Kabul/Accepted: 12/12/2017

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Öz

Bu çalışmada bir önceki çalışmamız elde ettiğimiz yüksek yüzey alana sahip aktif karbon kullanılarak venlafaxine ve doxylamine antideprasan ilaçların etken maddesinin adsorpsiyonu incelenmiştir. Adsorpsiyon çalışmalarında çözelti başlangıç pH, çözelti başlangıç konsantrasyonu ve aktif karbon miktarı parametrelerin etkisi incelenmiştir. Adsorpsiyonun denge verileri Langmuir ve freundlich izotermine uygulanmış ve en iyi Langmuir izotermine uyduğu belirlenmiştir. Langmuir izotermine q_{max} venlafaxine ve doxylamine maddeleri için sırasıyla 8.764 ve 10.764 mg/g olduğu tespit edilmiştir. İlaç etken maddelerinin adsorpsiyon kinetiği yalancı birinci derece ve yalancı ikinci derece kinetik modeller için hesaplanmış ve en iyi yalancı ikinci derece kinetik model olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Antideprasan, ilaç etken maddesi, adsorpsiyon, izoterm”

Abstract

In this study, the adsorption of the active agent of venlafaxine and doxylamine antidepressant drugs was investigated by using the high surface area active carbon obtained in our previous study. The effects of initial pH of solution, initial concentration of solution and amount of activated carbon were examined in adsorption experiments. The adsorption equilibrium data were applied to the Langmuir and Freundlich isotherms and the best Langmuir isotherm was determined. Langmuir isotherm was found as 8.764 and 10.764 for q_{max} venlafaxine and doxylamine substances, respectively. The adsorption kinetics of the drug substance were calculated for pseudo first order and pseudo second order kinetic models and it was determined to be the best pseudo second order kinetic model.

Key Words

“Antidepressant, drug substance, adsorption, isotherm”

1. GİRİŞ

Doxylamine ve venlafaxine uykusuzluk ve anti depresan tedavilerinde kullanılan ilaçların etken maddeleridir (Somun, 2014; Cerit, 2009). Maddenin kötüye kullanılması, depresif bozukluk, şizofreni ve diğer ruhsal bozukluklar gibi psikiyatrik etkenlerin intiharda çok etkili olmaktadır. İntihar girişiminde bulunan kişilerin %95'nin bir ruhsal bozukluk tanısı konulmuştur (Yalvaç, 2006). İntihar girişimlerinde ve mide yıkanmasında son zamanlarda aktif karbon kullanılmaktadır. Aktif karbon birçok ilaç ve toksik maddeler ile absorbe olmayan kimyasal kompleks oluştururken toksik maddeyi adsorplayarak fiziksel kompleks oluşturur. Aktif karbon emilmeyen bir madde olduğundan dolayı mide de toksik maddeleri bağlar, ayrıca bağırsaklara geçmiş toksik maddeleri de adsorplayarak bu toksik maddeleri emilmeyen bir yapıya dönüştürür (Devecioğlu, 2017).

Aktif karbon çeşitli kirleticilerin uzaklaştırılması için yaygın olarak kullanılan mükemmel bir adsorbenttir. Aktif karbonun geniş yüzey alanı, iyi gelişmiş gözeneklik ve çeşitli yüzey fonksiyonel grupların varlığı bir avantaj sağlamaktadır. Aktif karbon genel olarak kimyasal veya fiziksel aktivasyon yöntemiyle hazırlanmaktadır. Fiziksel aktivasyon, hammadde inert gaz ortamında yüksek sıcaklıkta pirolizi veya yüksek sıcaklıkta CO₂ veya su buharı ile aktivasyonu sonucu aktif karbonun üretilmesidir. Kimyasal aktivasyon ise ilk önce hammaddeye bir kimyasalın (ZnCl₂, KOH, H₃PO₄ gibi) emdirilmesi daha sonra ise 400-600 oC sıcaklıklarında aktivasyonu sonucu aktif karbonun üretilmesidir (Saka, 2012). Aktif karbon meşe palamudu kabuğu(Şahin & Saka, 2013), iğde çekirdeği(Şahin vd., 2015), keçi boynuzu çekirdeği(Şahin vd., 2016) gibi birçok hammaddeden farklı yöntem kullanılarak sentezlenebilmektedir.

Bu çalışmada daha önceki çalışmamızda kimyasal aktivasyon yöntemiyle iğde çekirdeğinden ürettiğimiz aktif karbon (Şahin vd., 2015) kullanılarak antidepresan ilaçların etken maddesi olan doxylamine ve venlafaxine ilaçların adsorpsiyonu incelenmiştir. Adsorpsiyon çalışmalarında çözelti başlangıç pH, çözelti başlangıç konsantrasyonu ve adsorbent miktarı parametrelerin etkileri incelenmiş ve doxylamine ve venlafaxine maddelerin adsorpsiyonu için optimum şartlar tespit edilmiştir.

2. DENEYSEL KISIM

2.1. Kimyasallar

Deneyde kullanılan kimyasallar maddelerin tamamı analitik saflıktadır. Doxylamine IUPAC'a göre (RS)-N-N-dimetil-2(1-fenil-1-piridin-2-yl-etoksi)-etanamin olarak adlandırılmaktadır(Somun, 2014). Venlafaxine ise 1-[2-(dimetilamino)-1-(4-metoksifenil)-etil] siklo heksanol olarak adlandırılmaktadır (Cerit, 2009).

Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılan aktif karbon bir önceki çalışmamızda elde ettiğimiz aktif karbondur Aktif karbon. ZnCl₂ aktifleştiricisi kullanılarak kimyasal aktivasyon yöntemiyle elde edilmiştir. Elde edilen aktif karbon BET yüzey alanı 1826 m²/g olduğu belirlenmiştir (Şahin vd., 2015).

2.2. Adsorpsiyon Çalışmaları (Adsorption Studies)

Aktif karbon kullanılarak doxylamine ve venlafaxine adsorpsiyonu çalışmaları kesikli sistemde gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon çalışmalarında; çözelti başlangıç pH'ı, ilaç etken maddelerin başlangıç derişimi ve adsorbent miktarı parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Adsorpsiyon işleminin ardından çözelti içerisindeki ilaç etken maddelerin derişimi, UV spektrofotometresinde (Shimadzu UV-1800) doxylamine ve venlafaxine için sırasıyla 260 ve 226 nm dalga boyunda tespit edilmiştir. Adsorbentin denge durumunda adsorpladığı ilaç etken maddesi adsorpsiyon kapasitesi (q_e) ve % adsorpsiyon değeri Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{w} V \quad (1)$$

$$R = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} 100 \quad (2)$$

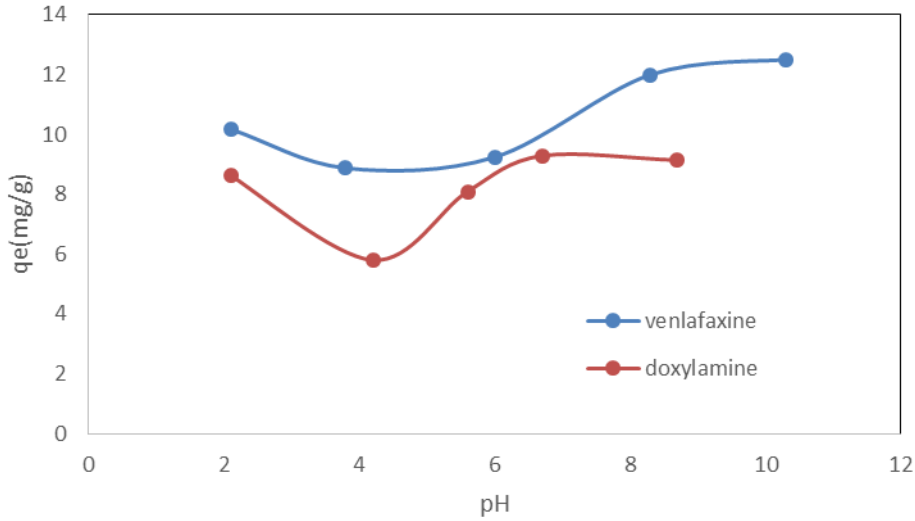
C₀, çözeltildeki ilaç etken maddesi başlangıç derişimi (mg/l); C_e, denge durumunda çözeltildeki ilaç etken maddesi derişimi (mg/L); V, çözelti hacmi (mL); w, adsorbent miktarı (g); R, adsorplanan ilaç etken maddesi derişim yüzdesidir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.2. Adsorpsiyon çalışmaları

3.2.1 Adsorpsiyona pH etkisi

Çözelti pH'ındaki değişim, ilaç etken maddesi ile adsorbent arasındaki elektrostatik etkileşimler üzerinde etkili olması ve genellikle ilaç etken maddesinin mide de adsorpsiyonu gerçekleştiğinden dolayı ilaç etken maddelerin adsorpsiyonunu etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesidir. Deneysel çalışmalar 30 °C sabit çözelti sıcaklığı, 25 mg/L ilaç etken maddesi başlangıç derişimi, 30 mL çözelti hacmi ve 25 mg adsorbent miktarı dikkate alınarak, 2-10 aralığında değişen çözelti başlangıç pH değerleri için, çalkalamalı su banyosunda yürütülmüştür. Adsorpsiyon kapasitesinin çözelti başlangıç pH'ı ile değişimi Şekil 3.1' de verildiği gibidir.



Şekil 3.1. Adsorpsiyon kapasitesinin çözelti başlangıç pH'ı ile değişimi

Şekil 3.1'den görüldüğü gibi doxylamine ilaç etken maddesi pH'ın 2'den 4 artmasıyla birlikte adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı pH'ın 4 büyük olduğunda ise adsorpsiyon kapasitesinin arttığı görülmektedir. Şekil'den görüldüğü gibi venlafaxine ilaç etken maddesi adsorpsiyonunda pH'ın artmasıyla birlikte adsorpsiyon kapasitesinin arttığı görülmektedir. Düşük pH'lerde adsorpsiyon kapasitesinin düşük olmasının muhtemel nedeni ilaç etken maddesinin protonlanması olduğu düşünülmektedir. Diğer bir neden ise aktif karbon yüzeyinin pozitif olması ve protonlanması olduğu düşünülmektedir. Yüksek pH değerlerinde adsorpsiyon kapasitesinin artmasının muhtemel nedeni ise pH'ın artması ile aktif karbon yüzey yükünün negatifliğinin artması ve pH'ın artması ile adsorbent yüzeyindeki aktif bölgelerin bağ yapma eğilimlerinin artması olduğu düşünülmektedir. Doxylamine adsorpsiyonunda pH 2 olduğunda adsorpsiyon kapasitesi 8,63 mg/g iken pH 6,7 olduğunda ise adsorpsiyon kapasitesinin 9,28 mg/g olduğu tespit edilmiştir. Venlafaxine adsorpsiyonunda pH 2 olduğunda adsorpsiyon kapasitesi 10,17 mg/g iken pH 10 olduğunda ise adsorpsiyon kapasitesinin 12,49 mg/g olduğu tespit edilmiştir. Her iki ilaç etken maddesinin adsorpsiyon kapasitesi pH 2'de maksimum olmasa da bundan sonraki adsorpsiyon çalışmaları pH 2 de gerçekleştirilmiştir. Çünkü bu ilaç etken maddelerin adsorpsiyonu daha çok mide de gerçekleşmekte ve mide asitinin pH 2'ye çok yakın olduğundan dolayı geri kalan bütün çalışmalarda pH 2 seçilmiştir.

3.2.2 İlaç etken maddesi başlangıç derişiminin etkisi

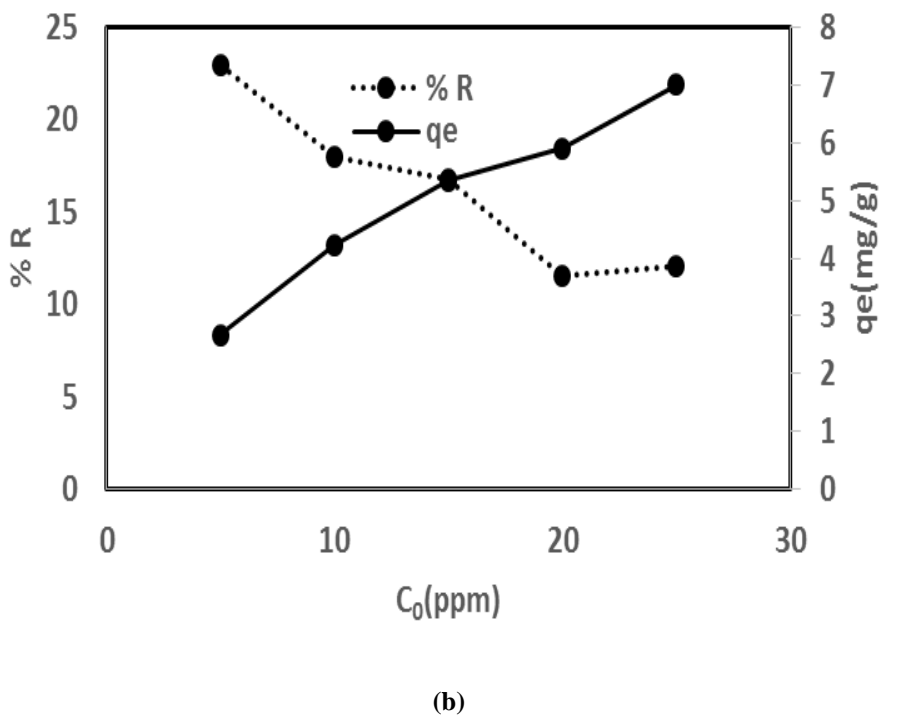
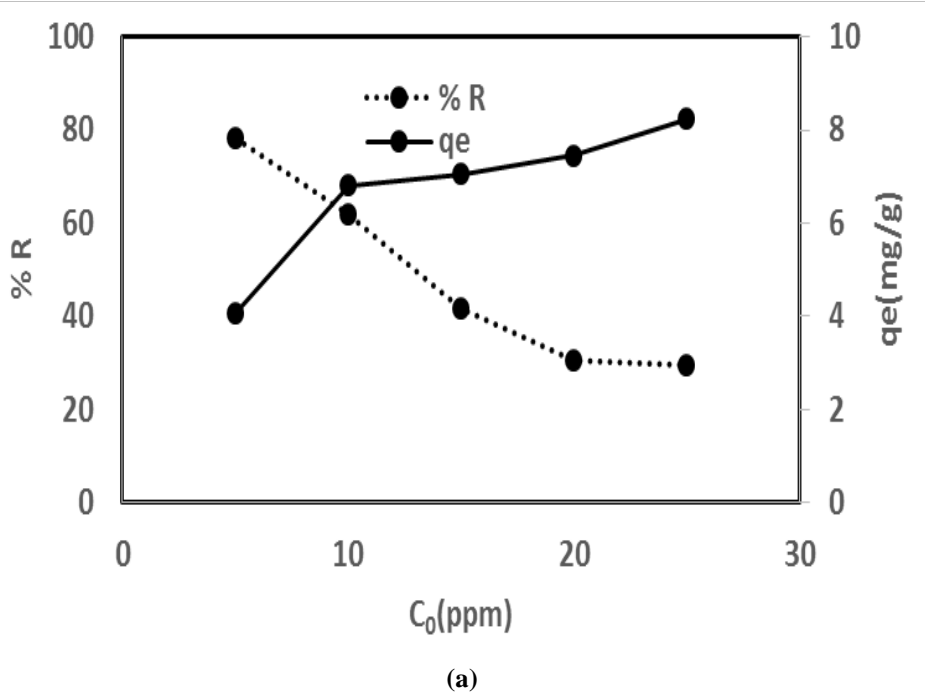
Çalışmanın bu aşamasında; 5, 10, 15, 20 ve 25 mg/L çözelti başlangıç derişimleri dikkate alınarak, 30 °C çözelti ortam sıcaklığı, 30 mL çözelti hacmi, 25 mg aktif karbon miktarı ve her iki ilaç etken maddesi içinde çözelti başlangıç pH değeri 2 olacak şekilde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çözelti başlangıç derişimi-adsorpsiyon kapasitesi-ilaç etken maddesi giderim yüzdesi(%R) değişimi Şekil 3.2'de verildiği gibidir.

Şekil 3.2'den görüldüğü gibi her iki ilaç etken maddesi için artan başlangıç derişimi ile birlikte adsorpsiyon kapasitesi de artmaktadır. Bu durumun muhtemel sebebinin; ilaç etken maddesi ile aktif karbon arasındaki etkileşimlerin artması (Shrestha vd., 2013) ve kütle transferi için yüksek bir itici gücün oluşması (Cherifi vd., 2013) olarak düşünülmektedir. İlaç etken maddesi başlangıç derişiminin artması ile birlikte ilaç etken maddesi giderim yüzdesi %R'nin azaldığı da görülmektedir. Bu durum, sabit miktardaki adsorbent için yüzeydeki boş aktif bölge sayısının, artan derişim ile birlikte ilaç etken maddesi adsorpsiyonunda yetersiz kalmasından kaynaklanmaktadır(Banerjee vd., 2014).

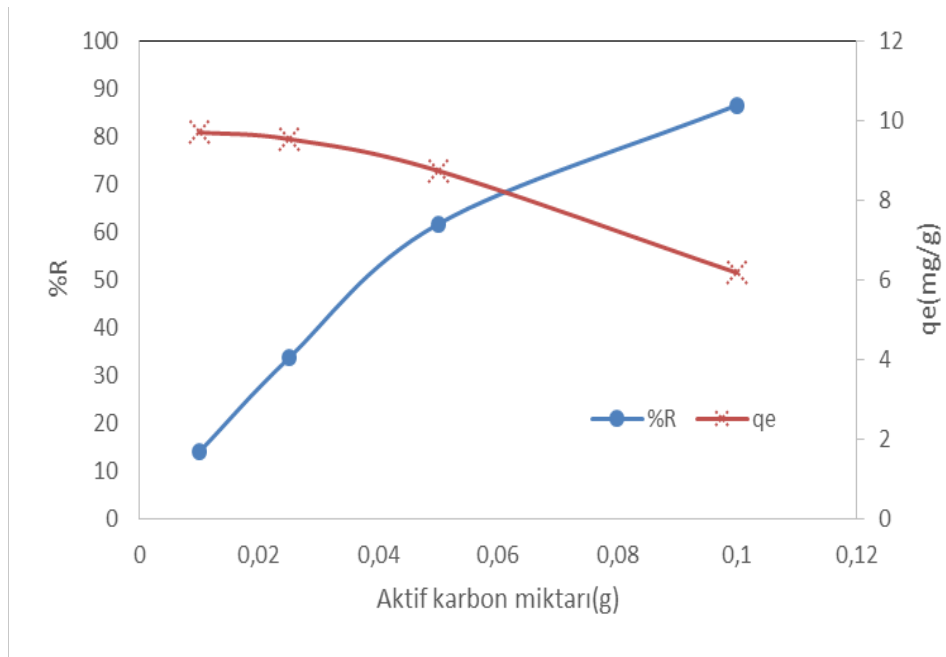
3.2.3. Adsorbent miktarının etkisi

Çalışmanın bu basamağında aktif karbon miktarının ilaç etken maddeleri adsorpsiyonu üzerine etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalar çözelti başlangıç pH'ı her iki ilaç etken maddesi için de 2, ilaç etken maddesi başlangıç derişimi 25 mg/L, çözelti hacmi 30 mL ve ortam sıcaklığı 30°C şartları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan aktif karbon miktarları 0,01, 0,025, 0,05, ve 0,1 g olarak seçilmiştir. Her iki ilaç etken maddesinin adsorpsiyon kapasitesi ve giderim yüzdesinin (%R) aktif karbon miktarı ile değişimi Şekil 3.3'da verildiği gibidir.

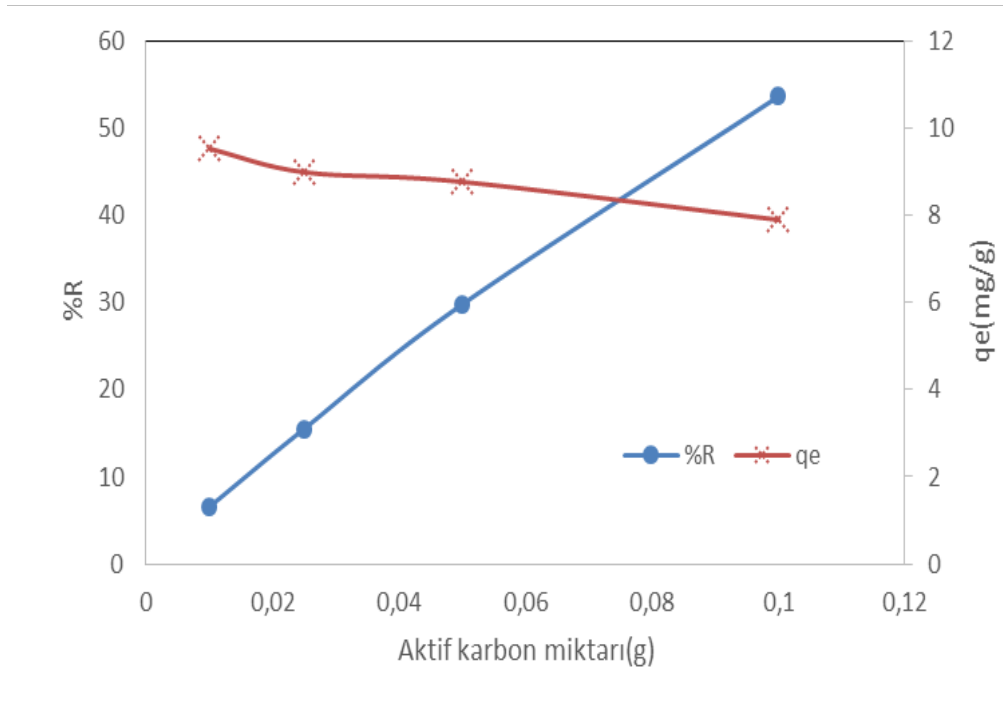
Şekil 3.3'dan görüldüğü gibi her iki ilaç etken maddesi içinde adsorbent miktarının artması ile adsorpsiyon kapasitesi azalmakta ve ilaç etken maddesi giderim yüzdesi ise artmaktadır. Artan adsorbent miktarıyla adsorpsiyon kapasitesinin azalmasının muhtemel nedeni; Artan aktif karbon miktarı ile kullanılabilir aktif bölge sayısının artması ve bu bölgelerin doymadan kalması (Hassan vd., 2014). Artan adsorbent miktarı ile giderim yüzdesinin artmasının muhtemel nedeni ise; Aktif karbon miktarının artması ile yüzey alanı ve boş aktif bölgelerin miktarının artması (Nam vd., 2014).



Şekil 3.2. ilaç etken maddelerin başlangıç derişimi, % giderimi ve adsorpsiyon kapasitesi ile değişimi. a-) Venlafaxine; b-) Doxylamine



(a)



(b)

Şekil 3.3. Adsorbent miktarı ile ilaç etken maddelerin adsorpsiyon kapasitesi ile değişimi. a-) Venlafaxine; b-) Doxylamine

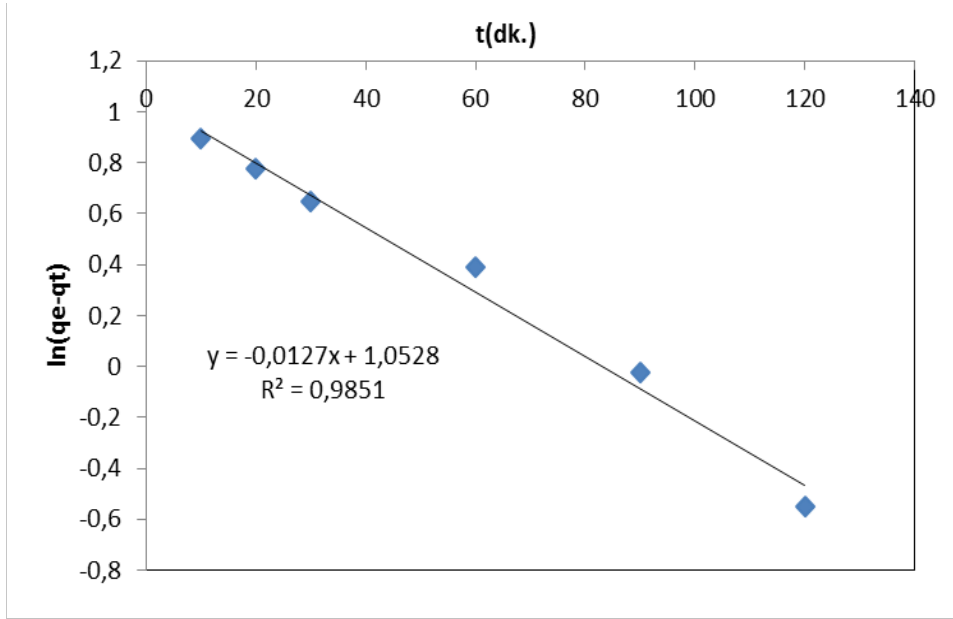
3.2.5. Adsorpsiyon kinetiği

Her bir ilaç etken maddesinin adsorpsiyonuna ait veriler kullanılarak, adsorpsiyon prosesinin kinetik davranışı aydınlatılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla yalancı birinci ve ikinci dereceden kinetik modeller kullanılmıştır. Lagergren tarafından geliştirilen yalancı birinci dereceden kinetik model(Lagergren vd., 1996) ve Ho ve Mckay tarafından geliştirilen yalancı ikinci dereceden kinetik model(Ho & Mckay, 2000) eşitlikleri aşağıda verildiği gibidir.

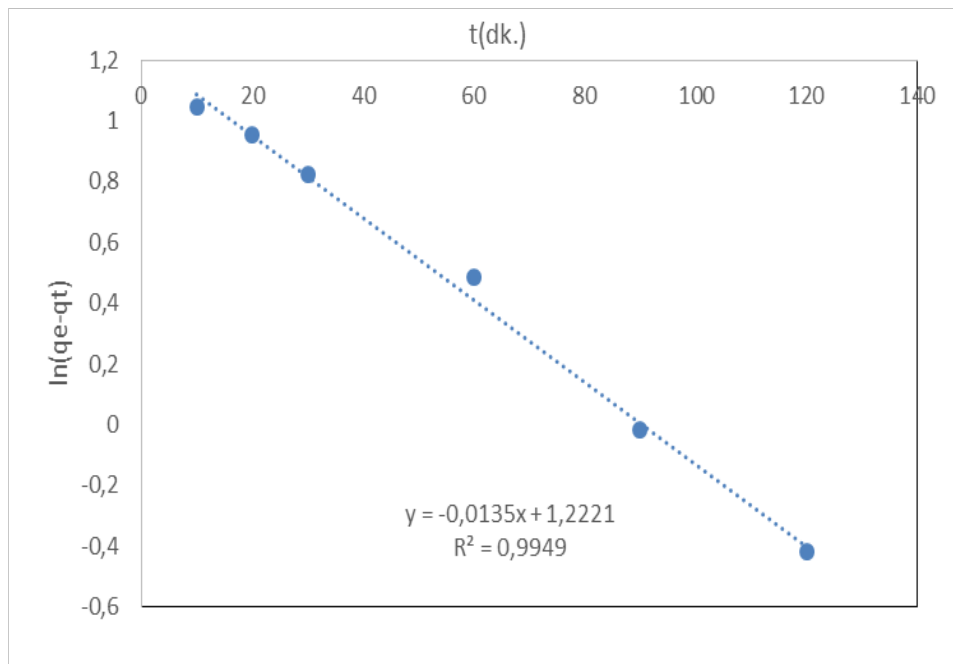
$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 \cdot t \quad (4)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_m^2} + \frac{1}{q_m} t \quad (5)$$

q_e ve q_t (mg/g) sırasıyla denge durumunda ve t anında adsorpsiyon kapasitesi, k_1 (dk.⁻¹) ve k_2 (g/(mg dk.)) sırasıyla yalancı birinci dereceden ve ikinci dereceden kinetik modellere ait sabitlerdir. Yalancı birinci dereceden kinetik model için $\ln(q_e - q_t)$ 'nin t 'ye karşı grafiği(Şekil 3.4.) çizilerek kayım değerinden q_e ve eğim değerinden ise k_1 sabiti bulunmaktadır. Yalancı ikinci dereceden kinetik modelde ise t/q_t 'nin t 'ye karşı grafiği çizilerek eğimden q_m kayımdan ise k_2 sabiti hesaplanmaktadır (Şekil 3.5). Şekil 3.4 ve şekil 3.5'deki veriler yardımıyla hesaplanan kinetik sabitler Çizelge 3.1'de verildiği gibidir.

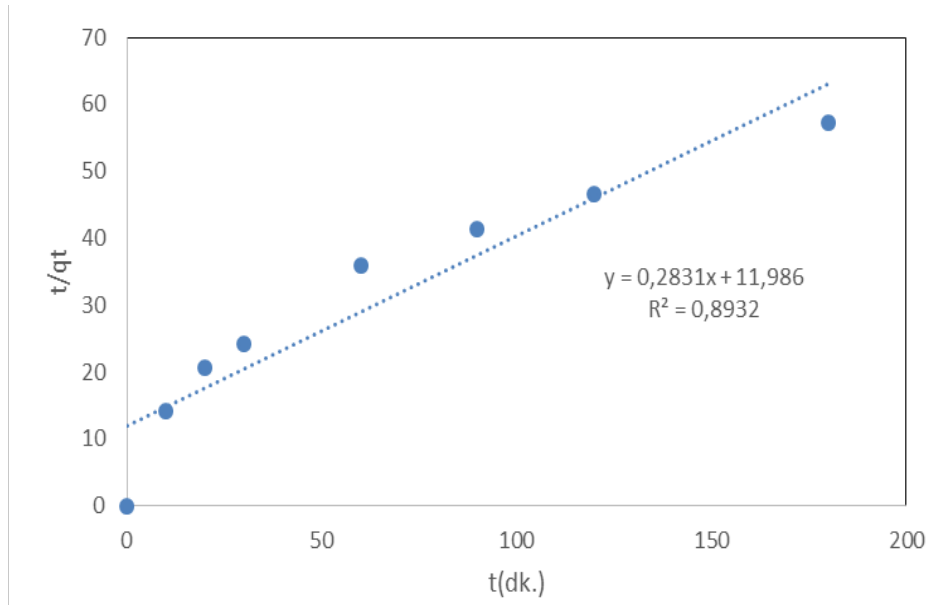


(a)

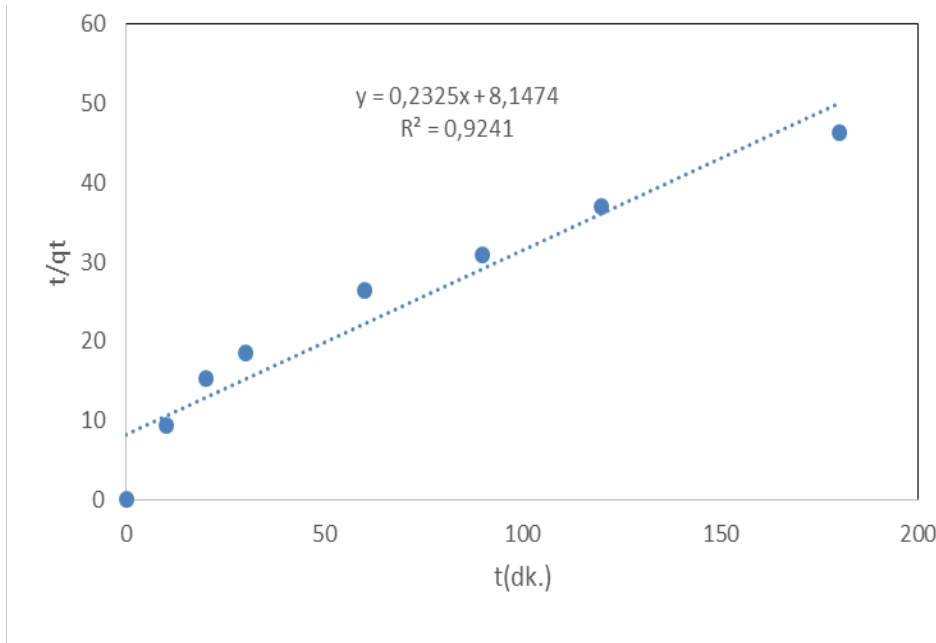


(b)

Şekil 3.4. Yalancı birinci derece kinetik model grafikleri A-) Venlafaxine; B-) Doxylamine



(a)



(b)

Şekil 3.5. Yalancı ikinci derece kinetik model grafikleri A-) Venlafaxine; B-) Doxylamine

Çizelge 3.1. Adsorpsiyon kinetik sabitleri

Yalancı birinci dereceden kinetik modeli			
İlaç etken maddesi	$k_1 (\text{dk}^{-1})$	R^2	
venlafaxine	0.0127	0.9851	
doxylamine	0.0135	0.9949	
Yalancı ikinci dereceden kinetik modeli			
İlaç etken maddesi	$k_2 (\text{L} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{dk}^{-1})$	$q_m (\text{mg/g})$	R^2
venlafaxine	0,00697	3.346	0.8932
doxylamine	0,00663	4.3	0.9241

Çizelge 3.1'den görüldüğü gibi, her iki ilaç etken maddesi için yalancı birinci dereceden kinetik modele ait regresyon katsayısı yüksek olduğundan dolayı adsorpsiyon kinetiği yalancı birinci dereceden olduğunu söyleyebiliriz.

3.2.6. Adsorpsiyon izotermi

Çalışmanın bu basamağında 5, 10, 15, 20 ve 25 mg/l olmak üzere farklı başlangıç derişimlerine sahip ilaç etken maddesi çözeltilerinin adsorpsiyonu incelenmiştir. Adsorpsiyon denge çalışmaları; çözeltili başlangıç pH'ı 2, 0,025 g adsorbent miktarı, 30 mL çözeltili hacmi ve 30°C ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Her iki ilaç etken maddesi adsorpsiyonu için elde edilen denge değerleri Langmuir ve Freundlich izotermi kullanılarak değerlendirilmiştir (Şekil 3.6 ve şekil 3.7). Langmuir izoterm modeli, tek tabaka adsorpsiyonu için bilenen en iyi izoterm modelidir. Langmuir izoterm modeli eşitliği aşağıda verildiği gibidir (Langmuir, 1918).

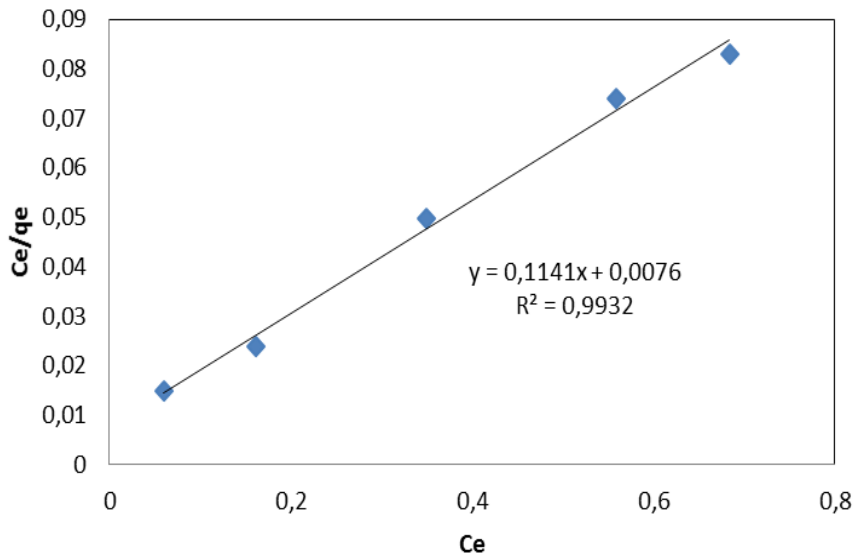
$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_{max}} + \frac{C_e}{q_{max}} \quad (6)$$

q_e (mg/g) denge durumunda adsorpsiyon kapasitesi; C_e (mg/l) denge durumunda çözeltili derişimi; q_{max} (mg/g), birim adsorbent başına tek tabakada adsorplanan madde miktarı ve K_L (l.mg⁻¹), Langmuir sabitidir. Adsorpsiyon denge verilerinden C_e/q_e 'nin C_e 'ye karşı grafiği çizilerek eğimden q_{max} kayımdan ise K_L hesaplanmaktadır (Şekil 3.6).

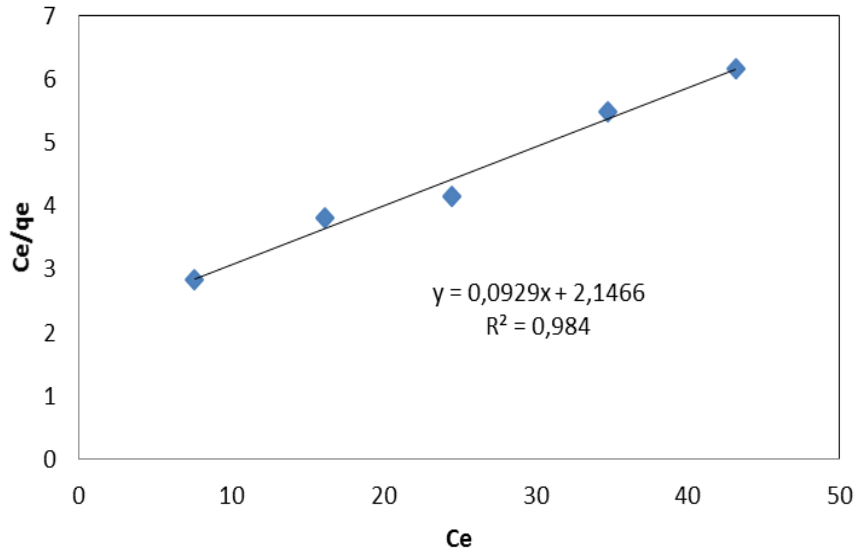
Freundlich izoterm modeli; heterojen, geri dönüşümlü ve çok tabakalı adsorpsiyonu tanımlanmaktadır. Freundlich adsorpsiyon izoterm modeli için adsorpsiyon eşitliği aşağıda verildiği gibidir (Freundlich, 1906).

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (7)$$

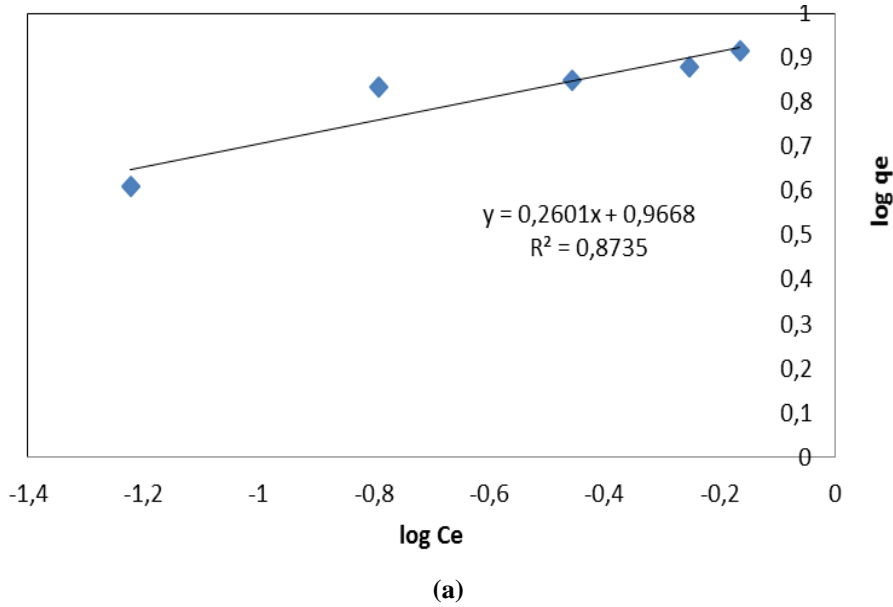
K_F (mg^{1-(1/n)} l^{1/n} g⁻¹) ve n Freundlich sabitleridir. $\log q_e$ 'nin $\log C_e$ 'ye karşı grafiği çizilerek eğimden n , kayımdan ise K_F değeri hesaplanmaktadır (Şekil 3.7).



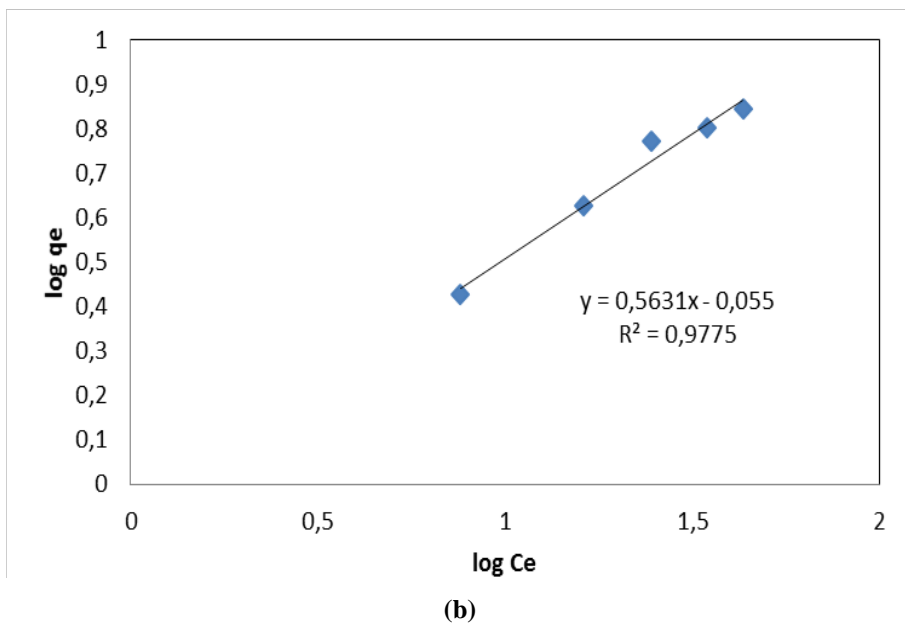
Şekil 3.6.a. Venlafaxine Langmuir izotermi grafikleri.



Şekil 3.6.b. Doxylamine Langmuir izotermi grafikleri.



(a)



(b)

Şekil 3.7. Freundlich izotermi grafikleri. a-) Venlafaxine; b-) Doxylamine

Her bir izoterm modeline ait eşitlikler yardımıyla, her iki ilaç etken maddesi adsorpsiyon izoterm sabitleri ve izotermelere ait regresyon katsayıları belirlenmiş olup Çizelge 3.2’de verildiği gibidir.

Çizelge 3.2. Adsorpsiyon izoterm sabitleri

Langmuir	venlafaxine	doxylamine
q_{max} (mg/g)	8,764	10.764
K_L	15.01	0.043
R^2	0.9932	0.984
Freundlich	venlafaxine	doxylamine
K_f (mg/g)(mg/L) ^{1/n}	9.26	1.135
n	3.844	1.177
R^2	0.8735	0.9775

Çizelge 3.2’de verilen regresyon katsayıları dikkate alındığında, her iki ilaç etken maddesi içinde adsorpsiyonu denge verilerinin Langmuir izoterm modeli ile daha uyumlu olduğu görülmektedir. Langmuir izoterm modeli için tek tabakada adsorpsiyon kapasitesi (q_{max}), venlafaxine ve doxylamine ilaç etken maddeleri için sırasıyla 8.764 ve 10.756 mg/g olarak hesaplanmıştır. Adsorpsiyon denge verilerinin Langmuir izotermi ile uyumlu olması; aktif karbon yüzeyinin homojen yapıda ve birbirine özdeş aktif bölgelere sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, yüzey enerjisinin homojen şekilde dağıldığına ve tek tabakalı adsorpsiyonun gerçekleştiğine de işaret etmektedir (Hameed & El-Khaiary, 2008).

4. SONUÇLAR

Her iki ilaç etken maddelerin adsorpsiyonu çözelti başlangıç pH değeri 2 de çalışmıştır. Her iki ilaç etken maddesinin artan konsantrasyonu ile birlikte adsorpsiyon kapasitesinin arttığı ve artan adsorbent miktarın ile adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı belirlenmiştir. Adsorpsiyon denge verileri her iki ilaç etken maddesi için en iyi Langmuir izotermine uyduğu ve q_{max} değeri venlafaxine ve doxylamine sırasıyla 8.764 ve 10.764 mg/g olduğu belirlenmiştir. Her iki ilaç etken maddesinin adsorpsiyon kinetiğinin yalancı birinci derece kinetik modele uyduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak antidepresan ilaçları ile intihar olaylarında midenin ilaçlardan temizlenmesinde aktif karbonun çok etkili olduğu tespit edilmiştir.

REFERANSLAR

- Banerjee, S., Sharma, G.C., Chattopadhyaya, M.C., & Sharma, Y.C., (2014). Kinetic and equilibrium modeling for the adsorptive removal of methylene blue from aqueous solutions on of activated fly ash (AFSH). *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(3), 1870–1880.
- Cerit, N. A. (2009) Venlafaksin Kullanan Depresyon Hastalarında Farmakokinetik, Klinik Etki Ve Advers Etkilerde Zaman Bağımlı Değişikliklerin İncelenmesi. Gazi Üniversitesi. Ankara.
- Cherifi, H., Fatiha, B., & Salah, H. (2013). Kinetic studies on the adsorption of methylene blue onto vegetal fiber activated carbons. *Applied Surface Science*, 282, 52–59.
- Devecioğlu, M. C. (2017). Çocuklarda Zehirlenmelere Yaklaşım <http://www.dicle.edu.tr/Contents/30aa8456-3440-4519-bdf7-a7c229370856.pdf>
- Hameed, B.H., & El-Khaiary, M.I., (2008). Equilibrium, kinetics and mechanism of malachite green adsorption on activated carbon prepared from bamboo by K₂CO₃ activation and subsequent gasification with CO₂. *Journal of Hazardous Materials*, 157(2-3), 344–351.
- Hassan, F., Abdel-Mohsen, M., & Fouda, M.M.G., (2014). Comparative study of calcium alginate, activated carbon, and their composite beads on methylene blue adsorption. *Carbohydrate Polymers*, 102(1), 192–198.
- Ho, Y.S., & McKay, G. (2000). The kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat. *Water Research*, 34(3), 735–742.
- Lagergren, S., & Svenska, B. K., (1996). *Ventenskapskad Handl.* 24 as cited by Wasey et al., *Water Res.* 30 1143–1148.
- Langmuir, I., (1918). The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *J. Am. Chem. Soc.*, 40, 1361–1368.

- Nam, S.-W., Choi, D.-J., Kim, S.-K., Her, N., & Zoh, K.-D., (2014). Adsorption characteristics of selected hydrophilic and hydrophobic micropollutants in water using activated carbon. *Journal of hazardous materials* , 270, 144–152.
- Saka, C. (2012). BET, TG–DTG, FT-IR, SEM, iodine number analysis and preparation of activated carbon from acorn shell by chemical activation with ZnCl₂. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 95, 21–24.
- Şahin, Ö., & Saka, C. (2013). Preparation and characterization of activated carbon from acorn shell by physical activation with H₂O–CO₂ in two-step pretreatment. *Bioresource Technology*, 136, 163–168
- Şahin, Ö., Saka, C., Ceyhan, A. A., & Baytar O. (2015) Preparation of High Surface Area Activated Carbon from *Elaeagnus angustifolia* Seeds by Chemical Activation with ZnCl₂ in One-Step Treatment and its Iodine Adsorption. *Separation Science and Technology*, 50, 886–891,
- Şahin, Ö., Saka, C., Ceyhan, A. A., & Baytar O. (2016). The pyrolysis process of biomass by two-stage chemical activation with different methodology and iodine adsorption. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, And Environmental Effects*, 38(12), 1756–1762.
- Shrestha, S., Son, G., Lee, S.H., & Lee, T.G. (2013). Isotherm and thermodynamic studies of Zn (II) adsorption on lignite and coconut shell-based activated carbon fiber. *Chemosphere*, 92(8), 1053–1061.
- Somun, G. (2014). Formation Of N-Nitrosodimethylamine (NDMA) During Monochloramine Disinfection Of 8 Selected Pharmaceuticals. The Degree Of Master. Middle East Technical University. Ankara
- Yalvaç, D. (2006). İntihar Girişiminde Bulunan Bireylerde Psikiyatrik Morbidite, Kişilik Bozukluğu Ve Bazı Sosyodemografik Ve Klinik Etkenlerle İlişkisi. İnönü Üniversitesi. Malatya.



Boru Hatlarında Meydana Gelen Heyelan Olaylarında Jeoteknik Etütler ve Mühendislik Jeolojisi Yaklaşımları

Geotechnical Investigations and Geological Engineering Approaches in Landsliding on Pipelines

Mustafa Can CANOĞLU*¹

¹Sinop Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Osmaniye Köyü, Nasuhbaşoğlu Mevkii,
57000, Sinop, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 01/08/2017

Kabul/Accepted: 30/01/2018

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Öz

Türkiye jeopolitik konumundan dolayı birçok enerji nakil hatlarına ve değişik amaçlı boru hattı ağına sahiptir. Özellikle son yıllarda Avrupa'daki enerji arzı sebebiyle Türkiye'den geçen birçok doğalgaz boru hattı projelendirilmekte ve inşa edilmektedir. Ancak, projelendirme aşamasında öngörülemeyen bazı sorunlar inşa aşaması tamamlandıktan sonra ortaya çıkabilmekte, bazı durumlarda can ve mal güvenliğini tehlikeye sokabilmektedir. Bu nedenle, inşa aşaması tamamlanan boru hattı projelerinde rutin kontrollerin gerçekleştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, bir doğalgaz boru hattı üzerinde meydana gelmiş olan bir heyelan incelenmiş ve mühendislik çözümleri önerilmiştir. Bu bağlamda, arazi çalışmaları, ofis çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında, sondaj kuyuları ve araştırma çukurları açılmıştır. Sondaj kuyularından alınan sondaj karotları ve açılan araştırma çukurlarından alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler laboratuvar çalışmaları kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar, ofis çalışmaları ile değerlendirilmiş ve konuyla ilgili mühendislik yaklaşımları ortaya koyulmuştur. Bu bağlamda, boru hattı üzerinde meydana gelen heyelanın gelen aşırı yağışlarla tetiklendiği, heyelanın gerçekleştiği rezidüel malzeme kalınlığının çok az olduğu ve proje ile ilgili can ve mal güvenliğini tehlikeye düşürecek herhangi bir durumun bulunmadığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Doğalgaz boru hattı; heyelan; Jeoteknik etüt; Mühendislik jeolojisi”

Abstract

Turkey has many powerlines and various pipeline network due to its geopolitical position. Especially in recent years, many natural gas pipelines are projected and constructed in Turkey because of the rising need of energy supply in Europe. However, some problems which cannot be predicted during projecting stage can be occurred after the completion of construction stage and can jeopardize the safety of life and property. For this reason, rutin technical checking are crucial for the completed pipeline projects. In this study, a landslide occurred on a natural gas pipeline is investigated and engineering solutions are suggested. In this regard, field studies, office studies and laboratory studies are performed. Within the context of field studies, boreholes are drilled and test pits are excavated. Core samples obtained from the boreholes and soil samples handled from the test pits are subjected to laboratory tests. The results of laboratory tests are evaluated with the office studies and engineering approaches are fulfilled. With this study it is deduced that, the landsliding is triggered with excessive rainfall, the thickness of residual material is very shallow, and it does not exist any risk of jeopardize the safety of life and property about the project.

Key Words

“Natural gas pipeline; Landslide, Geotechnical investigations; engineering geology”

* mccanoglu@sinop.edu.tr

1. GİRİŞ

Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden geçen doğu- batı ve kuzey-güney eksenli birçok boru hattı bulunmaktadır. Bu boru hatları genel olarak içme suyu, tarımsal sulama suyu, ham petrol ve doğalgaz gibi kritik akışkanların daha kolay ve daha ucuza taşınabilmesi amacıyla inşa edilmektedir. Karadoğan (2010)'a göre tüm bu farklı tipteki boru hatlarına ek olarak hidroelektrik tesislerin basınçlı boruları ve cevher taşımakta kullanılan hatlarla proses hatlarının da eklenmesi önem arz etmektedir. Tüm bu boru hatlarının etkin kullanımı başta planlama ve projelendirme olmak üzere, inşa, üretim ve işletme aşamalarını kapsayan mühendislik süreçlerinden oluşmaktadır.

Bir akışkanın boru hattı ile taşınmasının en önemli avantajı ekonomik olması ve taşıma maliyetlerinin akaryakıt maliyetlerinden bağımsız ve sabit olması olarak değerlendirilebilir. Bunun dışında, otomatize boru hatlarıyla akışkan taşınması işletme kolaylığını da beraberinde getirmektedir. Ayrıca, son yıllarda mühendislik tasarımlarında önemle dikkate alınan bir diğer konu da terör eylemleri ve sabotajlara karşı alınan güvenlik önlemleridir. Özellikle yanıcı ve parlayıcı akışkanların taşınmasında gömülü hatlar sabotajlara karşı daha güvenli bir taşıma yöntemidir ve günlük yaşamı aksatacak negatif etkileri barındırmaz ve de çevreyi rahatsız etmez. Boru hatlarının transportasyon mühendisliğindeki önemli avantajlarından birisi de mevcut trafik yüküne ek yük bindirmemesidir. Ayrıca, tankerlerin boşaltımdan sonra tekrar yüklenmesi için dolum tesisine giderken gerçekleştirdiği boş seyahatinde oluşan israf boru hatlarında olmaz. Tüm bunlarla beraber, "kaza/ton x km" oranının az olması kaza riskinin az olmasına işaret etmekte olup, bu durum, boru hatlarıyla taşınmanın en önemli üstünlüğünü oluşturmaktadır. Bu bağlamda, bir akışkanın bir tonunun boru hattıyla 1km taşınmasındaki kaza oranı konvansiyonel taşımaya göre %90 daha az olduğu gerçekleştirilen istatistiksel çalışmalarla ortaya koyulmuştur (Tandoğan, 2003). Takala (2002)'nin çalışmasına göre rekabetçi iş gücünün artması ölümlü iş kazalarını da arttırmaktadır. Bu bağlamda Avşaroğlu (2011), çalışmasında boru hatlarındaki iş güvenliği riskini analiz etmiş ve boru hattıyla taşınmanın konvansiyonel yöntemlere oranla daha güvenli olduğunu teyit etmiştir.

Boru hattıyla akışkan taşınmasının en önemli dezavantajı ise ilk yatırım maliyetinin çok yüksek olması ve az miktarda taşınacak akışkanlar için rantabilite sağlanamamasıdır. Bunların dışında, boş hattın dolumu, yer yer gözlenen tıkanma sorunlar, kayıp kaçak problemleri de boru hatlarının tercih edilmemesine etken olabilmektedir. Bunların dışında, boru hattı inşası sırasında özellikle dere ve ormanlık alan geçişlerinde çevreye verilen zararlar birçok endemik türü riske atmaktadır. Ayrıca, kazı çalışmaları ve çıkan rezidüel malzemenin uygun bir şekilde serilip kompakte edilmemesi şev destabilizasyonuna ve heyelanlara neden olabilmektedir.

Şev stabilitesi ve heyelan çalışmaları son yıllarda bir çok araştırmacı tarafından detaylı bir şekilde ele alınmıştır (ör: Hutchinson, 1995; Leroi, 1996; Van Westen et al., 1997; Aleotti and Chowdhury, 1999; Guzzetti et al., 2000; Carrara et al., 2003, Ercanoğlu, 2005; Ray et al., 2010; Süzen and Kaya, 2012; Yılmaz et al., 2012; Canoğlu, 2015; Canoğlu 2017). Bazı araştırmacılar heyelanların su etkilerinin ve toprağın doygunluk karakteristiklerinin yanısıra tektonik bileşenlerin ve yapısal jeoloji unsurlarının da heyelan oluşumunda etkili olabileceğini vurgulamışlardır (ör: Koçyiğit ve Canoğlu, 2017; Canoğlu, 2017). Bazı çalışmalarda ise su yapıları gibi suyla çalışan sistemlerde, duraylı bir şevin yapının inşasından sonra duraysız hale gelebileceği belirtilmiştir. (Canoğlu ve Kurtuluş, 2017a; Canoğlu ve Kurtuluş, 2017b). Ayrıca, Canoğlu ve Kurtuluş (2016)'nın çalışmasında çeşitli inşaatlarda doğru kullanılmayan doğal yapı malzemelerinin duraysız hale gelebileceği belirtilmiştir.

Bu çalışma, tamamlanmış ve faaliyette olan uluslararası bir doğalgaz boru hattı üzerinde gerçekleşmiş olan bir heyelanın jeolojik ve jeoteknik koşullarının incelenmesini kapsamaktadır. Çalışma için öncelikle, inceleme alanı ve çevresinde DSİ ve MTA gibi devlet kurumları tarafından daha önce yapılmış jeolojik etüt ve araştırmalar incelenerek çalışma alanının jeolojik durumu hakkında ön bilgi edinilmiştir. Proje alanı ile ilgili jeolojik makaleler incelenmiş, inceleme alanı ve çevresinde yer alan formasyonlar izlenerek dokanakları mevcut haritalar yardımıyla belirlenmiştir. Arazi gözlemleri ile elde edilen bilgiler ile önceki çalışmaların bilgileri birleştirilerek proje alanı ve çevresinin jeolojik durumu belirlenmiştir. Daha sonra, çalışma kapsamında arazi çalışmaları, ofis çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında, sondaj kuyuları ve araştırma çukurları açılmıştır. Sondaj kuyularından alınan sondaj karotları ve açılan araştırma çukurlarından alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler laboratuvar çalışmaları kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar, ofis çalışmaları ile değerlendirilmiş ve konuyla ilgili mühendislik yaklaşımları ortaya koyulmuştur.

2. PROJE ALANININ YERİ VE GENEL ÖZELLİKLERİ

Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden geçen doğu- batı ve kuzey-güney eksenli birçok boru hattı bulunmaktadır. Bu boru hatları genel olarak içme suyu, tarımsal sulama suyu, ham petrol ve doğalgaz gibi kritik akışkanların daha kolay ve daha ucuza taşınabilmesi amacıyla inşa edilmektedir. Karadoğan (2010)'a göre tüm bu farklı tipteki boru hatlarına ek olarak hidroelektrik tesislerin basınçlı boruları ve cevher taşımakta kullanılan hatlarla proses hatlarının da eklenmesi önem arz etmektedir. Tüm bu boru hatlarının etkin kullanımı başta planlama ve projelendirme olmak üzere, inşa, üretim ve işletme aşamalarını kapsayan mühendislik süreçlerinden oluşmaktadır.

Çalışma alanı, Karadeniz Bölgesi'nde, Ordu ili, Merkez ilçe sınırları içerisinde yer almakta olup Bayadı Köyü sınırları içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanı Ordu İli şehir merkezine uzaklığı asfalt yol ile yaklaşık 12 km'dir.



Şekil 3. Heyelanın topuk bölgesi yakınlarında gerçekleştirilen sondaj çalışması

3. PROJE ALANININ GENEL JEOLJİSİ

Çalışma alanı ve çevresinin genel jeolojik bilgileri ve jeoteknik özellikleri, birimlerin birbiriyle ilişkilerinin açıklanmasında bölgede daha önce yapılmış çalışmalar baz alınmış ve bu bilgiler ile arazi etütleri bütünleştirilerek inceleme alanı ve çevresinin stratigrafik jeolojisi, yapısal jeolojisi ve deprem durumu aydınlatılmıştır.

Karadeniz Bölgesi'nde Ordu'nun güneyinde yer alan proje alanı ve çevresinde Mesozoyik ve Senozoyik üst sistemlerindeki jeolojik birimler yer almaktadır.

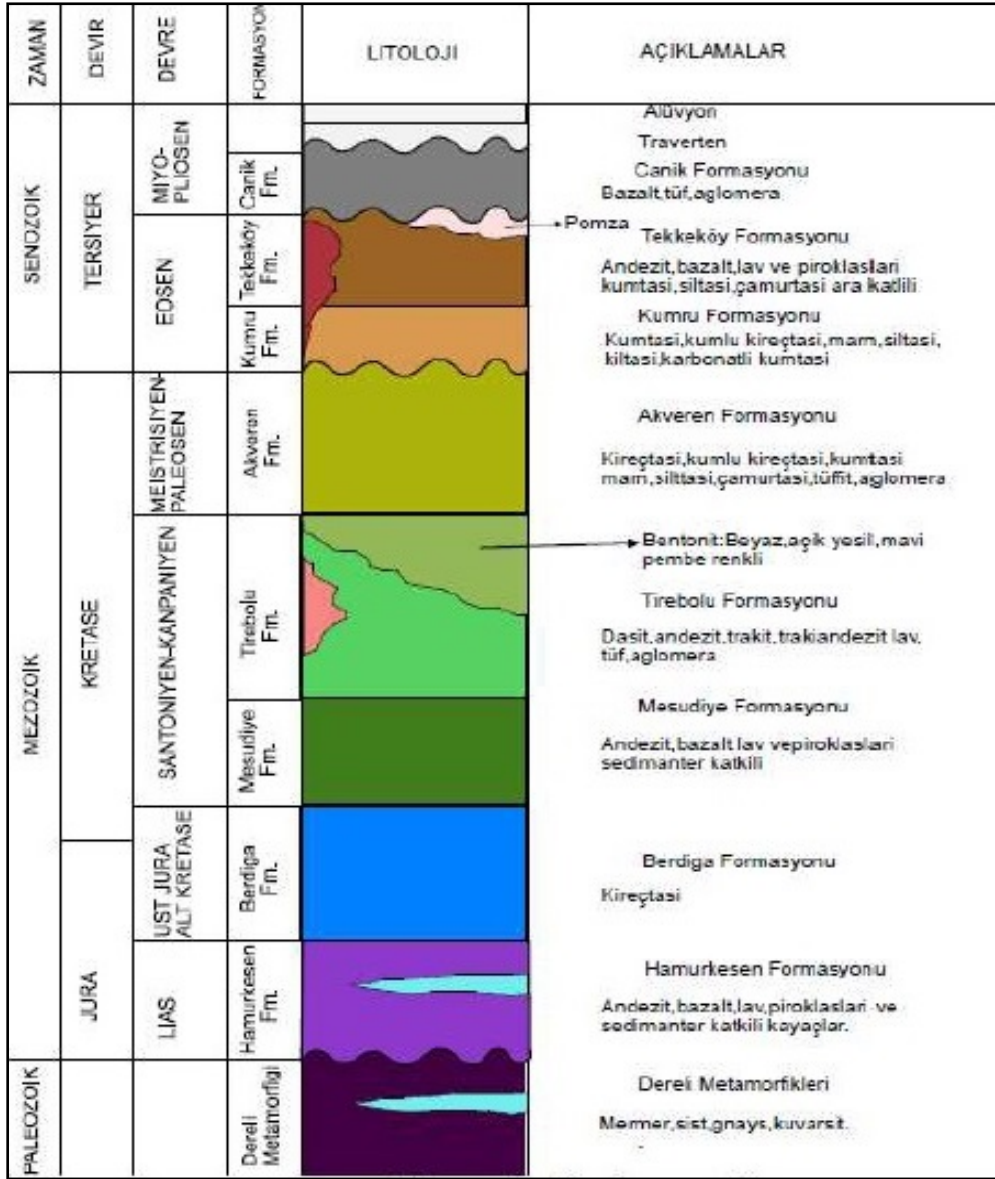
Çalışma alanının bulunduğu Karadeniz Bölgesi Pontid Dağ Oluşumu Kuşağı ile şekillenmiştir. Buna karşılık Doğu Pontitler, yaşları Jura-Eosen arasında değişen volkaniklerden oluşmuşlardır. Bu birimler, Karadeniz'de çökelen sedimanter birimleri oluşturur. Karadeniz'in apik araziye sahip olması coğrafi olarak çok yağış almasına ve nehirlerin Karadeniz'e sediman taşımalarını sağlamaktadır.

Bu kıvrıntılar kanyonlar yoluyla derin kesimlere; kıyı boyu akıntıları ile de kıyıya paralel olarak uzanırlar (Çağatay et al., 1987). Bölge stratigrafik olarak Üst Kretase Volkanik Seri ile kısmen de Üst Kretase Sedimanter Serisi ile temsil edilir. Üst Kretase Volkanikleri; andezit, bazalt, tüfit ve aglomera oluşumludur.

Sedimanter seri ise; az tabakalı masif kireçtaşı ve yer yer türbidit sekanslarından oluşan, filiş fasiyesi görünümündedir. Filişler, çoğunlukla kiltası-kumtaşı-konglomera ardalanmalıdır. Alüvyon şeridi Kuvaterner yaşlı, az çakıllı, siltli denizel kum niteliğindedir. Bunlar, Karadeniz kıyı şeridi boyunca uzanır. İnceleme alanı Doğu Pontit tektonik birliği içerisinde yer alır. Bu bölgede yüzeylenen volkanik ve tortul birimler, Alt-Orta Alpin Orojenik fazlarının etkisinde kalmış ve bugünkü yapısal

konumlarını kazanmışlardır. Magmatik faaliyetler, diskordansla, kıvrımlar, fay ve çatlaklar bu orojenik fazlara bağlı olarak oluşmuşlardır.

Çalışma alanı ve çevresinde yer alan kaya birimleri Kretase'den Eosen'e kadar olan zaman aralığındadır (şekil 4). İnceleme alanı ve çevresinde altta, Kretase yaşlı Tirebolu Formasyonu'na ait volkanik birimler bulunmaktadır. Bu birimlerin üzerinde ise yer yer Kuvaterner birimleri Alüvyon (Qal) ve Yamaç Molozu (Qym) uyumsuz olarak yer almaktadır.



Şekil 4. Çalışma alanı ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (ölçeksiz)

3.1. Tirebolu Formasyonu (Kt)

Çalışma alanında ve çevresinde yüzeylenen tipik litoloji Tirebolu Formasyonu'dur. İnceleme alanında bulunan birimler düzenli ve ince- orta tabakalı, bej- grimsi yeşil, orta sert, çoğunlukla masif tabakalardan oluşmaktadır. Dasit tabakaların etkin olduğu yerlerde topoğrafyayı dik yamaçlar oluşturmaktadır.

Tirebolu Formasyonu Kampaniyen yaşlı ve geniş bir alana yayılmış vaziyettedir. Formasyon içerisinde andezit, trakit, trakiandezit, aglomera, tüf birimleri yer almaktadır. Kuzeydeki alçak kısımlarında aglomera birimi yer almaktadır. (Keskin vd., 1998) Tirebolu Formasyonu altında Mesudiye Formasyonunun bazaltik andezit, lav ve proklastları ile kumtaşı, mikritik kireçtaşı, silttaşı, çamurtaşı, marn, tüf, tüfit tabakaları bulunmaktadır.

Trakiandezit, andezit, riyodasit, dasit-riyodasitik tüf-breş, bentonitleşmiş dasitik tüf, bentonitlerden oluşan birime Tirebolu Formasyonu adı verilmiştir. (Keskin vd. 1998).

3.2. Alüvyon (Qal)

Çalışma alanına konu olan yamacın hemen topuğundan itibaren Melet Irmağı'na ait alüvyon birimler bulunmaktadır. Nehir yatağında eğime bağlı olarak birikmiş olan çakıl, kum, silt ve kil boyutunda malzeme biriktiği gözlenmiştir. Saha gözlemleri sırasında gerçekleştirilen çalışmalarda ve Planson İmar Planlama Sondajcılık Enerji Jeoteknik İnşaat Taahhüt Mühendislik Mimarlık Ltd. Şti. tarafından gerçekleştirilen sondaj çalışmalarında bu malzemenin 1.5 – 2 m kalınlığa kadar ulaştığı belirlenmiştir (şekil 5).



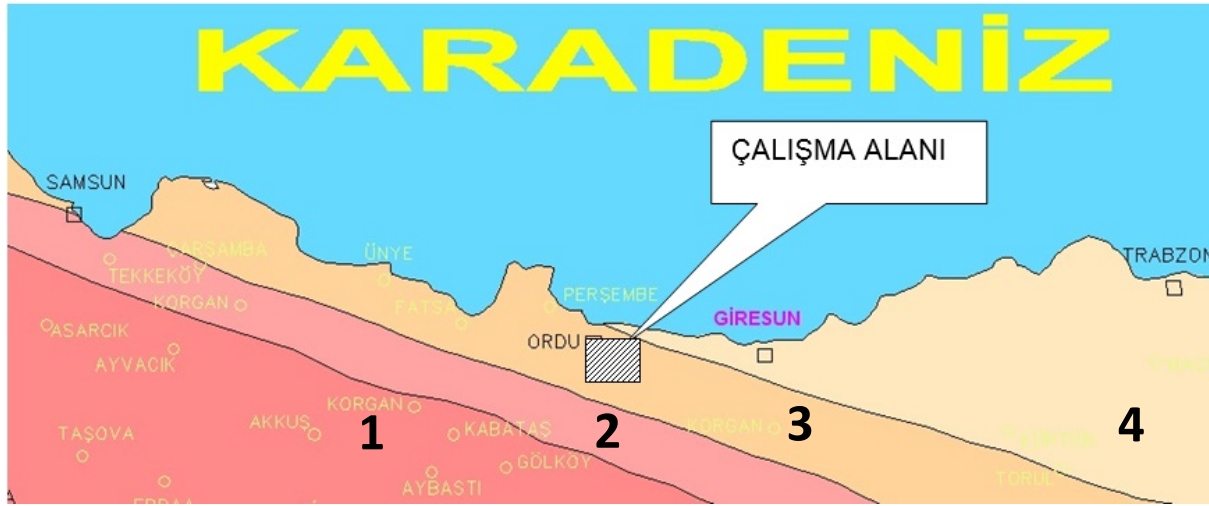
Şekil 5. Gerçekleştirilen sondaj çalışmalarının karot fotoğrafı

3.3. Yamaç molozu (Qym)

Yamaç eteklerinde ana kayanın ayrışması sonucu oluşmuş ağırlıklı olarak çakıl ve kil boyutunda malzemenin oluştuğu yamaç molozunun çalışma alanının yakın çevresinde bulunduğu söylenebilir. Bu malzemenin 0.5 -1.5 metre kalınlığa sahip olabileceği gerçekleştirilen saha çalışmalarında gözlenmiştir. Ancak çalışma alanının yakın çevresinde bulunan yamaç molozunun çalışmaya konu olan şev stabilitesi ile hiçbir ilgisi bulunmamaktadır.

3.4. Deprem durumu

Proje alanı ve çevresi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nca 1996 yılında yayınlanmış olan "Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na" göre 3. Derecede deprem bölgesi içinde kalmakta olup bölgedeki fayların yıkıcı deprem üretme potansiyeli çok yüksek değildir (şekil 6). Ayrıca, inceleme alanında gerçekleşen heyelanın oluşum tarihinde herhangi bir sismik kayıt bulunamamıştır. Bu nedenle, çalışmaya konu olan şev duraysızlığının oluşum ve tetiklenme mekanizmasında depremlerin oluşturduğu dinamik yüklerin hiçbir etkisi olmadığı sonucuna varmak mümkündür.



Şekil 6. Çalışma alanı ve çevresinin deprem bölgeleri haritası

3.5. Çalışma alanının hidrojeolojisi

Çalışma alanına konu olan yamacın hemen altında Melet Irmağı akmaktadır. 4 mevsim akış halinde olan ırmağın taşkın debisi çok yüksek olup etrafta iri blok boyutunda malzemeler gözlenmiştir. Ancak çalışmaya konu olan yamaçta Melet Irmağının topuk aşındırması gibi bir etkisinin olabilmesi imkansızdır. Çalışma alanındaki apik topoğrafya sebebiyle Melet Irmağı'na ait alüvyonlar dışındaki yerlerde ve yamaçlarda yeraltı su seviyesinin saha gözlemlerine göre oldukça düşük olması beklenmektedir. Çalışma alanında temel kayayı oluşturan Tirebolu Formasyonu'nda (Kt) gerçekleştirilen yüzeysel gözlemler sonucunda akifer özelliği olmadığı belirlenmiştir. Ancak, çalışma alanının dışında kalan yamaçlarda yer yer yağışa bağlı küçük ölçekli boşalimler gözlenebilmektedir.

4. PROJE ALANININ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE JEOTEKNİK DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmaya konu olan uluslararası boru hattı üzerinde meydana gelen heyelanın detaylı Jeoteknik değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda gerçekleştirilen sondaj ve araştırma çukurlarından alınan numunelerin jeolojik deskripsiyonları tablo 1'de Jeoteknik ve taşıma gücü parametreleri tablo 2 ve tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 1. Sondajdan alınan karot numunelerin jeolojik deskripsiyonları

DERİNLİK (m)		BİRİMLERİN JEOLJİK DESKRİPSİYONLARI
0.0	1.4	Sarımsı kahverengi, tamamen ayrılmış, çok düşük dayanımlı Tüf
1.4	10.0	Yeşilimsi gri renkli, az ayrılmış, orta derecede dayanımlı Andezit

Tablo 2. Sondajdan alınan karot numunelerin Jeoteknik parametreleri

JEOLJİK BİRİM	GSİ	BİRİM HACİM AĞIRLIK (KN/m ³)	KOHEZYON (kPa)	İÇSEL SÜRTÜNME AÇISI (°)
Tamamen Ayrılmış Tüf	40	20.37	162	21
Andezit	50	25.26	2082	25

Tablo 3. Sondajdan alınan karot numunenin ve araştırma çukurundan alınan numunenin Jeoteknik ve taşıma gücü parametreleri

NUMUNELER	DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m ³)	TEK EKSENLİ BASINÇ DENEYİ (MPa)	NOKTA YÜKLEME DENEYİ (MPa)
Araştırma Çukuru Numunesi	20.37		0.35
Sondaj Karot Numunesi	25.26	52.4	

Çalışmaya konu olan heyelanın gerçekleştiği yamaçta ana kayaya ait mostralara mevcut olup söz konusu rezidüel malzeme kalınlığı gözlemsel olarak 0.5 ila 1.5m arasında değişmektedir. Bununla beraber, heyelanın topuk bölgesinin yakınında gerçekleştirilen sondaj çalışmalarında ayrılmamış ana kaya derinliği 2 m olarak saptanmıştır (şekil 5). Gerçekleştirilen Jeoteknik incelemeler sonucunda, yamaçta boru hattının geçtiği yerin hemen alt kotlarına doğru boru hattını üzerleyen rezidüel toprağın boşluk suyu basıncı aşırı yağışın da etkisiyle artmış ve yamaç duraylılığını yitirmiş olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, yamacın taç kısmında ve kanatlarında herhangi bir tansiyon çatlağına rastlanmamıştır. Yamaç boyunca ana kayaya ait mostraların gözlenmesi ve rezidüel malzeme kalınlığının herhangi bir yamaç duraysızlığına yol açabilecek kadar fazla olmadığı söylenebilir. Bu nedenle, ileride, bu yamaçta herhangi bir stabilite sorunu oluşmayacağı sonucuna varmak mümkündür.

Aşırı yağış durumunda yamaç üzerine üst kotlardan gelen yüzey suları yamacın hemen üst kısmında bulunan tarihi yaya yolunun etkisiyle yan vadiye drene olmaktadır. Ancak, yağış esnasında boru hattının üzerine serilmiş ve iyi sıkıştırılmamış olan rezidüel zemine infiltre olan sular, boşluk suyu basıncını arttırarak zeminin kayma direncini azaltmıştır. Bu nedenle, doğalgaz boru hattının altına düşenecek bir drenaj borusu boşluk suyu basıncını azaltacak ve yamacı duraylı hale getireceği öngörülmektedir. Söz konusu drenaj borusunun heyelandan sonra döşendiği bilgisi alınmıştır. Drenaj borusunun doğru yere döşendiği ve drenaj sisteminin düzgün bir şekilde çalıştığı yerinde gözlemlenmiştir.

Gerçekleştirilen sondaj ve araştırma çukuru çalışmaları yamaç dışında gerçekleştirildiğinden dolayı yamaç duraylılığı hakkında bir Jeoteknik bilgi vermemesine rağmen, sondaj lokasyonundaki ana kaya derinliği 2 m civarındadır (şekil 5 ve tablo 1). Sondajın yamaç dışında ve düzlükte gerçekleştirilmesine rağmen ana kayanın çok yüzeyde olmasından dolayı ve yamaç boyunca ana kayaya ait mostraların gözlenmesi bu yamacın şev duraylılığı açısından herhangi bir sorun teşkil etmeyeceğini göstermektedir. Ayrıca, söz konusu şev duraysızlığıyla ilgili herhangi ekstra bir sondaj, in-situ deney ve araştırma çukuru çalışmasına gerek olmadığı sonucuna varmak mümkündür.

Çalışma alanının Güneybatısına gidildikçe Kretase yaşlı Tirebolu Formasyonu'na ait bozunmuş birimlerde birçok heyelan gözlenmektedir. Bu heyelanların aşırı yağış sonucunda doğal süreçlerle gerçekleştiği sonucuna varmak mümkündür. Heyelan gözlenen alanlarda ana kayaya ait mostra gözlenmemiş olup ana kaya derinliğinin 7-8 metreden fazla olduğu tahmin edilmektedir. Ancak bu heyelanların oluşum mekanizması açısından çalışma alanındaki heyelanla hiçbir ilgisi bulunmamakta ve hiçbir etkisinin olmayacağı öngörülmektedir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Uluslararası bir doğalgaz boru hattı üzerinde meydana gelen küçük çaplı bir heyelan üzerinde gerçekleştirilen bu Jeoteknik etüt incelemesinde, arazi çalışmaları, ofis çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde heyelanlı alanın boru hattına etkileri ve heyelanın tekrarı değerlendirilmiştir. Mühendislik jeolojisi ve Jeoteknik incelemelerin gerçekleştirildiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara varmak mümkündür;

- Çalışma alanı ve yakın çevresinde yer alan kaya birimleri Kretase'den Eosen'e kadar olan zaman aralığındadır. İnceleme alanı ve yakın çevresinde stratigrafik temeli Kretase yaşlı Tirebolu Formasyonu (Kt) oluşturur. Çalışma alanında Tirebolu Formasyonuna ait bozunmuş birimlere de rastlanmaktadır. Bu birimlerin üzerinde ise yer yer Kuvaterner birimleri Alüvyon (Qal) ve Yamaç Molozu (Qym) uyumsuz olarak yer almaktadır.
- Proje alanı ve çevresi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nca 1996 yılında yayınlanmış olan "Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na" göre 3. derecede deprem bölgesi içinde kalmaktadır. Çalışmaya konu olan şev duraysızlığının oluşum ve tetiklenme mekanizmasında depremlerin oluşturduğu dinamik yüklerin hiçbir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.
- Çalışma alanına konu olan yamacın hemen altında Melet Irmağı akmaktadır. 4 mevsim akış halinde olan ırmağın taşkın debisi çok yüksektir. Fakat, çalışmaya konu olan yamaçta Melet Irmağının topuk aşındırması gibi bir etkisinin olabilmesi imkansızdır. Çalışma alanındaki apik topoğrafya sebebiyle Melet Irmağı'na ait alüvyonlar dışındaki yerlerde ve yamaçlarda yeraltı su seviyesinin saha gözlemlerine göre oldukça düşük olması beklenmektedir. Dolayısıyla söz konusu heyelanın doğal yeraltı suyu akımlarının etkisi altında gerçekleşmeyeceği sonucu ortaya çıkmaktadır.
- Söz konusu yamaçta boru hattının geçtiği yerin hemen alt kotlarına doğru boru hattını üzerleyen rezidüel toprağın boşluk suyu basıncı aşırı yağışın da etkisiyle arttığı ve incelenen yamacın duraylılığını yitirdiği gözlenmiştir. Sonrasında ise yamaç dengeye ulaşmıştır. Bununla beraber, yamaçta ana kayaya ait mostralara mevcut olup söz konusu rezidüel malzeme kalınlığı gözlemsel olarak 0.5 ila 1.5m arasında değişmektedir. Ayrıca, heyelanın topuk bölgesinin yakınında gerçekleştirilen sondaj çalışmalarında ayrılmamış ana kaya derinliği 2 m olarak saptanmıştır. Topuğun hemen yakınında melet ırmağı alüvyonları üzerinde gerçekleştirilen sondaj çalışmasından ayrılmamış ana kaya derinliğinin 2 olması yamaçtaki ana kaya derinliğinin çok daha yüzeye yakın olduğunun önemli bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Ayrıca, yamacın taç kısmında ve kanatlarında herhangi bir tansiyon çatlağına rastlanmamıştır. Yamaç boyunca ana kayaya ait mostraların gözlenmesi ve rezidüel malzeme kalınlığının herhangi bir yamaç duraysızlığına yol açabilecek kadar fazla değildir. Bu nedenle, ileride, bu yamaçta herhangi bir stabilite sorunu oluşmayacağı sonucuna varmak mümkündür.

- Aşırı yağış durumunda yamaç üzerine üst kotlardan gelen yüzey suları yamacın hemen üst kısmında bulunan tarihi yaya yolunun etkisiyle yan vadiye drene olmaktadır. Ancak, yağış esnasında boru hattının üzerine serilmiş ve iyi sıkıştırılmamış olan rezidüel zemine infiltre olan sular, boşluk suyu basıncını arttırarak zeminin kayma direncini azaltmıştır. Bu nedenle, doğalgaz boru hattının altına dönecek bir drenaj borusu boşluk suyu basıncını azaltacak ve yamacı duraylı hale getirecektir.

Drenaj borusunun daha önce döşenmiş olduğu bilgisi alınmıştır. Söz konusu drenaj borusunun doğru yere döşendiği ve drenaj sisteminin düzgün bir şekilde çalıştığı yerinde gözlemlenmiştir.

- Gerçekleştirilen sondaj ve araştırma çukuru çalışmaları yamaç dışında gerçekleştirildiğinden dolayı yamaç duraylılığı hakkında bir Jeoteknik bilgi vermemesine rağmen, sondaj lokasyonundaki ana kaya derinliği 2 m civarındadır. Sondajın yamaç dışında ve düzlükte gerçekleştirilmesine rağmen ana kayanın çok yüzeyde olmasından dolayı ve yamaç boyunca ana kayaya ait mostralara gözlenmesi bu yamacın şev duraylılığı açısından herhangi bir sorun teşkil etmeyeceğini göstermektedir. Ayrıca, söz konusu şev duraysızlığıyla ilgili herhangi başka bir sondaj, in-situ deney ve araştırma çukuru çalışmasına gerek olmadığı sonucuna varmak mümkündür.
- Çalışma alanının Güneybatısına gidildikçe Kretase yaşlı Tirebolu Formasyonu'na ait bozunmuş birimlerde birçok heyelan gözlenmektedir. Bu heyelanların aşırı yağış sonucunda doğal süreçlerle gerçekleştiği sonucuna varmak mümkündür. Heyelan gözlenen alanlarda ana kayaya ait mostra gözlenmemiş olup ana kaya derinliğinin 7-8 metreden fazla olduğu tahmin edilmektedir. Ancak bu heyelanların oluşum mekanizması açısından çalışma alanındaki heyelanla hiçbir ilgisi bulunmamakta ve hiçbir etkisinin olmayacağı öngörülmektedir.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışma, Sinop Üniversitesi Döner Sermaye İşletme Müdürlüğü ve Sinop Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'nin "Ordu Giresun Dgbh Faz-2 Projesi Kp:49+310 Km Şev Stabilitesi İle İlgili Jeoloji ve Jeoteknik Danışmanlık Mühendislik Hizmetleri" kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazar bu çalışmada emeği geçen tüm Sinop Üniversitesi ailesine teşekkür eder. Yazar, sondaj, laboratuvar ve saha çalışmaları ile ilgili finansman sağlayan, bilimsel destekleri ile mühendislik tecrübelerini ve konu ile ilgili arşivlerini paylaşan Jeofizik Yüksek Mühendisi Sn. Gökhan Baştuğ'a ve ekibine ayrıca teşekkür eder.

REFERANSLAR

Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 21-44.

Avşaroğlu, A. (2011). Boru hatlarındaki kaynaklı imalat çalışmalarında iş güvenliği risk analizi. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana 89s.

Canoğlu, M.C. (2015). An investigation on the surface water effect in landslide susceptibility mapping: an example from Yenice (Karabük) basin. *Institute of Science of Hacettepe University*, PhD thesis, 140p.

Canoğlu, M.C. (2017). Deterministic landslide susceptibility assessment with the use of a new index (Factor of Safety Index) under dynamic soil saturation: an example from Demirciköy watershed (Sinop / Turkey). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Science*, 12 (2), 423 – 436.

Canoğlu, M.C., & Kurtuluş, B. (2016). Su Yapılarında Gövde Tipi Optimizasyonu ve Doğal Yapı Malzemelerinin Mühendislik Parametrelerinin Belirlenmesi: Kışlademirli Göleti Örneği (Kütahya). *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(2), 250-264.

Canoğlu, M.C., & Kurtuluş, B. (2017a). Permeability of Savcıbey Dam (Bilecik) axis location and design of grout curtain. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 154, 157-168.

Canoğlu, M.C., & Kurtuluş, B. (2017b). Determination of the dam axis permeability for the design and the optimization of grout curtain: an example from Orhanlar Dam (Kütahya-Pazarlar). *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 5(1), 37-43.

Carrara, A., Crosta, G., & Fratini, P. (2003). Geomorphological and historical data in assessing landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28, 1125– 1142.

Çağatay, N., Saltoğlu, T., & Gedik, A. (1987). Karadeniz'in güncel çökellerinin jeokimyası. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 31, 47-64.

- Ercanoğlu, M. (2005). Landslide Susceptibility Assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks. *Natural Hazards and Earth System Science*, 5, 979 - 992.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., & Carrara, A. (2000). Comparing landslides maps: a case study in the Upper Tiberbasin, Central Italy. *Journal of Environmental Management*, 25(3), 247–263.
- Hutchinson, J.N. (1995). Landslide hazard assessment. In: Proc. 6th Symposium on Landslides, Christchurch, vol. 1, pp. 1805–1842.
- Karadoğan, H. (2010). Boru hatları tasarımı. *Makine Mühendisleri Odası Dergisi*, 14, 5-10.
- Keskin, İ., Yergök, A. F., Kara, H., Dönmez, M. ve Mert, A., 1998. Ünye-Fatsa-Kumru-Korgan (Ordu ili) dolayının jeolojisi. *MTA Dergisi*, No:10182.
- Koçyiğit, A., & Canoğlu, M.C. (2017). Neotectonics and seismicity of Erzurum pull-apart basin, East Turkey. *Russian Geology and Geophysics*, 58, 99-122.
- Leroi, E. (1996). Landslide hazard-risk maps at different scales: objectives, tools and developments. In: Proc. 7. Int. Symp. Landslides, Trondheim, vol 1, pp. 35– 52.
- Ray, R.L., Jacobs, J.M., & Pedro de Alba (2010). Impacts of unsaturated zone soil moisture and groundwater table on slope instability. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136, 1448 – 1458.
- Süzen, M.L., & Kaya, B.K. (2012). Evaluation of environmental parameters in logistic regression models for landslide susceptibility mapping. *International Journal of Digital Earth*, 5 (4), 338 - 355.
- Takala, J. (2002). Introductory Report: Decent work – Safe work.16. world congress on safety and health at work, Viyana, Avusturya.
- Tandoğan, B.P. (2003). Boruhattıyla gaz ve akaryakıt taşımacılığında kusursuz sorumluluk halleri. Yüksek lisans tezi. Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Medeni Hukuk Anabilim Dalı, Ankara 145s.
- Van Westen, C.J., Rengers, N., & Terlien, M.T.J. (1997). Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS based hazard zonation. *International Journal of Earth Science*, 86, 404– 414.



Ortotrop Plakların Çift Fourier Serileri İle Statik Analizi

Static Analysis Of Orthotropic Plates By Double Fourier Series

Mustafa Halûk SARAÇOĞLU*¹, Fethullah USLU¹, Uğur KAFKAS¹

Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 43100 Kütahya, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 21/05/2017

Kabul/Accepted: 20/09/2017

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Öz

Bu çalışmada plak düzlemine dik yükle yüklenmiş basit mesnetli ortotrop ince plaklar modellenerek denge denklemleri oluşturulmuştur. Plağa etkiyen yük tipine bağlı olarak ortotrop plağa etkiyen düşey yüklerin çift Fourier serisine açılım katsayıları değişmektedir. Ortotrop plağın malzeme özellikleri izotrop plaktan farklı olarak iki farklı elastisite modülü, Poisson oranı ve kayma modülü şeklindedir. Bu özelliklere bağlı olarak plak eğilme rijidlikleri farklı şekilde hesaplanmaktadır. Denge denklemleri de bu rijidlikler kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu denge denklemleri çift Fourier serileri kullanılarak çözülmüştür. Problemin çözümü için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Dört kenarından basit mesnetli ortotrop plaklar çeşitli yükleme durumlarına göre incelenmiştir. Ortotrop plakta oluşturulan ağın tüm noktaları için düşey çökme ve moment değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler grafikler şeklinde sunulmuştur. Konu ile ilgili literatürdeki örnekler çözümlenerek ortotrop plağın orta noktası için elde edilen sonuçların literatürdeki sonuçlar ile büyük bir uyum içerisinde olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Ortotrop plak, Çift Fourier serisi, Bilgisayar programı”

Abstract

In this study equilibrium equations of the simply supported orthotropic thin plates were derived and solved with the double Fourier series. These orthotropic plates were loaded with vertical to the mid plane. Depending on the type of load, the double Fourier series expansion coefficients of the vertical loads varies. Unlike the isotropic plate, the orthotropic plate material properties are in the form of two different elasticity moduli, Poisson's ratio and shear modulus. Depending on these properties, the plate bending rigidities are calculated differently. Equilibrium equations are also derived by using these rigidities. These equilibrium equations are solved using double Fourier series. A computer program has been developed to solve the problem. Simply supported orthotropic plates at the four edges were investigated according to various loading conditions. Vertical displacement and moment values are calculated for all the points of the mesh formed in the orthotropic plate. These calculated values are presented in graphics. It has been shown that the results obtained for the mid point of the orthotropic plate are in great agreement with the results in the literature by solving the related literature examples.

Key Words

“Orthotropic plate, Double Fourier series, Computer programming.”

* mhaluk.saracoglu@dpu.edu.tr

1. GİRİŞ

Plaklar ve kabuklar binalar, köprüler, tüneller, istinat duvarları ve diğer altyapı gibi pek çok inşaat mühendisliği yapılarında kullanılan yapısal öğelerdir. Ortotrop plaklar hafif olmalarından dolayı uzun açıklıkları geçmede kullanılırlar. Bu tür plaklar boyuna ve enine doğrultularda farklı rijidliklere sahiptirler. Anizotrop bir plağın eğilmesi ile ilgili diferansiyel denklemleri Timoshenko ve Woinowsky-Krieger yazdıkları kitapta açıklamışlardır (Timoshenko, S. P., & Woinowsky-Krieger, S., (1959)). Klasik tabakalı plak teorisine göre özel ortotrop plakların analizini Reddy kitabında bir bölüm olarak sunmuştur (Reddy, J.N., (2004)). Fettahoğlu, yaptığı çalışmasında ortotrop plaklardaki gerilme ve şekil değiştirme analizlerini sonlu elemanlar metodu kullanarak gerçekleştirmiştir (Fettahoğlu, A., (2014)). Plak problemlerinin çözümü için bugüne kadar pek çok farklı matematik yöntemler kullanılmıştır. Civalek ve Çatal dikdörtgen ve kare plakların statik hesabını Diferansiyel Quadrature Metodu kullanarak yapmışlardır (Civalek, Ö., & Çatal, H.H., (2004)). Reddy ve Gera, farklı sınır şartlarındaki izotrop ve ortotrop ince plaklar için plak orta noktasındaki çökme ve moment değerlerini sonlu farklar yöntemi kullanarak elde etmişlerdir (Reddy, J. N., & Gera, R., (1979)). Johnson ve Woolf farklı malzeme özelliklerine sahip plak düzlemine dik yük ile yüklenmiş ortotrop dikdörtgen plaklar için şekil değiştirme ve gerilme analizleri yapmışlardır (Johnson, A. F., & Woolf, A., (1984)). Saraçoğlu, Bayer ve Özçelikörs çalışmalarında özel ortotrop tabakalı plakların analizlerini sonlu farklar yöntemi kullanarak elde etmişlerdir (Saraçoğlu, M. H., Bayer, M. T., & Özçelikörs, Y., (2015)). Liew, Xiang ve Kitipornchai yaptıkları çalışmada basit mesnetli simetrik çapraz tabakalı dikdörtgen tabakalı plaklar için burkulma çözümlerini Navier çözüm metodu kullanarak, düzlem deformasyonda ön burkulma ve yüksek mertebeli şekil değiştirme terimlerinin (eğrilik terimleri) etkilerini kapalı formda sunmuşlardır (Liew, K. M., Xiang, Y., & Kitipornchai, S., (1996)). Kheirikhah, Khalili ve Fard anizotrop olan sandviç plakların eğilme analizini yapmışlardır. Yüksek mertebe teori kullanarak basit mesnetli sandviç plaklar için analitik çözümleri Navier çözüm metodu kullanarak elde etmişlerdir (Kheirikhah, M. M., Khalili, S. M. R., & Fard, K. M., (2012)). Sayyad, Ghugal ve Mhaske makalelerinde dört değişkenli geliştirilmiş plaka teorisi kullanarak kalınlık boyunca ısı yükü ile yüklenmiş tabakalı kompozit plakların termoelastik eğilme analizini sunmuşlardır. Çözümler için basit mesnetli kompozit tabakalı plaklar ele alıp Navier tarafından önerilen çift trigonometrik seri tekniği kullanarak kapalı form bir çözüm elde etmişlerdir (Sayyad, A. S., Ghugal, Y. M., & Mhaske, A. A., (2015)). Demasi, daha önceden izotrop plaklar için yapmış olduğu çalışmayı geliştirerek ortotrop dikdörtgen plakların üç boyutlu kesin çözümünü Navier metodu ile hesaplamıştır (Demasi, L., (2010)). Kabir, yaptığı çalışmada basit mesnetli tabakalı dikdörtgen plak için bir analitik çözüm sunmuştur. İnce plaklar için uygun Kirchhoff teorisi ile modellediği plak deformasyon formülü ile diferansiyel denklem oluşturmuş ve bu denklemleri çözmek için kabul edilebilir sınır koşulları ile birlikte bir çift Fourier serisi yaklaşımı geliştirmiştir (Kabir, H. R. H., (1996)).

Bu çalışmada çift Fourier serileri kullanılarak ortotrop plak diferansiyel denklemi çözülmüştür. Bunun için bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve bu program kullanılarak farklı geometri ve yüklerdeki basit mesnetli ortotrop plak çözümleri yapılmıştır.

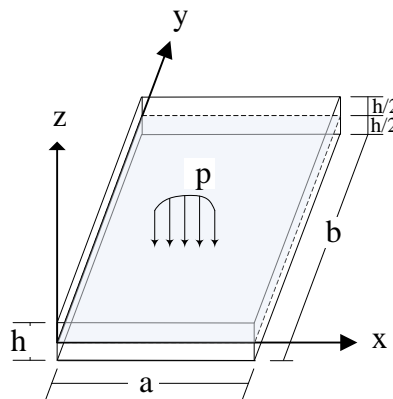
2. MATERYAL VE METOT

Plaklar orta düzlemlerine dik yüklenmiş düzlem yüzeysel taşıyıcılarıdır. Kalınlık boyutu diğer iki boyutuna göre çok küçük olan bu elemanlar düşey ve yatay yükleri diğer taşıyıcı elemanlara aktararak elemanlar arasındaki sürekliliği sağlarlar.

Plak kalınlığı yapılan hesaplarda etkili bir parametredir. Kalınlığının diğer boyutuna oranı yaklaşık 1/20 den küçük olan plaklar ince plak olarak isimlendirilir. İnce plak hesabında Kirchhoff-Love hipotezinde yapılan kabuller geçerlidir. Buna göre plak kalınlığı boyunca kayma deformasyonları ihmal edilebilir.

İnce plak kabulünden daha büyük kalınlığa sahip plaklarda ise Mindlin hipotezinde, Reissner hipotezinde veya yüksek mertebeden kayma deformasyonları teorilerinde yapılan kabuller geçerlidir.

Bu çalışmada incelenen plaklar şekil 1 'de geometrisi ve yükü gösterilen Kirchhoff teorisine uygun ince plaklardır.



Şekil 1. Plak geometrisi ve yük

Dört kenarından sabit mesnetli düşey yükü yüklenmiş ortotrop plaktan sonsuz küçük bir eleman alınıp z eksenindeki dengesi yazıldığında aşağıdaki denklem 1 elde edilir.

$$\sum F_z = 0 \quad D_{11} \left[\frac{\partial^4 w_0}{\partial x^4} \right] + 2(D_{12} + 2D_{66}) \left[\frac{\partial^4 w_0}{\partial x^2 \partial y^2} \right] + D_{22} \left[\frac{\partial^4 w_0}{\partial y^4} \right] = p \quad (1)$$

Bu ifadedeki D_{11} , D_{12} , D_{22} ve D_{66} terimleri ortotrop plağın malzeme özelliklerine bağlı olarak denklem 2 'de tarif edilen plak eğilme rijidlikleridir.

$$D_{11} = \frac{h^3}{12} \left(\frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \right), \quad D_{12} = \frac{h^3}{12} \left(\frac{\nu_{12}E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \right), \quad D_{22} = \frac{h^3}{12} \left(\frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \right), \quad D_{66} = \frac{h^3}{12} (G_{12}) \quad (2)$$

Malzeme özellikleri $E_1 = E_2 = E$, $\nu_{12} = \nu_{21} = \nu$ ve $G_{12} = G$ olması durumunda problem izotrop olacak ve ilgili denge denklemi izotrop bir ince plak için denklem 3 'teki düşey denge denklemine dönüşecektir (Berkay, İ., (1992)) :

$$D \left[\frac{\partial^4 w_0}{\partial x^4} \right] + 2D \left[\frac{\partial^4 w_0}{\partial x^2 \partial y^2} \right] + D \left[\frac{\partial^4 w_0}{\partial y^4} \right] = p \quad (3)$$

Ortotrop bir plakta düşey sehimler çift sinüs serisine açıldığında denklem 4 'teki gibi tarif edilir:

$$w(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{p_{mn}}{d_{mn}} \sin \frac{m \pi x}{a} \sin \frac{n \pi y}{b} \quad (4)$$

Bu ifadedeki p_{mn} ortotrop plağa etkien düşey yüklerin Navier metodundaki çift Fourier serisine açılım katsayısıdır. Plağa etkien yük tipine bağlı olarak p_{mn} değişmektedir. Diğer katsayı d_{mn} ise plak eğilme rijidlikleri ve seri değişkenleri olan m ve n parametrelerine bağlı olarak denklem 5 'ten hesaplanır.

$$d_{mn} = \frac{\pi^4}{b^4} \left[D_{11} m^4 \left(\frac{b}{a} \right)^4 + 2(D_{12} + 2D_{66}) m^2 n^2 \left(\frac{b}{a} \right)^2 + D_{22} n^4 \right] \quad (5)$$

Plakta oluşan eğilme momentleri denklem 6 kullanılarak hesaplanır:

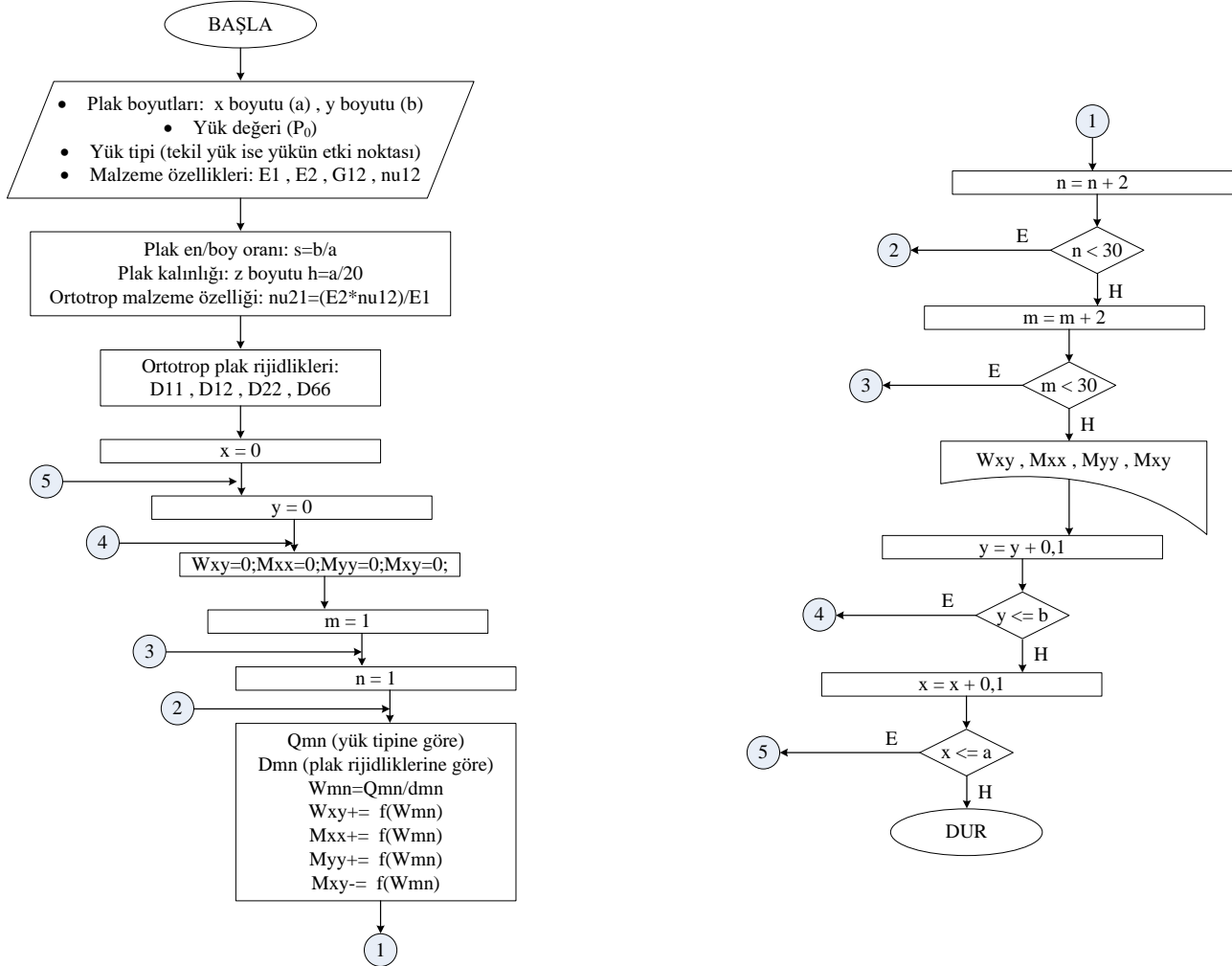
$$\begin{aligned} M_{xx}(x, y) &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left(D_{11} \left(\frac{m \pi}{a} \right)^2 + D_{12} \left(\frac{n \pi}{b} \right)^2 \right) p_{mn} \sin \frac{m \pi x}{a} \sin \frac{n \pi y}{b} \\ M_{yy}(x, y) &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left(D_{12} \left(\frac{m \pi}{a} \right)^2 + D_{22} \left(\frac{n \pi}{b} \right)^2 \right) p_{mn} \sin \frac{m \pi x}{a} \sin \frac{n \pi y}{b} \\ M_{xy}(x, y) &= -2 \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left(D_{66} \left(\frac{m \pi}{a} \right) \left(\frac{n \pi}{b} \right) \right) p_{mn} \cos \frac{m \pi x}{a} \cos \frac{n \pi y}{b} \end{aligned} \quad (6)$$

Plakta oluşacak düzlem gerilmeler ise z kalınlık koordinatına bağlı olarak denklem 7 'den hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned} \sigma_{xx}(x, y) &= z \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\left(\frac{12}{h^3} \right) D_{11} \left(\frac{m \pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{12}{h^3} \right) D_{12} \left(\frac{n \pi}{b} \right)^2 \right) p_{mn} \sin \frac{m \pi x}{a} \sin \frac{n \pi y}{b} \\ \sigma_{yy}(x, y) &= z \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\left(\frac{12}{h^3} \right) D_{12} \left(\frac{m \pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{12}{h^3} \right) D_{22} \left(\frac{n \pi}{b} \right)^2 \right) p_{mn} \sin \frac{m \pi x}{a} \sin \frac{n \pi y}{b} \\ \sigma_{xy}(x, y) &= -2z \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\left(\frac{12}{h^3} \right) D_{66} \left(\frac{m \pi}{a} \right) \left(\frac{n \pi}{b} \right) \right) p_{mn} \cos \frac{m \pi x}{a} \cos \frac{n \pi y}{b} \end{aligned} \quad (7)$$

2.1. Konu İle İlgili Hazırlanan Bilgisayar Programı

Bu çalışma için açık kaynak kodlu ücretsiz bir yazılım olan DEV C++ editörü kullanılarak bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu bilgisayar programı öncelikle kullanıcıdan ortotrop plak problemi ile ilgili bazı verileri ister. Bunlar; plağın x boyutu (a) , plağın y boyutu (b) , plak düzlemine dik etki eden yükün şiddeti (P_0) , etki eden yükün tipi ve ortotrop malzeme özellikleridir. İlgili değerler kullanıcıdan alındıktan sonra hesaplarda kullanılacak plak en/boy oranı, plağın z boyutu, ortotrop malzemenin ν_{21} poisson oranı gibi bazı ara değerler hesaplanır. Daha sonra ortotrop plak rijidlikleri hesaplanır. Hesaplanan bu değerler kullanılarak bir döngü yardımıyla plak üzerinde oluşturulan tüm noktalarda düşey çökme ve moment değerleri elde edilir ve daha önceden sabit diskte oluşturulan dosyaya bu değerler yazdırılarak program sonlanır. İlgili programın akış şeması şekil 2 'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Geliştirilen bilgisayar programına ait akış şeması

3. SAYISAL ÖRNEKLER

Örnek olarak dört kenarından basit mesnetli üç adet farklı ortotrop dikdörtgen plak analiz edilmiştir. Bu örnekler, geliştirilen bilgisayar programı kullanılarak çift Fourier serileriyle analiz edilmiş olup her biri ayrı başlıklar altında aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır. Ayrıca, her bir örnek için plak orta yüzeyinin şekil değiştirme ve moment değerleri grafikler şeklinde sunulmuştur.

3.1. Düzgün Yayılı Yüküle Yüklenmiş Ortotrop Kare Plak

Cam-epoksi kompozit malzemesinden üretilmiş $P_0 = 1$ pound/inç düzgün yayılı yüküyle yüklenmiş ortotrop kare plak için düşey çökme ve eğilme momenti değerleri hesaplanmıştır. Bu problem Reddy ve Gera tarafından geliştirilmiş sonlu farklar metodu kullanılarak analiz edilmiştir (Reddy, J. N., & Gera, R., (1979)). Bu örnekteki kare plağın kenar uzunlukları $a = 10$ inç ve kalınlığı ince plak teorisine uygun olarak $h = a/20$ olarak alınmıştır. Cam-epoksi için malzeme özellikleri $E_1 = 7.8 \times 10^6$ psi, $E_2 = 2.6 \times 10^6$ psi, $\nu_{12} = 1/4 = 0.25$ ve $G_{12} = 1.3 \times 10^6$ psi şeklindedir.

Ortotrop malzemeler Poisson oranları arasındaki ilişki denklem 8 'deki gibidir.

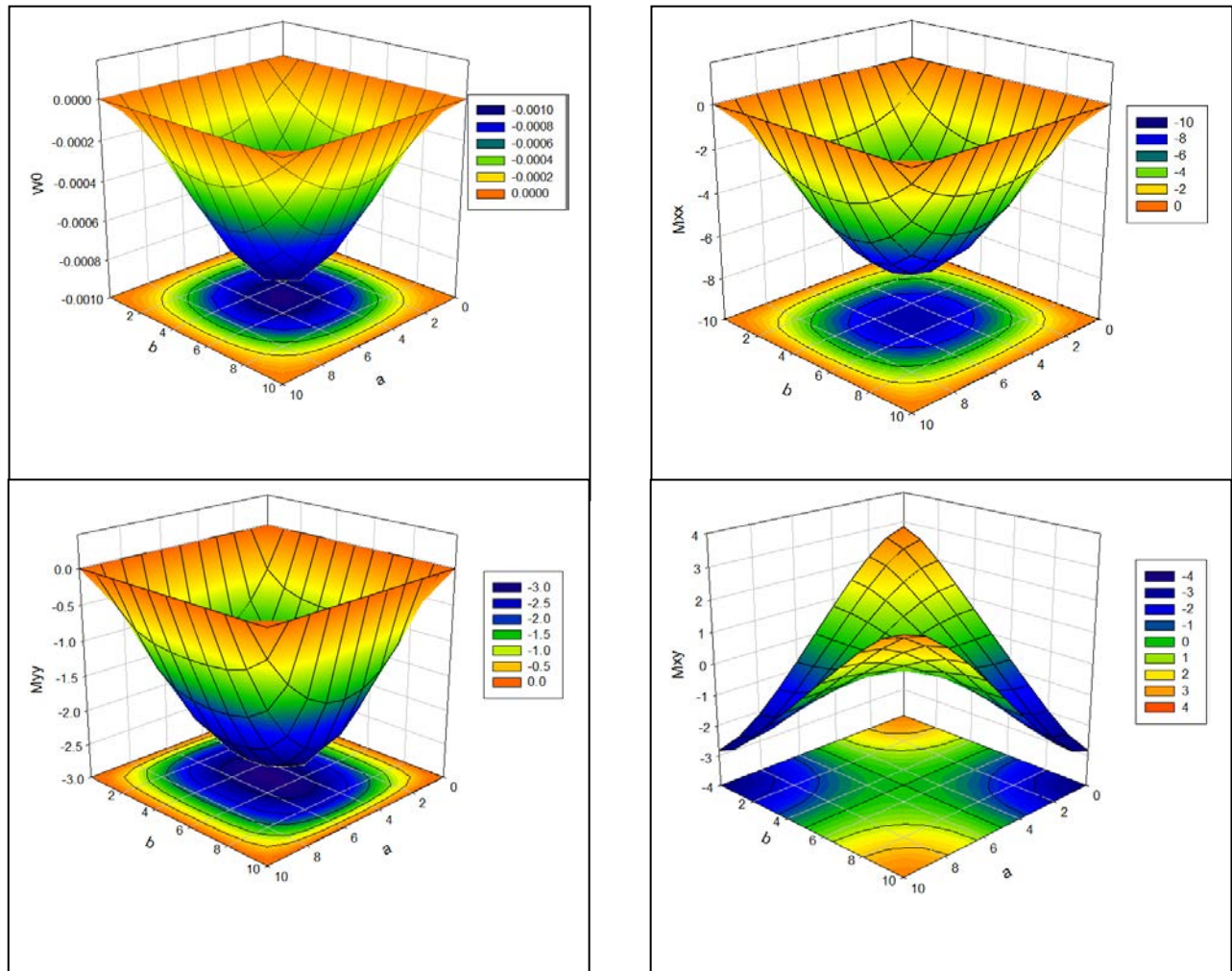
$$\frac{\nu_{21}}{E_2} = \frac{\nu_{12}}{E_1} \Rightarrow \nu_{21} = \frac{E_2}{E_1} \nu_{12} \quad (8)$$

Buradan bu problem için $\nu_{21} = 1/12 = 0.083$ olarak alınmıştır.

Analiz sonuçlarından plak orta yüzeyinin düşey çökme değerleri ve moment değerleri denklem 9'daki gibi boyutsuz hale getirilmiştir.

$$\hat{w}(x,y) = w(x,y) \left(\frac{(D_{12} + 2D_{66})}{a^4 P_0} \right) \times 10^3, \quad \hat{M}(x,y) = M(x,y) \left(\frac{1}{a^2 P_0} \right) \times 10 \quad (9)$$

Geliştirilen bilgisayar programı kullanılarak elde edilen plak orta noktası düşey çökme değeri -0.000908181 inç olarak hesaplanmıştır. Bu değer denklem 9 'da yerine konularak boyutsuz hale getirildiğinde -3.087654376 olmaktadır. Bu çalışmada elde edilen plak orta noktası $M_{xx} - 7.62822$ pound inç olarak hesaplanmıştır. Bu değer denklem 9 'da yerine konularak boyutsuz hale getirildiğinde -0.762822 olmaktadır. Benzer şekilde hesaplanan M_{yy} değeri -2.75585 pound inç şeklindedir. Bu değer denklem 9 'da yerine konularak boyutsuz hale getirildiğinde -0.275585 olmaktadır. M_{xy} moment değeri ise plak orta noktasında 0 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerin referanstaki kesin çözüm sonuçları ile aynı olduğu görülmüştür. Plak orta yüzeyindeki tüm noktaların düzgün yayılı yük altındaki şekil değiştirmesi ve moment değişimleri grafik olarak şekil 3 'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Düzgün yayılı yük altındaki ortotrop kare plak orta yüzeyinin şekil değiştirme ve Moment grafikleri

3.2. Ortasından Tekil Yükle Yüklenmiş Ortotrop Kare Plak

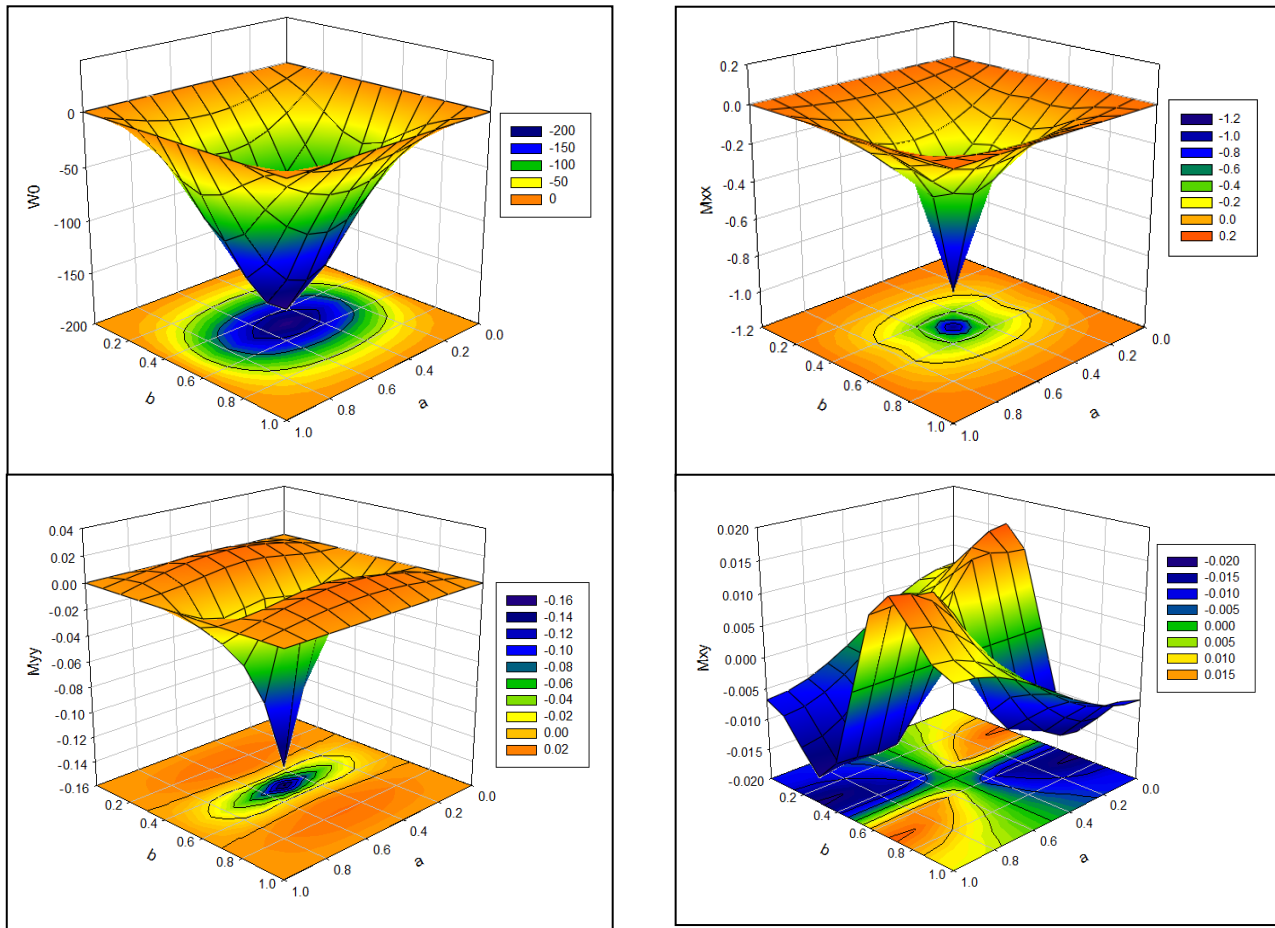
Plak orta noktasından $P = 1$ tekil yükü ile yüklenmiş ortotrop kare plak için düşey çökme ve eğilme momenti değerleri hesaplanmıştır. Bu problem Reddy tarafından Navier çözüm yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir (Reddy, J.N., (2004)). Bu örnekteki kare plağın kenar uzunlukları $a = 1$ ve kalınlığı ince plak teorisine uygun olarak $h = a/20$ olarak alınmıştır. Ortotrop malzeme özellikleri $E_1/E_2 = 25$, $G_{12} = G_{13} = 0,5 E_2$, $G_{23} = 0,2 E_2$ ve $\nu_{12} = 1/4 = 0,25$ şeklindedir. Ortotrop malzemeye uygun olarak $\nu_{21} = 1/100 = 0.01$ alınmıştır.

Analiz sonuçlarından plak orta noktasının düşey çökme değeri denklem 10 'daki gibi boyutsuz hale getirilmiştir.

$$\hat{w}(x,y) = w(x,y) \left(\frac{E_2 h^3}{a^4 P} \right) \times 10^2 \quad (10)$$

Geliştirilen bilgisayar programı kullanılarak plak orta noktasından düşey tekil yük etki eden plak problemi için elde edilen orta nokta düşey çökme değeri $-185,681$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer denklem 10 'da yerine konularak boyutsuz hale getirildiğinde $-2,3210$ olmaktadır. Bu değer referansta $2,3170$ olarak verilmektedir. Hesaplanan boyutsuz çökme değerinin referanstaki çözüm ile $\%0,17$ farklılık gösterdiği görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen plak orta noktası $M_{xx} - 1,00125$ olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde hesaplanan M_{yy} değeri $-0,1445$ şeklindedir. M_{xy} moment değeri ise plak orta noktasında 0 olarak hesaplanmıştır.

Plak orta yüzeyindeki tüm noktaların plak orta noktasından düşey tekil yük altındaki şekil değiştirmesi ve moment değişimleri grafik olarak şekil 4 'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Plak orta noktasından tekil yüklü ortotrop kare plak orta yüzeyinin şekil değiştirme ve Moment grafikleri

3.3. Düzgün Yayılı Yükle Yüklenmiş Ortotrop Dikdörtgen Plak

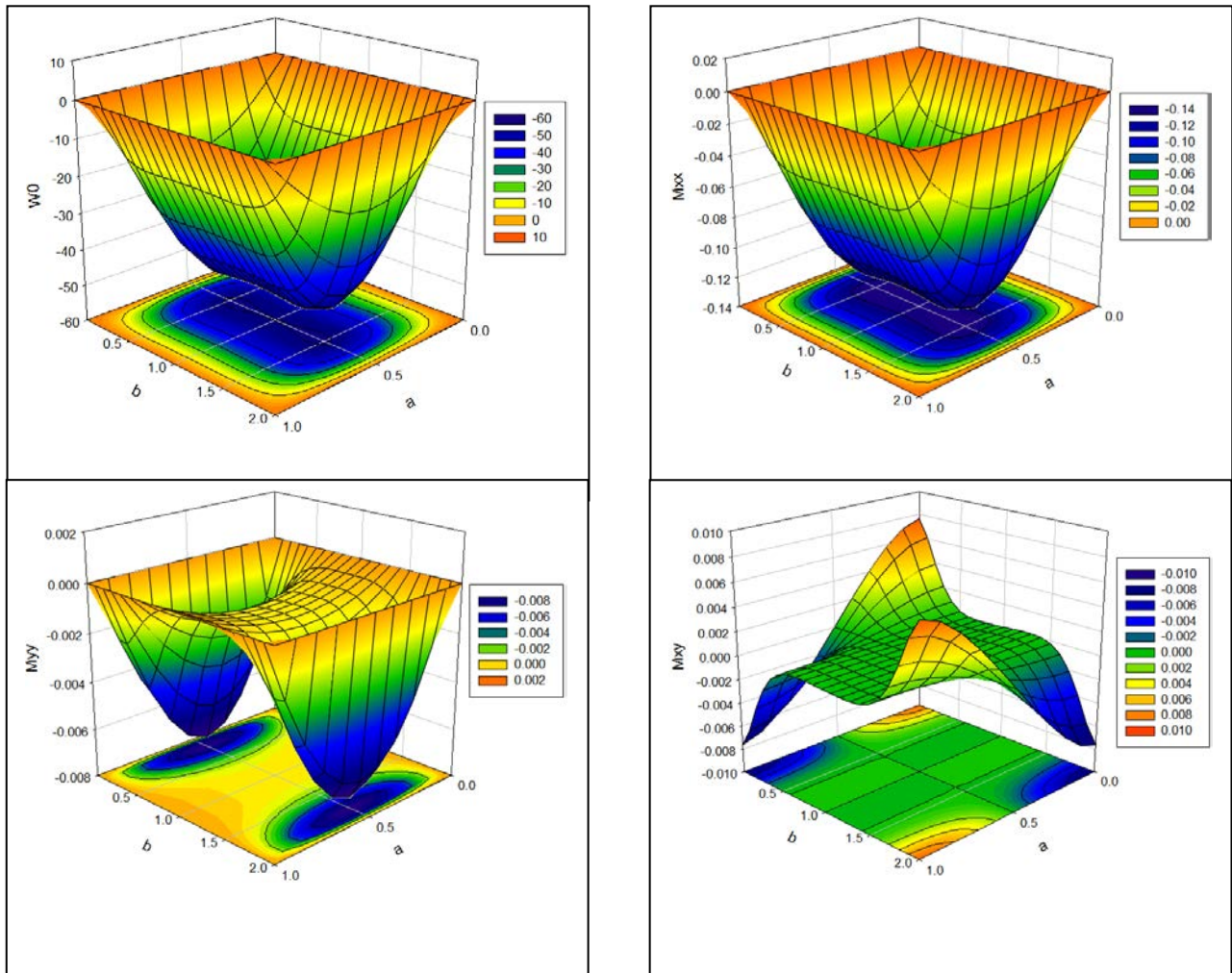
Düzgün yayılı $P_0 = 1$ yüküyle yüklenmiş bir kenarı diğer kenarının 2 katı olan ortotrop dikdörtgen plak için düşey çökme ve eğilme momenti değerleri hesaplanmıştır. Bu problem doktora tezi çalışmasında Saraçoğlu tarafından sonlu farklar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir (Saraçoğlu, M. H., (2010)). Plakın x yönündeki a boyutu 1 birim, y yönündeki b boyutu 2 birim ve kalınlığı kısa kenar a'nın 1/20 si kadar alınmıştır. Ortotrop malzeme özellikleri $E_1/E_2 = 25$, $G_{12} = G_{13} = 0,5 E_2$, $G_{23} = 0,2 E_2$ ve $\nu_{12} = 1/4 = 0,25$ şeklindedir. Ortotrop malzemeye uygun olarak $\nu_{21} = 1/100 = 0.01$ alınmıştır.

Analiz sonuçlarından plak orta noktasının düşey çökme değeri denklem 11 'deki gibi boyutsuz hale getirilmiştir.

$$\hat{w}(x,y) = w(x,y) \left(\frac{E_2 h^3}{a^4 P} \right) \times 10^2 \quad (11)$$

Geliştirilen bilgisayar programı kullanılarak düzgün yayılı yük etki eden ortotrop dikdörtgen plak problemi için elde edilen orta nokta düşey çökme değeri $-50,1217$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer denklem 11 'de yerine konularak boyutsuz hale getirildiğinde $-0,626521$ olmaktadır. Bu değer referansta $-0,626518$ olarak verilmektedir. Hesaplanan boyutsuz çökme değerinin referanstaki çözüm ile $\%0,0004788$ farklılık gösterdiği görülmüştür. Pratik olarak bu değerlerin aynı olduğu kabul edilebilir. Hesap sonuçlarına göre en büyük düşey çökme değeri plak orta noktasında değil $(0,5 ; 0,6)$ ve $(0,5 ; 1,4)$ noktalarında $-51,1282$ olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen plak orta noktası $M_{xx} - 0,125592$ olarak hesaplanmıştır. Hesap sonuçlarına göre en büyük M_{xx} momenti değeri plak orta noktasında değil $(0,5 ; 0,6)$ ve $(0,5 ; 1,4)$ noktalarında $-0,128359$ olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde hesaplanan M_{yy} değeri $-0,00107628$ şeklindedir. Hesap sonuçlarına göre en büyük M_{yy} momenti değeri plak orta noktasında değil $(0,5 ; 0,2)$ ve $(0,5 ; 1,8)$ noktalarında $-0,00755301$ olarak elde edilmiştir. M_{xy} moment değeri ise plak orta noktasında 0 olarak hesaplanmıştır. Hesap sonuçlarına göre en büyük M_{xy} momenti değeri $(0,0 ; 0,0)$ ve $(1,0 ; 2,0)$ noktalarında $0,00761729$ olarak, en küçük M_{xy} momenti değeri ise $(1,0 ; 0,0)$ ve $(0,0 ; 2,0)$ noktalarında $-0,00761729$ olarak, elde edilmiştir.

Düzgün yayılı yük etki eden ortotrop dikdörtgen plak için orta yüzeydeki tüm noktaların şekil değiştirmesi ve moment değişimleri grafik olarak şekil 5 'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Düzgün yayılı yük altındaki ortotrop dikdörtgen plak orta yüzeyinin şekil değiştirme ve Moment grafikleri

4. SONUÇ

Bu çalışmada dört kenarından basit mesnetli ortotrop plakların moment ve şekil değiştirme hesabı C++ dilinde geliştirilen bir bilgisayar programı yardımıyla üç farklı örnek için gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar programı, açık kaynak kodlu ücretsiz bir yazılım olan DEV C++ editörü kullanılarak geliştirilmiştir. Ortotrop plağın orta düzleminin şekil değiştirmiş yüzeyi ve moment değerleri çift Fourier serileri kullanılarak modellenmiştir. Elde edilen sonuçlar grafikler şeklinde sunulmuştur.

Plak orta nokta çökme değeri serinin terim sayıları artırılarak elde edilen sonuçlar izlenmiştir. Buradan çözüm için kullanılan serinin hızlı bir şekilde yakınsadığı görülmüştür. Bundan dolayı terim sayısı 30 olarak alınmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen numerik sonuçlardan plak orta noktasının değeri, referans sonuçları ile mukayese edildiğinde büyük bir uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

REFERANSLAR

- Timoshenko, S. P., & Woinowsky-Krieger, S. (1959). *Theory of Plates and Shells* (2nd ed.). Singapore, McGraw-Hill.
- Reddy, J.N. (2004). *Mechanics of Laminated Composite Plates and Shells-Theory and Analysis* (2nd ed.). USA, CRC Press.
- Fettahoğlu, A. (2014). Assessment on web slope of trapezoidal rib in orthotropic decks using FEM. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 32(1), 52-59.
- Civalek, Ö., & Çatal, H.H. (2004). Diferansiyel Quadrature Metodu ile dikdörtgen ve kare plakların statik hesabı. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(1), 115-127.
- Reddy, J. N., & Gera, R. (1979). An Improved Finite-Difference Analysis of Bending of Thin Rectangular Elastic Plates. *Computers and Structures*, 10(3), 431-438. doi: 10.1016/0045-7949(79)90018-X
- Johnson, A. F., & Woolf, A. (1984). Deflection and Stress Analysis of Orthotropic Plates in Flexure. *Computers and Structures*, 18(5), 911-919. doi: 10.1016/0045-7949(84)90036-1
- Saraçoğlu, M. H., Bayer, M. T., & Özçelikörs, Y. (2015). Özel ortotrop tabakalı plakların sonlu farklar yöntemi ile şekil değiştirme analizi. *E-Journal of New World Sciences Academy—Engineering Sciences*, 10(1), 21-33. doi: 10.12739/NWSA.2015.10.1.1A0356
- Liew, K. M., Xiang, Y., & Kitipornchai, S. (1996). Navier's solution for laminated plate buckling with prebuckling in-plane deformation. *International Journal of Solids and Structures*, 33(13), 1921-1937. doi: 10.1016/0020-7683(95)00130-1
- Kheirikhah, M. M., Khalili, S. M. R., & Fard, K. M. (2012). Analytical solution for bending analysis of soft-core composite sandwich plates using improved high-order theory. *Structural Engineering and Mechanics*, 44(1), 15-34. doi: 10.12989/sem.2012.44.1.015
- Sayyad, A. S., Ghugal, Y. M., & Mhaske, A. A. (2015). A four-variable plate theory for thermoelastic bending analysis of laminated composite plates. *Journal of Thermal Stresses*, 38(8), 904-925. doi: 10.1080/01495739.2015.1040310
- Demasi, L. (2010). Three-Dimensional Closed Form Solutions and ∞^3 Theories for Orthotropic Plates. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 17(1), 20-39. doi: 10.1080/15376490802665684
- Kabir, H. R. H. (1996). Bending of a simply supported rectangular plate with arbitrary lamination. *Mechanics of Composite Materials and Structures*, 3(4), 341-358. doi: 10.1080/10759419608945871
- Berktaş, İ. (1992) Plak teorisi ve uygulamaları - küçük sehimli ince plaklar. Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Sayı 237, İstanbul.
- Saraçoğlu, M. H. (2010). Değişken Kesitli Kompozit Çapraz Tabakalı Plakların Sonlu Farklar Metodu ile Gerilme ve Şekil Değiştirme Analizi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye.



Al-18Si Alaşımında Döküm Kalitesi, Mikroyapı Ve Mekanik Özellikler Arası İlişkinin İncelenmesi

Investigation of the Relationship Between Casting Quality, Microstructure and Mechanical Properties in Al-18Si Alloy

Muhammet ULUDAĞ^{*1}

¹ Bursa Teknik Üniversitesi, Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh., 16310, Bursa, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 08/08/2017

Kabul/Accepted: 17/11/2017

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Öz

Bu çalışmada, primer silis ve ötektik mikroyapı morfolojisine sahip Al-18Si alaşımında döküm kalitesi, soğuma hızı ve sıvı durumda bekletme sürelerinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. 10, 15 ve 20 mm kesit kalınlığına sahip üç farklı basamağı barındıran kum kalıplar soğuma hızı farkı için kullanılmıştır. Al-18Si ötektik üstü alaşım SiC potada eritildikten sonra üç farklı bekletme sürelerine (0, 60 ve 120 dk.) tabi tutularak kum kalıplara dökümler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen döküm parçalarından mikroyapı, porozite incelemeleri ve çekme testleri için numuneler çıkarılmıştır. Elde edilen görüntüler üzerinde SigmaScan marka görüntü analiz programı yardımı ile incelemeler ve elde edilen datalar üzerinde de Minitab istatistiksel analiz yazılımı ile de analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tüm verilerde %18 Si içeriğine sahip Al-18Si ötektik üstü alaşımında bifilm varlığının silis oluşumunu ve buna bağlı olarak da mekanik özellikleri değiştirdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Al-18Si alaşımı, Porozite, Bifilm, Mekanik özellikler, Si morfolojisi”

Abstract

In this work, the effect of melt quality, cooling rate and holding time over the microstructure and mechanical properties of Al-18Si alloy was investigated. This alloy contains primer silicon and eutectic microstructure. A sand mold that has 10, 15 and 20 mm thickness that is in shape of a step mold was used. Al-18Si hypereutectic alloy was melted in SiC crucible and the casting were completed after three different holding time (0, 60 and 120 min.). Cast samples were subjected to microstructure, porosity and mechanical analysis. The images were analyzed by SigmaScan and the data were statically analyzed by Minitab. It was found that bifilms initiated silicon formation and mechanical properties were related to this mechanism

Key Words

“Al-18Si alloy, Porosity, Bifilm, Mechanical properties, Si morphology”

1. GİRİŞ

Alüminyum, alaşımlandırma yapılarak kazandığı mukavemet/özgül ağırlık başta olmak üzere kendine has özelliklerinden dolayı çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Metaller arasında en genç metal olarak bilinen alüminyum ve alaşımları üzerinde pek çok çalışma yapılmasına rağmen halen araştırılmaya ihtiyaç duymaktadır (Campbell 2003). İçerdiği alaşım elementi ve miktarına göre çok farklı özellikler kazanabilen alüminyum alaşımları ısıtılma yapılarak da mekanik özellikleri çeliğin kullanıldığı birçok alanda kullanılabilir seviyede iyileştirilebilmektedir. Silisyum elementinin ilavesi ile silis miktarı ve morfolojisine bağlı olarak ötektik altı, ötektik ve ötektik üstü alaşımları elde edilebilmektedir (Gruzleski, Closset et al. 1990). Dendritik+ötektik katılaşma morfolojisine sahip ötektik altı alüminyum silisyum alaşımları dendritlerin sünekliliği ve silislerin mukavemet artırma etkisi sayesinde tokluğun istenildiği uygulamalarda tercih edilirken ötektik morfolojiye sahip alaşımlar akışkanlığın yüksek olması sayesinde ince cidarlı parçalarda ve primer silislerden ötektik morfolojiden oluşan ötektik üstü alüminyum silisyum alaşımları silisin verdiği yüksek aşınma özelliği sayesinde aşınmaya dayanıklı parçalarda tercih edilmektedir (Gruzleski, Closset et al. 1990).

Ötektik üstü alüminyum silisyum alaşımlarında Sr modifikasyonu ile silis morfolojisi kontrol edilebilmektedir (Miresmaeili, Shabestari et al. 2003, Shabestari, Miresmaeili et al. 2003, Lu and Dahle 2006). Modifikasyon işleminin yanı sıra farklı döküm sıcaklığı ve porozite içeriğinin de mikroyapı üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Primer silislerin mikroyapıda hangi boyutlarda oluştuğu ötektik üstü alüminyum silisyum alaşımlarında mekanik özellikler açısından önemli bir parametredir. Ötektik üstü alaşımlarda birincil Si boyutlarında meydana gelen artış aşınma direncinde de artış sağlamaktadır (Lasa and Rodriguez-Ibabe 2003). Diğer taraftan bu alaşımlar, korozyon dirençlerinin iyi olması sayesinde denizcilik sektöründe tercih edilmektedirler.

Chang (Chang, Moon et al. 1998) V geometrisine sahip bir kalıpta çalışma yapmış ve nadir toprak elementlerin Silisyum morfolojisine etkisini araştırmıştır. Mikroyapıda meydana gelen değişimin katılaşma hızına bağlı olduğunu ve ötektik oluşum sıcaklığındaki değişim ile doğrudan ilişkili olduğunu iddia etmiştir. Chen (Chang, Kim et al. 1998, Chen, Liu et al. 2007) de benzer bir çalışma yaparak fosforun etkisine bakmıştır. Fosfor miktarının artmasıyla ilave edilen elementlerin modifiye etkilerinin de arttığını göstermiştir.

Literatürde mevcut bazı çalışmalarda ise (Abramov, Abramov et al. 1997, Radjai, Miwa et al. 1998, Lu, Jiang et al. 2007) birincil silisyum morfolojisinde meydana gelen değişimleri incelemek için ergimiş alaşımı elektromanyetik olarak karıştırma yöntemi kullanılmıştır. Karıştırma parametrelerinin etkili olduğu ileri sürülmüştür. Karıştırmada meydana gelen artış, kaviteyi da artırmaktadır. Bunun sonucu olarak, sıvıdan katıya geçiş esnasında birincil silisyumların hemen hemen hepsinin ince ve homojen bir şekilde dağıldığı ve ötektik yakın bir kimyasal içerik elde edildiği bulunmuştur. Matsuura (Matsuura, Kudoh et al. 2003), Silisyum partiküllerinin boyutunu 20 nm olacak şekilde alüminyum silisyum alaşımına eklemiştir ve çok hızlı soğutma yaparak katılaşma sonrası ince morfolojide silisyum dağılımını gözlemiştir. Buna bağlı olarak da, sertlik değerlerinde ciddi artışlar elde edilmiştir. Xu (Xu and Jiang 2006) aşırı ısıtma ve soğuma hızının silisyum oluşumu üzerindeki etkisini incelemiştir. Soğuma hızının artmasıyla birincil silislerin boyut olarak çok az oranda azaldığını bulmuştur. Fakat soğuma hızına bağlı olarak silisyum rafinasyonunun değişmediğini iddia etmiştir.

Diğer taraftan alüminyum alaşımlarında mekanik özellikler başta olmak üzere pek çok özelliği önemli derece etkileyen bir faktör ileri atılmıştır (Dispınar and Campbell 2004, Dispınar and Campbell 2004). Sıvı metalin yüzeyinde oluşan oksit tabakasının katlanarak sıvı metal içerisine girme ve orda katılaşma esnasında açılarak poroziteyi oluşturma prensibine dayanan bu faktör bifilm oluşum teorisidir. Bifilm sıvı metalde porozite oluşumu için ana kaynak olarak gösterilmiştir. Literatürde mevcut olan hidrojen ve çekilme boşluğu etkenlerinin porozite oluşumu için ana kaynak değil tetikleyici faktör olduğuna inanılmaktadır. Bir sıvı metalde bifilm indeks değeri ne kadar düşükse mekanik özellikler o kadar yüksek olmaktadır (Tiryakioglu, Campbell et al. 2009, Dispınar, Akhtar et al. 2010, Dispınar and Campbell 2011).

Bu doğrultuda bu çalışmada, Al-18Si ötektik üstü alaşımının zamana bağlı (0, 60 ve 120 dk.) döküm kalitesi incelenmiştir. Farklı bekletme zamanlarında meydana gelen döküm kalitesi azaltılmış basınç test analizi ile test edilmiştir. Diğer taraftan farklı bekletme zamanlarında döküm kalitesinde meydana gelen değişimlere bağlı olarak mekanik özelliklerin değişimi araştırılmıştır. Ötektik üstü alüminyum silisyum alaşımlarında sıvı durumda bekletme süresinin soğuma hızının mekanik özelliklerde ve döküm kalitesinde meydana getirdiği değişiklikler incelenmiştir.

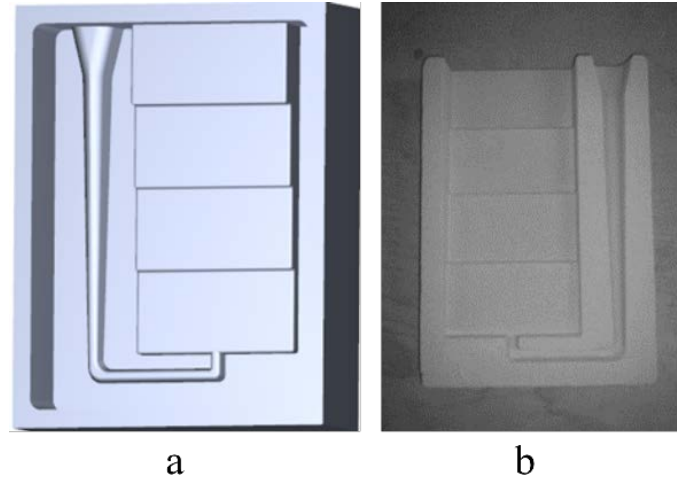
2. DENEYSEL PROSEDÜR

Çalışmada kullanılan alüminyum silisyum alaşımlarından % 18 Si içeriğine sahip ötektik üstü alaşım primer olarak ETİAL, Seydişehir firmasından tedarik edilmiştir. Alaşıma ait kimyasal kompozisyon Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Deneyde kullanılan Al-18Si alaşımının kimyasal bileşim analizi

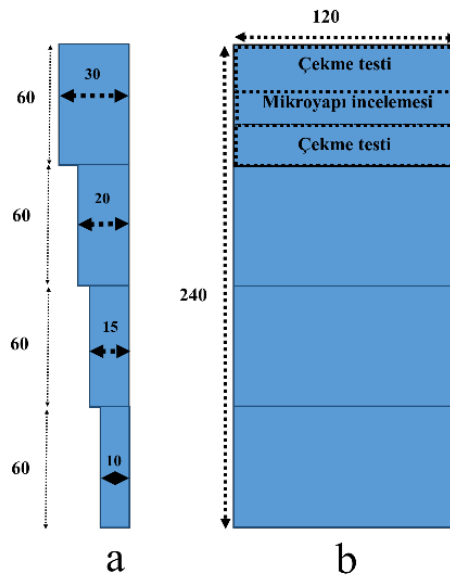
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
18	0,60	1,2	0,20	1,1	0,20	0,10	Kalan

Al-18Si alaşımının 22 kg kapasiteli SiC potada ve elektrikli direnç ocağı kullanılarak ergitilmiş ve 725 °C ye geldiğinde basamak tipli kum kalıplara ilk dökümler gerçekleştirilmiştir. İkinci dökümlerde metalin sıvı duruma gelmesinden sonra 60 dakika beklenilmiş ve ilk dökümle aynı şartlarda dökümlerde gerçekleştirilmiştir. Son ve üçüncü döküm ise metalin sıvı duruma getirilmesinden sonra 120 dakika beklenilerek tamamlanmıştır. 10, 15, 20 ve 30 mm kesit kalınlığına sahip basamak tipli kalıp modelinden 60-65 AFS boyutlarında silis kumundan kalıplar üretilmiştir. Kalıp üretiminde kullanılan model ve kum kalıp görüntüleri Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. a) Dökümlerde kullanılan kalıp modeli b) Kalıp resmi

Her üç döküm parametresine ait sıvı metalden döküm kalitesini belirleme amaçlı azaltılmış basınç test (RPT) numuneleri elde edilmiştir. RPT numunelerinin eldesinde 80 mbar vakum değerinde Dışınar (Dispınar and Campbell 2004) tarafından kullanılan RPT kalıbının ikili modeli kullanılmıştır. 30 mm kesit kalınlığına sahip basamak bu kalıp tasarımında besleyici görevi gördüğünden elde edilen döküm parçalarında incelenmemiştir. Diğer üç basamaktan ikişer adet çekme test numunesi ve mikroyapı numuneleri elde edilmiştir. Parçaların iç yüzeyleri talaşlı işleme yöntemleri ile çekme testi numunesi geometrisine getirilmeden önce metalografik inceleme yöntemleri ile hazırlanıp porozite ölçümüne tabi tutulmuştur. Dökümden elde edilen parçanın ölçüleri ve numune eldesini gösteren şematik gösterimler Şekil 2’de verilmiştir.



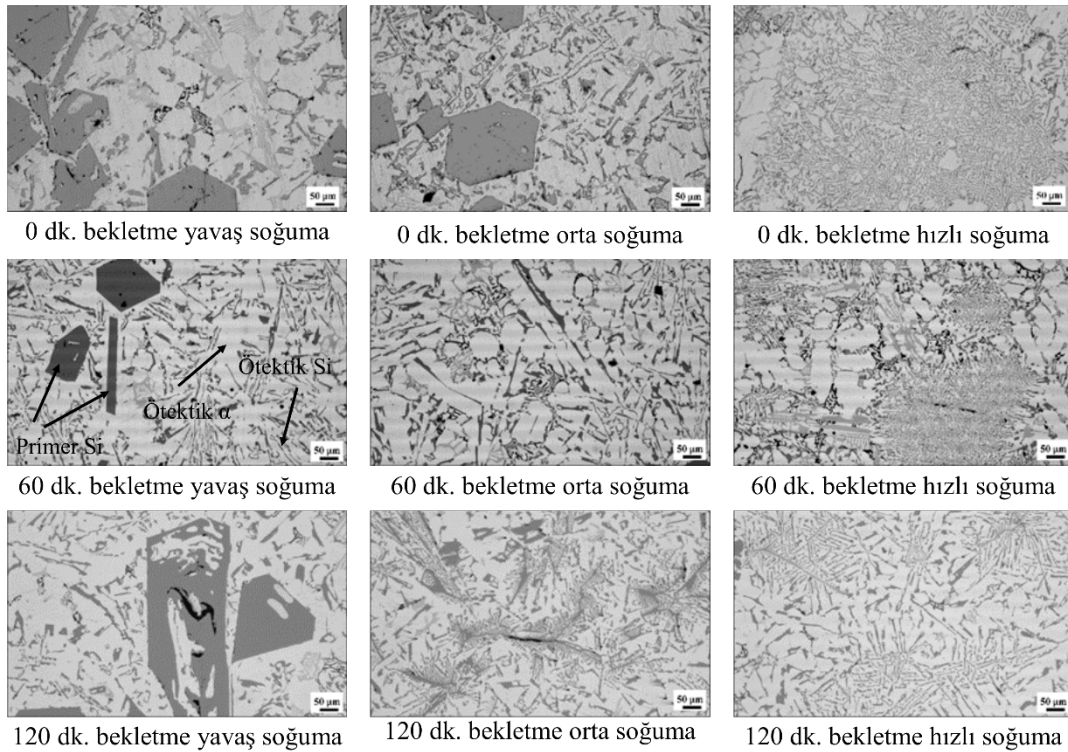
Şekil 2. a) Döküm parçasının kesit ölçüleri, b) numune bölgeleri

Dökümlerden elde edilen RPT numuneleri ortadan dikey olarak ikiye bölünmüş ve parçalardan biri makro numune hazırlama işlemlerine tabi tutularak yüzey görüntüleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. RPT görüntüleri üzerinde görüntü analiz programı yardımı ile döküm kalitesini sayısal olarak veren bifilm indeks değerleri hesaplanmıştır. Mikroyapı numuneleri de metalografik numune hazırlama yöntemleri ile hazırlanmış ve Nikon marka mikroskop yardımıyla mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Çekme

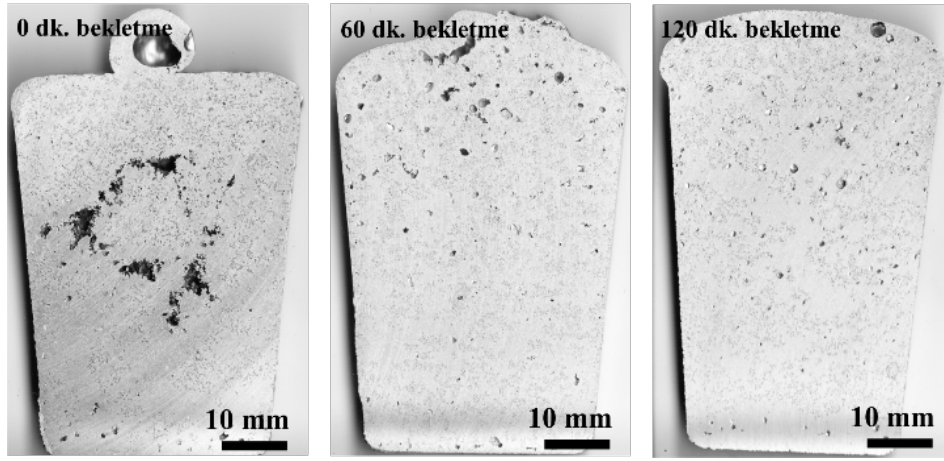
testleri İnstron marka universal çekme test cihazında gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar ile döküm parametreleri arasında Minitab istatistiksel analiz programı yardımı ile ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Sıvı durumda bekletme süresine göre farklı kesit kalınlıklarından elde edilen farklı silis morfolojilerini gösteren mikroyapı görüntüleri Şekil 3’de verilmiştir. Sıvı durumda bekletmeksizin yani 0 dakika beklemede gerçekleştirilen dökümlere ait mikroyapı görüntüleri incelendiğinde kesit kalınlığı farkı çok net bir şekilde görülebilmektedir. Yavaş soğuma gösteren en kalın kesitte (20 mm) çok büyük ve düzenli bir geometride primer silislerin oluştuğu ve bunun yanında ötektik silislerin de kaba ve uzun yapıda oluştuğu görülmektedir. Kesit kalınlığı azalmasıyla soğuma hızı artmakta ve hem primer silislerin hem de ötektik silislerin büyük yapıdan daha küçük yapılara dönüştüğü görülmektedir. Katılaşmanın en hızlı olduğu 10 mm kesit kalınlığına sahip görüntülerde primer silislerin yok denecek kadar olduğu bunun yerine ötektik silislerin çok daha ince yapıda çok yoğun bir şekilde oluştuğu görülmektedir. Katılaşmanın çok hızlı olduğu kesitte dendritik yapının da varlığı göze çarpmaktadır. Soğumanın hızlı olması primer silislerin çekirdeklenmesi için yeterli ama büyümesi için yeterli olmadığı görülmektedir. Soğuma hızı, sıcaklık gradyenti ve silislerin ısıyı tutma özelliğinden dolayı katılaşamayan silis miktarı ötektik bileşimin altında yer alabilmektedir. Bu sebepten dolayı Şekil 3’de verilen 0 dakika bekleme parametresinin hızlı katılaşma görüntülerinde dendritik morfoloji karşımıza çıkmıştır. Soğuma hızına bağlı 0 dakika bekleme dökümlerinden meydana gelen mikroyapısal değişim 60 dakika ve 120 dakika bekleme parametrelerine ait görüntülerde de görülmektedir. Sıvı durumda tutma süresinin mikroyapıya etkisi için görüntüler dikkatli bir şekilde incelenecek olunursa bekleme süresinin artmasıyla primer silis morfolojisinin düzenli beşgen geometrisinden düzensiz ve geometriye doğru değiştiği söylenebilir. Oluşan primer silislerin soğuma hızına bağlı olarak farklı morfolojiler sergilemesinin yanı sıra ötektik silislerin de daha kaba yapıya dönüştüğü görülmektedir. Bunun muhtemel nedeni Campbell’ ın (Campbell 2015) daha önce ileri sürdüğü gibi sıvı metal içerisindeki bifilm içeriği ile ilgilidir. Bifilm oksit yapılar olduklarından sıvı içerisinde yakın yoğun değerlerinden dolayı askıda kalabilmektedirler. Silisler de oksit yapıdaki bifilmelerin altlık görevi görmesi avantajı ile bifilmelerin buldukları noktalarda çekirdekleşebilmektedirler. Şekil 4’de verilen RPT yüzeyleri incelendiğinde zamana bağlı bifilmelerin boyutlarının küçüldüğü ve sayısının arttığı görülmektedir. Bu değişimin silislerde de görülmesi bifilm ile silisler arasındaki ilişkinin doğruluğunu kanıtlamaktadır.

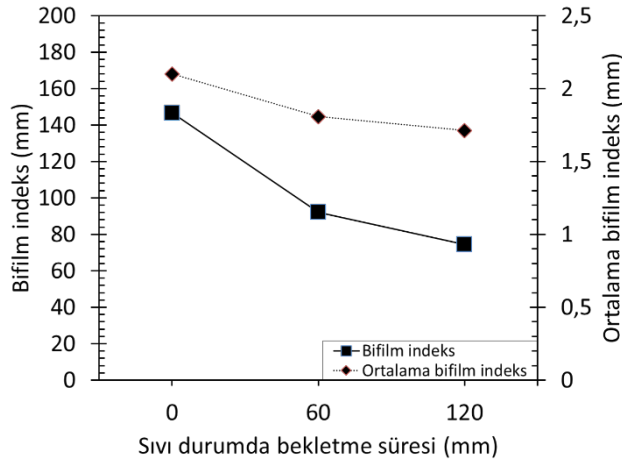


Şekil 3. Sıvı durumda bekletme zamanına ve kesit kalınlığına (soğuma hızına) göre mikroyapı resimleri



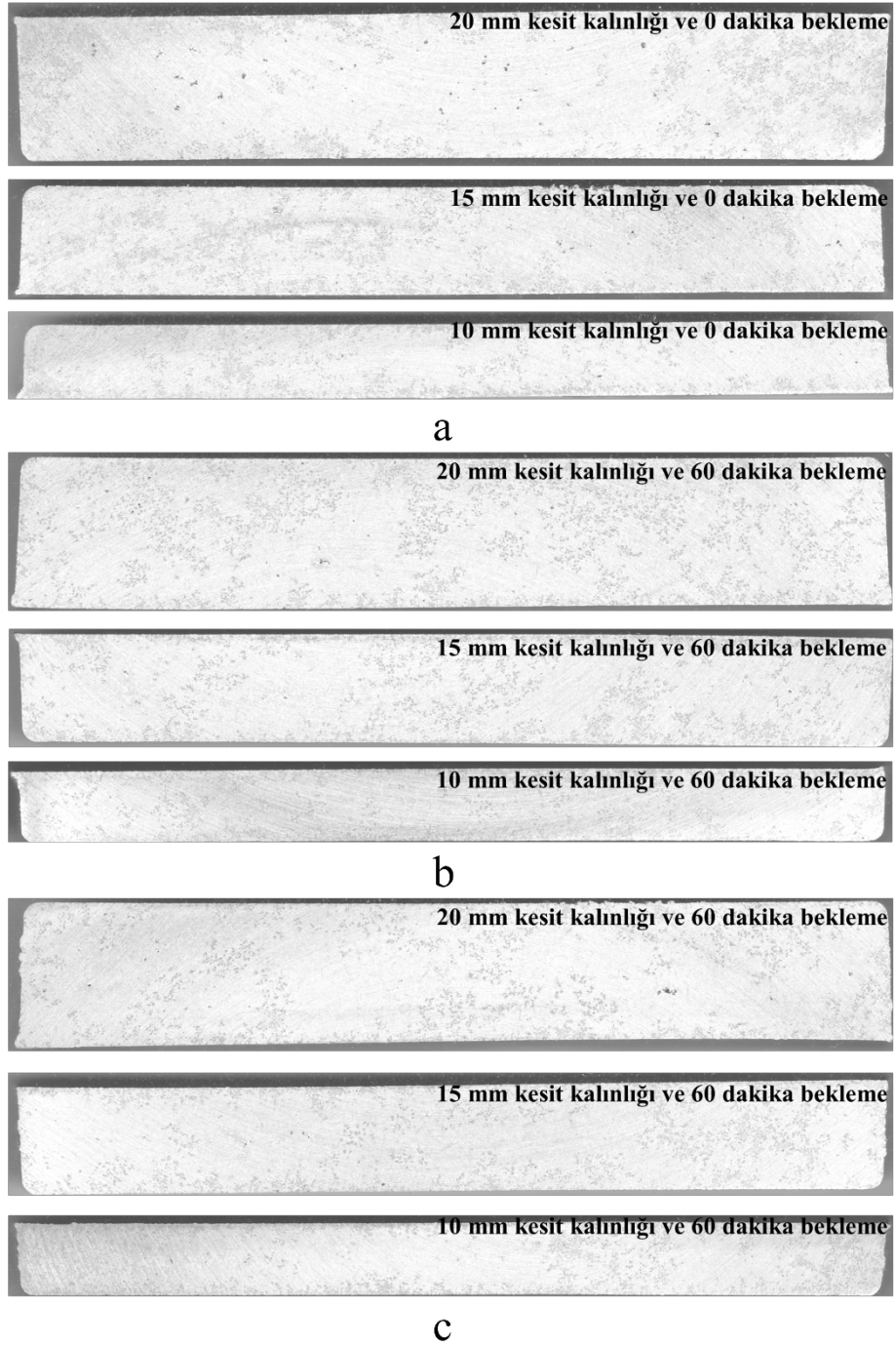
Şekil 4. Sıvı durumda farklı bekletme zamanlarından alınmış temsili RPT görüntüleri

Şekil 4’de RPT numunelerine ait verilen temsili görüntüler incelendiğinde sıvı durumda bekletmeden gerçekleştirilen dökümlerde oluşan bifilmliğin büyük boyutlarda ve az sayıda olduğu görülmektedir. Katılaşmanın kalıp kenarlarından başlayıp en kalın kesite doğru ilerlediği düşünülürse kalıbın tam ortasında ve üstünde ötektik katılaşmadan kaynaklı büyük bir bifilm oluştuğu göze çarpmaktadır. Sıvı içerisinde var olan küçük boyuttaki bifilmliğin katılaşma yönünde hareket ederek son katılaşan bölgede birleşerek tek ve büyük boyutta bir bifilmliğe dönüşmektedirler. Şekil 4’de verilen temsili görüntüde bifilmliğin bu karakteristik özelliği çok belirgin bir şekilde görülmektedir. Sıvı durumda bekletme zamanı arttıkça görüntülerden de anlaşılacağı gibi bifilmliğin boyutları azalmakta ve sayıca artmaktadır. 120 dakika bekletme süresine ait temsili görüntüde bifilmliğin diğer bekletme zamanlarına nazaran çok daha küçük boyutta ve daha çok sayıda oluştuğu göze çarpmaktadır. Görsel olarak gerçekleştirilen inceleme sonucu elde edilen bulgular Şekil 5’de verilen sıvı durumda bekletme süresi ile bifilmliğin ölçüm sonuçları arasındaki ilişki grafiğinde sayısal olarak da karşımıza çıkmaktadır. Zamana bağlı olarak hem bifilmliğin değeri hem de ortalama bifilmliğin değeri azaldığı tespit edilmiştir. Sıvı durumda bekletme zamanının bifilmliğin üzerine etkisi daha önce araştırılmıştır (Dispınar, Akhtar et al. 2010, Dispınar and Campbell 2011, Mostafaei, Ghobadi et al. 2016, Uludağ, Çetin et al. 2017). Sıvı durumda bekleyen metal içerisinde var olan bifilmliğin zamana bağlı olarak dibe çökerek temizlenmektedir. Bifilmliğin bu temizliği tane inceltici olarak ilave edilen Ti içerikli master alaşımlarının bifilmliğin üzerine gelmesi ve dibe çöktürmesi ile daha kolay yapılabilir (Gürsoy, Erzi et al. 2016).



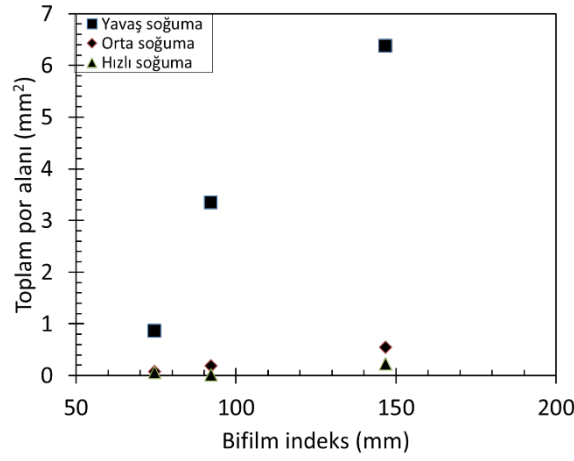
Şekil 5. Sıvı durumda bekletme zamanına göre bifilmliğin değeri ve ortalama bifilmliğin değeri

Farklı kesit kalınlıklarından elde edilen çekme test numuneleri üzerinde ilk olarak porozite ölçümü gerçekleştirilmiştir. Makro numune hazırlama yöntemleri sonrası elde edilen yüzey görüntüsü Şekil 6’da verilmiştir. Görsel olarak makro porozite ölçüm yüzeyleri incelenecek olunursa kesit kalınlığına bağlı olarak oluşan porozitelerin soğuma hızı arttıkça azaldığı görülmektedir. Sıvı durumda bekletme zamanına bağlı olarak ise benzer sonuç elde edilmektedir. Sıvı durumda bekletme süresi arttıkça sıvı metaldeki bifilmliğin temizlenmekte ve buna bağlı olarak porozite oluşumu azalmaktadır.

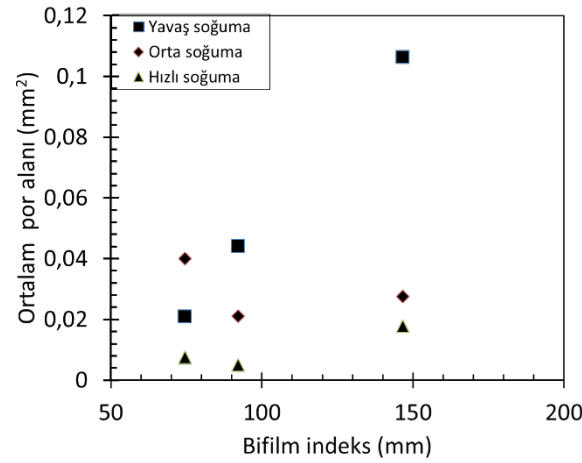


Şekil 6. a) Üç farklı kesit kalınlığından 0 dakika bekleme zamanına göre elde edilmiş makro porozite ölçüm görüntüleri
b) Üç farklı kesit kalınlığından 60 dakika bekleme zamanına göre elde edilmiş makro porozite ölçüm görüntüleri
c) Üç farklı kesit kalınlığından 120 dakika bekleme zamanına göre elde edilmiş makro porozite ölçüm görüntüleri

Şekil 6'da görsel olarak verilen sonuçlar üzerinde görüntü analiz programı yardımı ile gerçekleştirilen analiz sonuçları bifilm indeks sonuçlarına bağlı olarak toplam por alanı değişimi Şekil 7'de, ortalama por alanı değişimi Şekil 8'de por sayısı değişimi de Şekil 9'da verilmiştir.

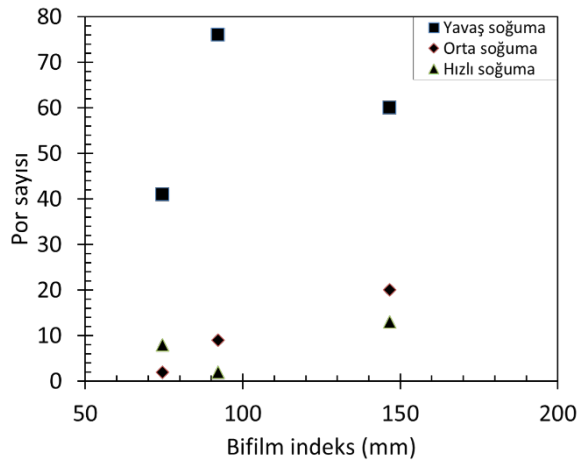


Şekil 7. Bifilm indeksi ve toplam por alanı arasındaki ilişki



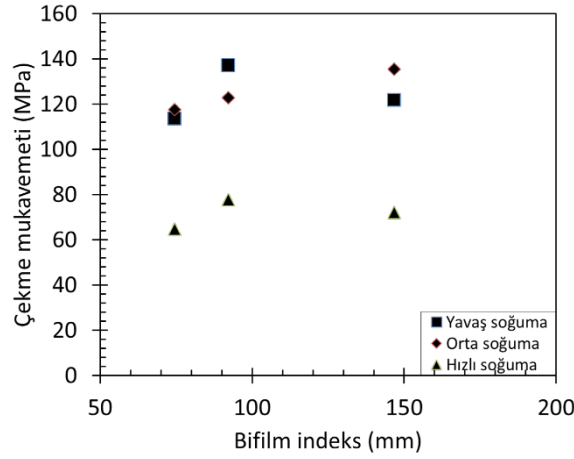
Şekil 8. Bifilm indeksi ve ortalama por alanı arasındaki ilişki

Şekil 7 de verilen bifilm indeksi ile toplam por alanı değişimi ve Şekil 8’de verilen bifilm indeksi ile ortalama por alanı değişimi grafikleri genel olarak her üç soğuma hızı için de aynı eğilimde olduğu görülmektedir. Por alanı değerleri bifilm indeksi ile doğrudan ilişkili gözükmektedir. Bifilm indeksi arttıkça por alanı değerleri de artmaktadır. Soğuma hızına bağlı olarak ise azalmaktadır. Yavaş soğuma meydana gelen dökümlerde daha büyük poroziteler oluşurken hızlı soğuma gerçekleşen dökümlerde ise daha küçük porozite oluşmaktadır. Bu bulgu hem toplam por alanı değerleri için hem de ortalama por alanı değerleri için de geçerlidir. Şekil 9’da sunulan por sayısı bifilm indeksi ilişkisi grafiğine göre ise hemen hemen benzer şeyleri söylemek mümkündür. Katılma hızı ile porozite sayısı arasında aynı ilişki göze çarpmakta soğuma arttıkça porozite sayısı azalmaktadır (Matsuura, Kudoh et al. 2003, Xu and Jiang 2006).

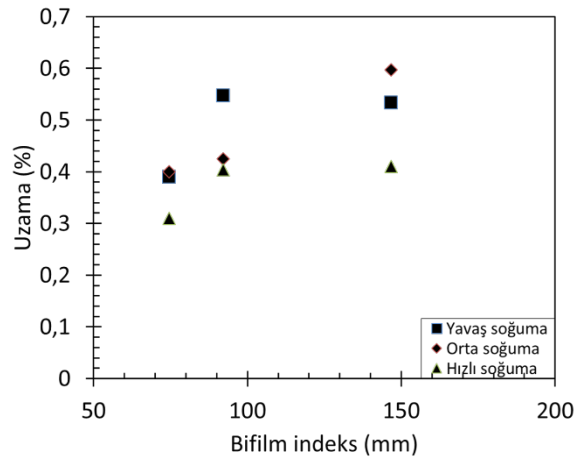


Şekil 9. Bifilm indeksi ile por sayısı arasındaki ilişki

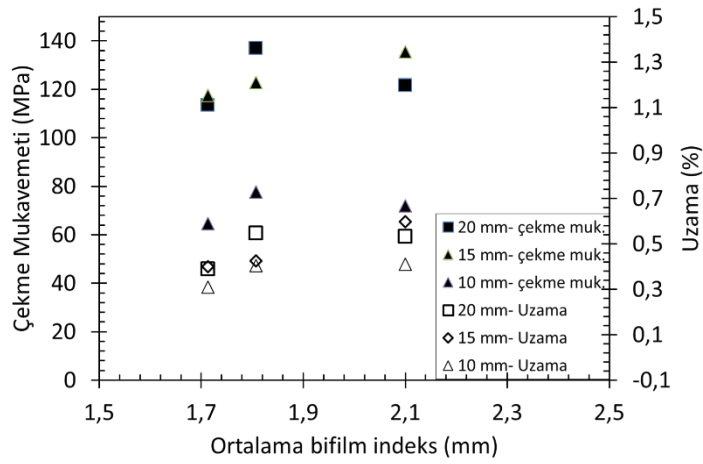
Çekme test numuneleri makro porozite inceleme sonrası teste tabi tutulmuştur. Elde edilen mekanik ölçüm değerlerinin bifilm indeks değerlerine göre değişimi çekme mukavemeti için Şekil 10'da % uzama için de Şekil 11'de verilmiştir. Ortalama bifilm indeks değerleri ile mekanik özellikler arası ilişki de Şekil 12'de sunulmuştur. Bifilm indeks değerlerinin çekme mukavemeti ve % uzama üzerinde göstermiş olduğu etkiler aynı eğilimdedir (Şekil 10 ve 11). Bifilm indeks arttıkça mekanik özellikler iyileşmektedir. Aynı sonuç ortalama bifilm indeks değerleri ile mekanik özellikler arasında da görülmektedir. Alüminyum alaşımlarında bifilm indeks değeri arttıkça mekanik özellikler kötüleşmektedir (Dispınar and Campbell 2006, Dispınar and Campbell 2007, Dispınar and Campbell 2011). Bu çalışmada kullanılan alaşımanın ötektik üstü (Al-18Si) olduğu düşünülünce elde edilen ters ilişki normal olarak görülmektedir. Çünkü ötektik üstü alaşımlarda oluşan primer silis ve ötektik silis morfolojisi mekanik özellikler üzerinde çok etkilidir. Bifilm indeks değerinin azalmasına bağlı olarak oluşan primer silislerin ve ötektik silislerin boyutları kabalaşmaktadır. Bu mekanik özellikleri kötü etkilemektedir. Bifilm indeks değeri ne kadar yüksekse sıvı içerisinde var olan bifilmelerin üzerinde çekirdeklenen silislerin boyutları daha düşük olmakta ve buna bağlı mekanik özellikler daha yüksek elde edilmektedir.



Şekil 10. Bifilm indeks ile çekme mukavemeti arasındaki ilişki

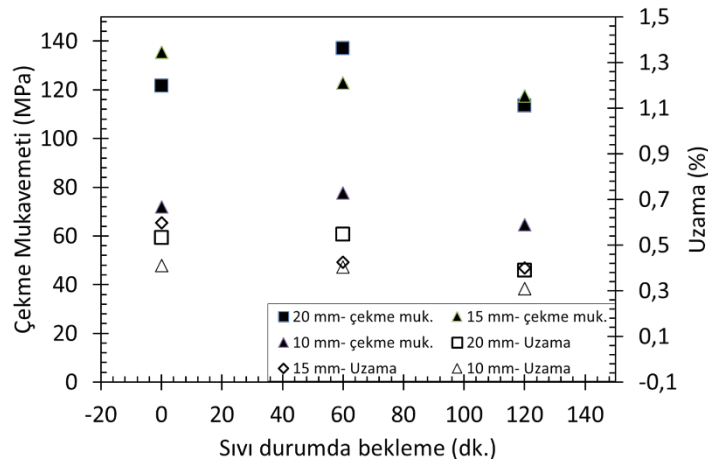


Şekil 11. Bifilm indeks ile uzama arasındaki ilişki



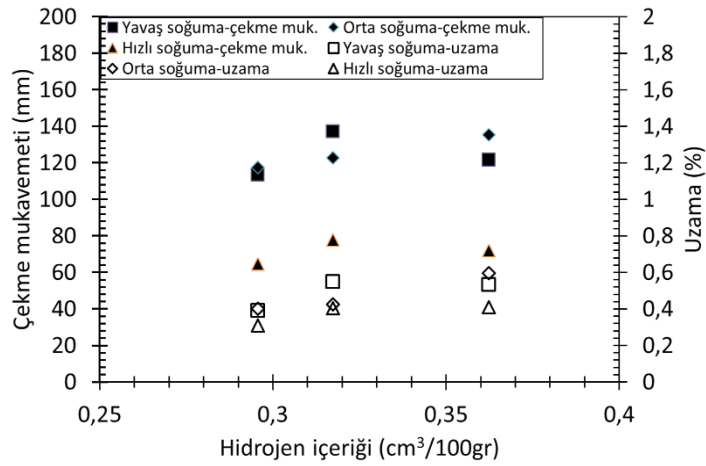
Şekil 12. Ortalama bifilm indeks ile mekanik özelliklerin değişimi

Sıvı durumda üç farklı sürede bekletilerek dökülen ötektik üstü alaşımda bekleme süresi ile mekanik özellikler arası ilişki Şekil 13’de verilmiştir. Sıvı durumda bekleme süresi arttıkça hem çekme mukavemeti hem de % uzama azalma eğilimindedir. Bunu da yukarıda tartışması yapılan bifilm indeks sonuçlarının silis boyutlarına etkisi ile açıklamak mümkündür. Sıvı metal bekledikçe içinde var olan bifilm azalmakta buna bağlı silis boyutları büyümektedir. Bu da mekanik özellikleri düşürmektedir. Bu etki 60 dakikadan sonra daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır.



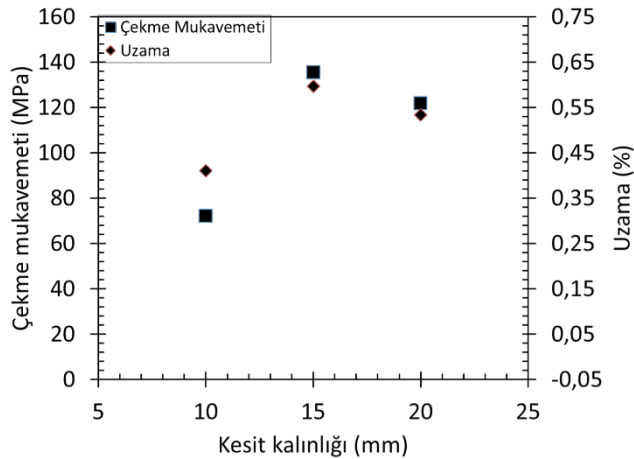
Şekil 13. Sıvı durumda bekleme süresi ile mekanik özellikler arası ilişki

Kalıplara döküm öncesi sıvı metalin bekletilmesi esnasında ALSPEK marka hidrojen ölçüm cihazı ile elde edilen hidrojen değeri ile mekanik özellikler arasındaki ilişki Şekil 14’de sunulmuştur. Döküm parametrelerinin hidrojen içeriği değerleri arasında çok büyük farklar olmamakla birlikte küçük değişimlerin de mekanik özellikleri değiştirdiği görülmektedir. Sıvı metalde mevcut olan çözülmüş hidrojen miktarı direkt poroziteyi oluşturmamakta, porozite oluşum kaynağı olan bifilmelerin katılaşma esnasında büyümesini tetiklemektedir (Dispınar and Campbell 2011). Yani hidrojen alüminyum alaşımlarının dökümünde porozite oluşumu için ana kaynak değil tetikleyici bir faktördür. Bu sebepten grafikte de görüldüğü gibi hidrojen miktarı arttıkça mekanik özellikler de artmaktadır. Bunun da sebebi hidrojenin bifilmeler üzerindeki etkisi ve buna bağlı olarak da silis morfolojisini değiştirmesidir.



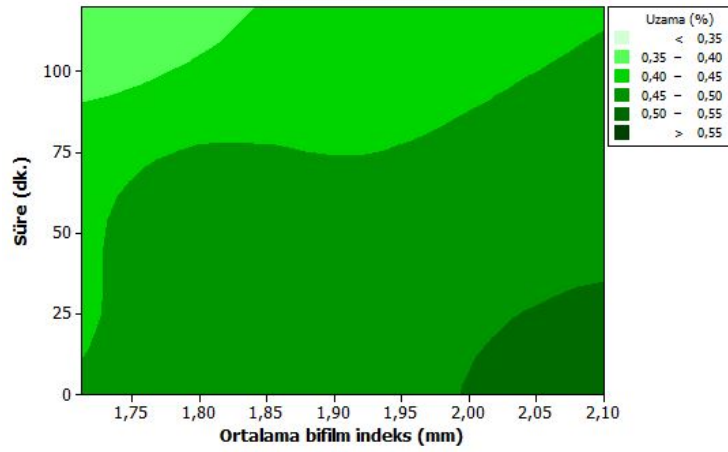
Şekil 14. Hidrojen içeriğine göre mekanik özelliklerin değişimi

Şekil 15’de tüm parametrelerden bağımsız olarak kesit kalınlığı yani soğuma hızı ile mekanik özellikler arasındaki ilişki sunulmuştur. Şekilde görüldüğü gibi soğuma hızı arttıkça mekanik özellikler düşmektedir. Soğuma hızı arttıkça tane yapısı küçülür ve buna bağlı olarak mekanik özellikler iyileşir (Flemings 1974). Fakat bu çalışmada kullanılan alaşım ötektik üstü alaşım olduğundan dolayı kesit kalınlığı 10 mm den 15 mm ye çıktığında meydana gelen soğuma hızı farkı mekanik özelliklerde artışa sebep olmuştur. 15 mm den 20 mm ye çıktığında ise tekrar bir azalış söz konusudur. Buradan elde edilen sonuçtan mekanik özelliklerin değişiminde sadece primer silis oluşumunun değil aynı zamanda sıcaklık gradyentine bağlı olarak ötektik silis ve dendritik morfolojinin de etkili olduğu anlaşılmaktadır.

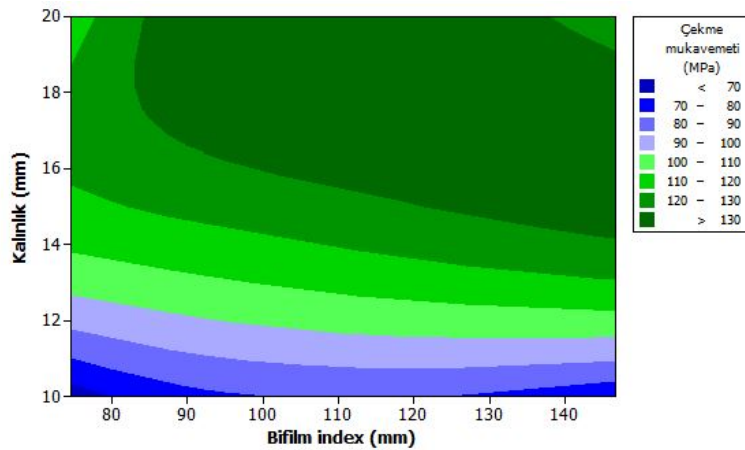


Şekil 15. Kesit kalınlığı (soğuma hızı) ile mekanik özellikler arası ilişki

Tüm deney parametrelerinden elde edilen mekanik sonuçlar Minitab analiz programı yardımı ile istatistiksel analize tabi tutulmuştur. Yapılan incelemelerde Şekil 16’da verilen ortalama bifilm indeksi ve bekleme süresinin mekanik özelliklere etkisi ile Şekil 17’de verilen bifilm indeksi ile kesit kalınlığının mekanik özelliklere etkisi sonuçları ilgi çekmektedir. Sürenin sabit olduğu durumlarda ortalama bifilm indeksi arttıkça mekanik özellikler artmaktadır. Ortalama bifilm indeksi değerinin sabit olduğu durumlarda sıvı durumda bekleme süresi arttıkça mekanik özelliklerin kötüleştiği karşımıza çıkmaktadır. Şekil 16’da verilen sonuçlara göre maksimum bifilm indeksi minimum bekleme süresinde en iyi mekanik özellikler elde edilmektedir. Bu da tamamen bifilm varlığının silis çekirdeklenmesi ve büyümesi üzerindeki rolünden kaynaklanmaktadır. Şekil 17’de verilen sonuçlara göre düşük kalınlıklarda yani hızlı soğuma dökümlerinde bifilm indeksi değerinin değişmesinin mekanik özellikleri değiştirmedeği görülmektedir. Fakat bifilm indeksi sabit tutulursa kalınlık arttıkça mekanik özelliklerin arttığı söylenebilir. Bunu da kalınlık farkından dolayı sıcaklık gradyentinin etkisi ile oluşan mikroyapı morfolojisi ve buna bağlı bifilm açılımı ile açıklamak mümkün görülmektedir.



Şekil 16. Ortalama bifilm indeksi ve sıvı durumda bekleme süresinin mekanik özelliklerde meydana getirdiği değişim



Şekil 17. Bifilm indeksi ve kesit kalınlığının mekanik özelliklerde meydana getirdiği değişim

4. Sonuçlar

Alüminyum alaşımlarına ait mekanik özellikler sıvı işlemleri ile ciddi bir şekilde değişmektedir. Fakat alaşım kompozisyonu bu değişim üzerinde önemli bir role sahiptir. Bu çalışmada kullanılan % 18 Si içerikli ötektik üstü alaşımın mikroyapısal morfolojisi göz önüne alınarak bulgulardan elden edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sırlanabilir.

1- Sıvı durumda bekletilen Al-18Si alaşımı için bekletme süresinin bifilm oluşumu üzerine etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Sıvı durumda bekletme süresi arttıkça bifilm oluşumu azalmaktadır. Bekleyen sıvı metal içerisinde mevcut olan bifilm yoğunluk farkının az olmasından dolayı dibe çökmektedir.

2- Sıvı metalde azaltılan bifilm indeksi değeri silis boyutlarının daha kaba oluşması ile sonuçlanmaktadır.

3- Hem primer silisler hem de ötektik silisler büyüdükçe mekanik özellikler düşmektedir.

4- Sadece soğuma hızı göz önüne alındığında ötektik üstü alüminyum silisyum alaşımında sıcaklık gradyentinin mikroyapı üzerinde etkili olduğu ve buna bağlı mekanik özelliklerin de etkilendiği elde edilmiştir. Bu etkilenme için kritik değerin 15 mm kesit kalınlığı olduğuna rastlanılmış ve bu değerin üstünde ve altında mekanik özelliklerin düştüğü bulunmuştur.

REFERANSLAR

Abramov, V. O., O. V. Abramov, B. B. Straumal and W. Gust (1997). "Hypereutectic Al-Si based alloys with a thixotropic microstructure produced by ultrasonic treatment." *Materials & Design* **18**(4-6): 323-326.

Campbell, J. (2003). *Castings : [the new metallurgy of cast metals]*, Butterworth Heinemann.

Campbell, J. (2015). *Complete casting handbook: metal casting processes, metallurgy, techniques and design*, Butterworth-Heinemann.

- Chang, J., I. Moon and C. Choi (1998). "Refinement of Cast Microstructure of Hypereutectic Al-Si Alloys Through the Addition of Rare Earth Metals." Journal of Materials Science **33**(20): 5015-5023.
- Chang, J. Y., G. H. Kim, I. G. Moon and C. S. Choi (1998). "Rare earth concentration in the primary Si crystal in rare earth added Al-21wt.%Si alloy." Scripta Materialia **39**(3): 307-314.
- Chen, C., Z.-x. Liu, B. Ren, M.-x. Wang, Y.-g. Weng and Z.-y. Liu (2007). "Influences of complex modification of P and RE on microstructure and mechanical properties of hypereutectic Al-20Si alloy." Transactions of Nonferrous Metals Society of China **17**(2): 301-306.
- Dispınar, D., S. Akhtar, A. Nordmark, M. Di Sabatino and L. Arnberg (2010). "Degassing, hydrogen and porosity phenomena in A356." Materials Science and Engineering: A **527**(16-17): 3719-3725.
- Dispınar, D. and J. Campbell (2004). "Critical assessment of reduced pressure test. Part 1: Porosity phenomena." International Journal of Cast Metals Research **17**(5): 280-286.
- Dispınar, D. and J. Campbell (2004). "Critical assessment of reduced pressure test. Part 2: Quantification." International Journal of Cast Metals Research **17**(5): 287-294.
- Dispınar, D. and J. Campbell (2006). "Use of bifilm index as an assessment of liquid metal quality." International Journal of Cast Metals Research **19**(1): 5-17.
- Dispınar, D. and J. Campbell (2007). "Effect of casting conditions on aluminium metal quality." Journal of Materials Processing Technology **182**(1-3): 405-410.
- Dispınar, D. and J. Campbell (2011). "Porosity, hydrogen and bifilm content in Al alloy castings." Materials Science and Engineering: A **528**(10-11): 3860-3865.
- Flemings, M. C. (1974). "Solidification processing." Metallurgical Transactions **5**(10): 2121-2134.
- Gruzleski, J. E., B. M. Closset and A. F. s. Society (1990). The Treatment of Liquid Aluminum-silicon Alloys, American Foundrymen's Society, Incorporated.
- Gürsoy, Ö., E. Erzi, Ç. Yüksel and D. Dispınar (2016). Effect of Duration on Ti Grain Refinement of A356 and Melt Quality. Shape Casting: 6th International Symposium, Springer.
- Lasa, L. and J. M. Rodriguez-Ibabe (2003). "Wear behaviour of eutectic and hypereutectic Al-Si-Cu-Mg casting alloys tested against a composite brake pad." Materials Science and Engineering: A **363**(1-2): 193-202.
- Lu, D., Y. Jiang, G. Guan, R. Zhou, Z. Li and R. Zhou (2007). "Refinement of primary Si in hypereutectic Al-Si alloy by electromagnetic stirring." Journal of Materials Processing Technology **189**(1-3): 13-18.
- Lu, L. and A. K. Dahle (2006). "Effects of combined additions of Sr and AlTiB grain refiners in hypoeutectic Al-Si foundry alloys." Materials Science and Engineering: A **435-436**(0): 288-296.
- Matsuura, K., M. Kudoh, H. Kinoshita and H. Takahashi (2003). "Precipitation of Si particles in a super-rapidly solidified Al-Si hypereutectic alloy." Materials Chemistry and Physics **81**(2-3): 393-395.
- Miresmaeili, S. M., S. G. Shabestari and S. M. A. Boutorabi (2003). "The effect of Sr-modification treatment on porosity formation of reduced pressure 319 Al alloy castings." Canadian metallurgical quarterly **42**(2): 245-251.
- Mostafaie, M., M. Ghobadi, M. Uludağ and M. Tiryakioğlu (2016). "Evaluation of the Effects of Rotary Degassing Process Variables on the Quality of A357 Aluminum Alloy Castings." Metallurgical and Materials Transactions B **47**(6): 3469-3475.
- Radjai, A., K. Miwa and T. Nishio (1998). "An investigation of the effects caused by electromagnetic vibrations in a hypereutectic Al-Si alloy melt." Metallurgical and Materials Transactions A **29**(5): 1477-1484.
- Shabestari, S. G., S. M. Miresmaeili and S. M. A. Boutorabi (2003). "Effects of Sr-modification and melt cleanliness on melt hydrogen absorption of 319 aluminium alloy." Journal of materials science **38**(9): 1901-1907.
- Tiryakioğlu, M., J. Campbell and N. D. Alexopoulos (2009). "On the Ductility of Cast Al-7 Pct Si-Mg Alloys." Metallurgical and Materials Transactions a-Physical Metallurgy and Materials Science **40A**(4): 1000-1007.
- Uludağ, M., R. Çetin, D. Dispınar and M. Tiryakioğlu (2017). "Characterization of the Effect of Melt Treatments on Melt Quality in Al-7wt% Si-Mg Alloys." Metals **7**(5): 157.
- Xu, C. L. and Q. C. Jiang (2006). "Morphologies of primary silicon in hypereutectic Al-Si alloys with melt overheating temperature and cooling rate." Materials Science and Engineering A **437**: 451-455.



Plandaki Dolgu Duvar Yerleşiminin Bina Performansı Üzerindeki Etkisi

The Effects of Infill Walls Located in Plan on Buildings Performance

Osman AKYÜREK¹, Hamide TEKELİ^{2*}, Fuat DEMİR²

¹Florida Institute of Technology, Civil Engineering Department, Florida, UNITED STATES OF AMERICA

²Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 12/06/2017

Kabul/Accepted: 04/09/2017

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Öz

Dolgu duvarlar konut türü betonarme binalarda genellikle mimari amaçla mekânları bölmek için kullanılırlar. Bu çalışmada, dolgu duvarların binanın davranışına ve deprem performansına olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla farklı açıklık sayısına ve kat adedine sahip konut türü betonarme binalar model olarak seçilmiştir. Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak tasarlanan bu binaların deprem performansı doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Dolgu duvar miktarı ve yerleşimi değişiminin binanın kapasite eğrisi, birinci doğal periyodu, hedef yer değiştirme istemi, birinci kat kolonlarına ait hasar dağılımı, bina performans seviyesi üzerindeki etkileri seçilen binalar üzerinde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar dolgu duvar yerleşiminin, bina davranışını önemli derece etkilediğini göstermiştir. Bu nedenle binaların deprem performansını tanımlamada daha doğru sonuçlar elde edebilmek için çözümlenelerde dolgu duvarların dikkate alınması gerekmektedir. Burada dolgu duvarın özelliklerinin doğru bir şekilde tanımlanmasının önemini de vurgulamak gerekir.

Anahtar Kelimeler

“Dolgu duvar, performans seviyesi, betonarme bina”

Abstract

Masonry infill walls are generally used for the purpose of architectural design, which are placed for dividing the areas of residential reinforced concrete buildings. In this study, the effects of infill wall were investigated on structural behavior and seismic performance of reinforced concrete (RC) buildings. For this purpose, the residential RC buildings with different number of span in plan and story were selected as model. The seismic performances of buildings, which are with or without infill walls, were determined by using nonlinear static analysis method. The effects of changes in the amount and placement of the infill walls on capacity curve of building, the first fundamental period, target displacement, damage level of columns in the base floor, and building performance level were investigated in the selected buildings. The obtained results showed that placement of infill wall significantly affected building behavior. Therefore, replacement of infill wall should be taken into account in determining and evaluating the seismic performances of the buildings in order to obtain more accurate and realistic results. It is also important to note that the properties of infill walls should be accurately defined in structural analyses.

Key Words

“Infill wall, performance, reinforced concrete building”

1. GİRİŞ

Ülkemiz topraklarının büyük bir çoğunluğu birinci derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Bu nedenle yeni yapılacak binaların depreme güvenli olarak inşa edilmesi, mevcut olanların ise deprem güvenliğinin incelenerek bir an önce gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bunun için bina davranışına etki eden faktörlerin belirlenmesi önem taşımaktadır.

Dolgu duvarlar betonarme binayı bölümlere ayırmak için kullanılsa da binanın yatay yük taşıma kapasitesini, yatay ötelenme rijitliğini ve enerji tüketme kapasitesini önemli bir miktarda artırmaktadır (Kaltakçı ve Arslan, 2005; Karshoğlu, 2005; Özdoğu, 2006; Sivri vd., 2006; Peynirci, 2007; Mulgund ve Kulkarni, 2011; Akyürek, 2014; Aydın, 2015). Literatürde, yatay yüke maruz dolgu duvarlı çerçevelerin yapısal davranışları üzerine yapılmış çok sayıda çalışma mevcuttur. Örneğin, Kaltakçı ve Arslan (2005) yaptıkları çalışmada, dolgu duvarların betonarme çerçeve davranışına etkisini incelemişlerdir. Dolgu duvarlar çapraz çubuk eleman kullanılarak modellenmiştir. Betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan çözümlenmeleri yapılarak, mafsallaşma mekanizması ve zarf eğrileri elde edilmiştir. Dolgu duvarların, yapı davranış katsayısı ve sistem sünekliği üzerindeki etkisi ortaya konulmuştur.

Güney ve Boduroğlu (2006) tarafından yazılan programda “Durum Uzayı” yöntemiyle sayısal integrasyon yapılarak, yapı dinamik tepki karakteristikleri elde edilmiş, bulunan veriler karşılaştırılarak duvarların, yapıların dinamik ötelenme ve burulma tepkisine yaptığı katkılar gösterilmiştir.

Dolsek ve Fajfar (2008), dört katlı dolgu duvarlı betonarme bir çerçevenin deprem davranışını incelemiştir. Modeller dolgu duvarsız, boşluksuz dolgu duvarlı ve boşluklu dolgu duvarlı şeklinde oluşturulmuştur. Doğrusal olmayan yöntem kullanarak yapılan çözümlenmelerin sonuçları karşılaştırıldığında dolgu duvarların yapıda oluşan hasar dağılımını tamamen değiştirdiği gözlenmiştir.

Sevil vd. (2010), tek açıklıklı iki katlı betonarme çerçeveler üreterek düşey ve yatay yükler altında sıvanmamış ve sıvanmış boşluklu tuğla dolgu duvara sahip betonarme çerçeve deneyleri yapmışlardır. Çalışma kapsamında seçilen parametrelerin deney elemanlarının dayanım ve davranışlarına olan etkileri irdelenmiştir. Yapılan kuramsal çalışmaların sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Yakut vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada, dolgu duvarların bina deprem davranışı üzerindeki etkisi analitik olarak incelenmiştir. Ülkemizin farklı bölgelerinde bulunan yaklaşık 28 adet betonarme bina üç boyutlu olarak SAP 2000 programı ile modellenmiştir. Yapılan itme analizi sonucunda binaların kapasite eğrileri elde edilmiştir. Her iki ana doğrultuda yapılan analizlerde dolgu duvarlı ve duvarsız modeller kullanılmıştır. Dolgu duvarlar eşdeğer çapraz çubuk elemanları ile literatürdeki öneriler dikkate alınarak modellenmiştir. Analiz sonuçlarının karşılaştırılması ile bina taban kesme kuvveti, bina periyodu ve bina rijitliğindeki değişimler dolgu duvar alanına bağlı olarak irdelenmiştir.

Meral ve İnel (2016) tarafından yapılan çalışmada farklı beton dayanımı, donatı sınıfı ve yönetmelik parametrelerinin düşük ve orta yükseklikteki binaların yerdeğiştirme talepleri, bina periyodu gibi farklı yapısal parametreleri üzerindeki etkinliği incelenmiştir. Bunun yanında dolgu duvar katkısı, yumuşak kat ve kapalı çıkma düzensizlikleri de hesaplamalara dâhil edilmiştir.

Furtado vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, deprem bölgelerinde bulunan betonarme binalardaki hasarların büyük bölümünün dolgu duvarlardan kaynaklandığı, dolgu duvarların binanın deprem davranışını önemli derecede etkilediği ve binada farklı göçme mekanizmalarına sebep olduğu vurgulanmaktadır. Bu nedenle çalışmada düzlem içi ve düzlem dışı dolgu duvar hasarlarının gözlemlenmesi için deneysel bir çalışma yapılmıştır.

Morfidis ve Kostinakis (2017) tarafından yapılan çalışmada, dolgu duvarların üç boyutlu betonarme binaların deprem davranışı ve hasar dağılımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla farklı yükseklikte, farklı yapısal sistemde ve farklı dolgu duvar yerleşimine sahip 54 adet üç boyutlu yapısal model oluşturulmuştur. Bu binalar farklı açılarda uygulanan ivme kayıtları kullanılarak lineer olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi ile çözümlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, dolgu duvarlı binalardaki deprem hasarının boş çerçeveye göre daha az miktarda olduğunu göstermiştir.

Cavaleri vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, betonarme bir okul binasına ait dolgu duvarlar, eşdeğer basınç çubuğu modeli kullanılarak modellenmiştir. Çalışmada, kolonlarda meydana gelen ilave kesme kuvveti eksenel yükün bir oranı olarak ifade edilmiş, dolgu duvarların oluşturduğu kolon elemanlardaki ilave kesme kuvveti talebinin belirlenmesi için yeni bir modelleme ve işlem prosedürü önerilmiştir.

Piyasada kullanılan mevcut paket programlar, dolgu duvarların yapısal davranış üzerindeki etkisini genellikle ihmal ederek sadece düşey yük olarak dikkate almaktadır. Dolgu duvarın sağladığı rijitlik artışının hesaplarda dikkate alınmaması, güvenli tarafta kalındığını düşündürse de bazı durumlarda olumsuzluklara da neden olabilmektedir. Örneğin, alt katı dükkan üst katları konut olarak tasarlanan çoğu binada dolgu duvarların ortadan kaldırılması, katın kesme kuvveti kapasitesini azaltarak zayıf kat oluşumuna sebep olmaktadır. Aynı zamanda taşıyıcı sistemi simetrik olan binalarda, dolgu duvar yerleşimlerinin simetrik olmaması durumu yapı üzerindeki rijitlik dağılımını değiştirerek ilave burulma etkilerinin ortaya çıkmasına da neden olabilmektedir. Dolayısıyla, yapısal çözümlenmelerde dolgu duvarların yapı sistemine olan olumlu ya da olumsuz etkilerinin dikkate

alınması, gerçek davranışın model üzerine yansıtılabilmesi için oldukça önemlidir. Bu konuda Kaymak ve Tuna (2011) tarafından yapılan çalışmada, dolgu duvarların yatay yük altındaki çelik çerçevenin davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İki katlı iki açıklıklı düzlem çelik çerçevenin, dolgu duvarlı, dolgu duvarsız ve bant pencereci olmak üzere çözümlenmeleri yapılmıştır. Dolgu duvarlar sistemde simetrik ve asimetrik olarak yerleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan dolgu duvarların çerçeve sistem üzerindeki göçme yükü, enerji tüketimi, süneklik, yatay yerdeğiştirme ve göçme yükündeki taban kesme kuvvetleri gibi parametreler üzerindeki etkinliği incelenmiştir.

Karasu vd. (2011) yaptıkları çalışmada, yumuşak kat düzensizliğinin bina performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu amaçla betonarme binalar, dolgu duvarsız, ikinci ve üçüncü katları dolgu duvarlı ve tüm katları dolgu duvarlı olarak tasarlanmıştır. Yapıların, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007)'de yer alan eşdeğer deprem yükü yöntemi ve artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak performans analizleri yapılmış ve elde edilen performans sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, dolgu duvarların bina performansını önemli ölçüde arttırdığı ortaya konulmuştur.

Akyürek vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, bina planındaki dolgu duvar yerleşimlerinin simetrik olması ve olmaması durumunun ve dolgu duvar miktarı değişiminin binanın davranışına ve deprem performansına olan etkisi incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda özellikle taşıyıcı sistemi düzenli ancak dolgu duvar yerleşimi düzensiz olan binalarda kritik çözümü elde edebilmek için dolgu duvarların hesaplara dahil edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Aksoy ve Avşar (2015) yaptıkları çalışmada, dolgu duvarların betonarme çerçeve davranışı üzerindeki etkisinin bir katsayı ile dikkate alınması için basitleştirilmiş bir yöntem önermiş ve yöntemin uygulanma kriterlerini irdelenmişlerdir. Kentsel Dönüşüm Yasası kapsamında uygulanan Riskli Binaların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar (RBTEİE) kısmında bu etkinin göz önüne alınması için verilen benzer bir önerinin kullanımının uygun olup olmadığı araştırılmıştır. Dolgu duvarın planda simetrik olmayan yerleşimi nedeni ile yapıda burulmaya neden olması durumunda bazı kolonlarda daha büyük kesme kuvveti talepleri oluşturduğu görülmüştür.

Literatürde, dolgu duvarların yapısal davranış üzerindeki etkisinin incelenmesi konusunda yapılmış çok sayıda çalışma mevcuttur. Yıllardır yapılan yoğun çalışmalara rağmen dolgu duvarlar hala, yapısal davranışın çözümlenmesinde, tasarımının karışıklığı ve uygun bir teorisinin geliştirilememesinden dolayı ayrı elemanlar olarak göz önüne alınmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, dolgu duvarların bina davranışına olan etkilerinin genellikle doğrusal elastik çözümlenmelerle ortaya konulduğu görülmektedir. Son yıllarda bu davranışın doğrusal olmayan çözümlenmelerle de ortaya konulmasına odaklanılmıştır. Literatürdeki çalışmalarda genellikle düzenli ve/veya dolgu duvar nedeniyle düşeyde düzensizliği bulunan binaların deprem güvenliği incelenmiştir. Plandaki dolgu duvar düzensizliğinin bina deprem performansı üzerindeki etkisi ile ilgili yapılan çalışma sayısı ise oldukça az sayıdadır. Bu nedenle çalışma kapsamında, bina planındaki dolgu duvar miktarı ve yerleşiminin simetrik olması/ olmaması durumlarının binanın davranışına ve güvenliğine olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla planda farklı açıklık sayısına ve kat adedine sahip taşıyıcı sistemi simetrik olan konut türü betonarme binalar seçilmiştir. Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak tasarlanan bu binaların deprem performansı doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Tüm oluşturulan model binalara ait performans seviyesi belirlenmiş ve dolgu duvar miktar ve yerleşimi parametrelerinin bina deprem performansı üzerindeki etkinliği tartışılmıştır.

2. BİNALARIN DEPREM GÜVENLİĞİ

Deprem bölgelerinde bulunan mevcut ve güçlendirilmiş tüm binaların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesinde uygulanması gereken hesap kuralları Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007)'de doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemler olarak tanımlanmıştır. Doğrusal elastik yöntem kuvvet esaslı iken, doğrusal elastik olmayan yöntem şekil değiştirme esaslıdır. Çalışma kapsamında yapılan çözümlenmelerde doğrusal elastik olmayan yöntem (Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi İle İtme Analizi) kullanılmıştır. Yapılan tüm çözümlenmelerde binaya ait bilgi düzeyi kapsamlı olarak dikkate alınmıştır. Taşıyıcı elemanlara ait çatlamış kesit rijitliği hesabında giriş elemanlar için Denklem (1), kolon elemanlar için ise Denklem (2) kullanılmıştır. Burada N_D , çatlamamış kesit kullanılarak $(g+nq)$ yüklemesinden elde edilen eksenel yüke; $(EI)_e$, çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliğine; $(EI)_o$, çatlamamış kesite ait etkin eğilme rijitliğine; A_c , kolon kesit alanına; f_{cm} , mevcut beton basınç dayanımına karşılık gelmektedir.

$$(EI)_e = 0.40 (EI)_o$$

(1)

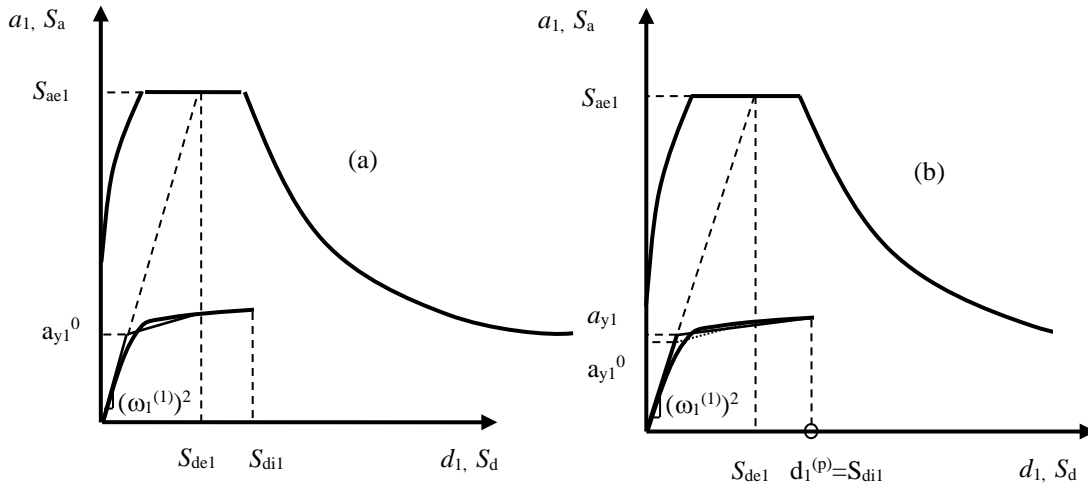
$$(EI)_e = 0.40 (EI)_o \quad (N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10 \text{ olması durumunda}) \quad (2)$$

$$(EI)_e = 0.80 (EI)_o \quad (N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40 \text{ olması durumunda})$$

Bina için doğrusal olmayan çözümlenmelerin yapılabilmesi için öncelikle kesite ait plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Plastik mafsallık tanımlamalarında Betonarme Elemanlarda Sargı ve Modelleme (BESAM, 2013; Demir vd., 2013) programından yararlanılmıştır. Yığılı plastik davranış modelinde, çubuk eleman olarak idealleştirilen giriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılmaktadır. Yapılan çözümlenmelerde plastik mafsallık boyu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınmıştır ($L_p = 0.5 h$). Kesite ait

plastik mafsalların tanımlanmasında kesitin moment-dönme ilişkisinden, moment-dönme ilişkisinin elde edilmesinde ise moment-eğrilik ilişkisinden yararlanılmıştır. Eleman kesitlerine ait plastik mafsal özellikleri belirlenen binaların, önce düşey yükler altında sonrada yatay yükler altında doğrusal olmayan statik analizleri yapılmıştır.

Yapılan itme analizi ile koordinatları “taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi” olan kapasite eğrisi çizilir. Kapasite eğrisinin koordinatları “modal yerdeğiştirme – modal ivme” koordinatlarına dönüştürülerek modal kapasite eğrisi elde edilir. Binaya ait modal kapasite eğrisi ile S_a - S_d formatına dönüştürülmüş spektrum eğrisi aynı grafik üzerinde çizilir. Öncelikle Şekil 1’de tanımlandığı gibi doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme (S_{de1}), bu değerden yararlanarak ise doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme (S_{dp1}) değerleri belirlenir. Elde edilen S_{dp1} değeri ve DBYBHY’te tanımlanan bağıntılar kullanılarak binaya ait hedef yerdeğiştirme istemi hesaplanır. Bina, yatay kuvvet etkisi altında hedef yerdeğiştirme istem seviyesine kadar itilir. Binanın bu ötelenme seviyesindeki taşıyıcı elemanlarına ait beton ve donatı şekil değiştirme değeri hesaplanır.



Şekil 1. Doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme

Elemanın hasar seviyesine, hesaplanan beton ve donatı şekildeğiştirme değeri, DBYBHY (2007)’de tanımlanan ve Denklem (3), (4) ve (5) ile verilen sınır şekildeğiştirme değeriyle karşılaştırılması ile karar verilir. Bu denklemlerde verilen değeri sırasıyla, beton ve donatı çeliği birim şekildeğiştirmesinin (ϵ_c , ϵ_s) üst sınırlarını temsil etmektedir. Burada ρ_s kesitte mevcut olan, ρ_{sm} ise kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranını göstermektedir.

Minimum Hasar Sınırı (MN)

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 ; (\epsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (3)$$

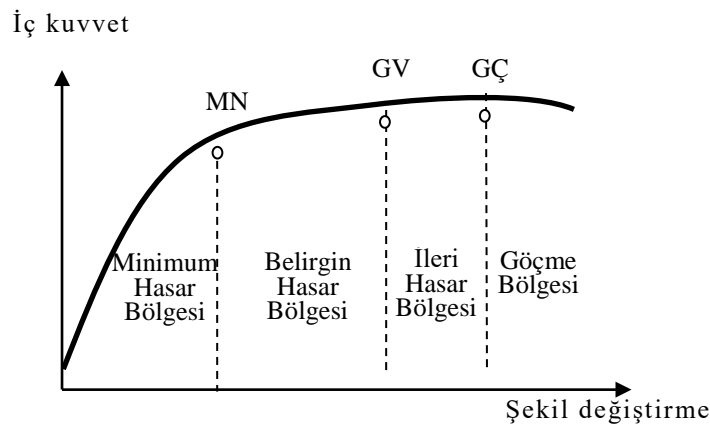
Güvenlik Hasar Sınırı (GV)

$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 ; (\epsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (4)$$

Göçme Hasar Sınırı (GÇ)

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 ; (\epsilon_s)_{GC} = 0.060 \quad (5)$$

Kritik kesitlerin hasarı MN’ye ulaşmayan elemanlar için Minimum Hasar Bölgesi’nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar için Belirgin Hasar Bölgesi’nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar için İleri Hasar Bölgesi’nde, GÇ’yi aşan elemanlar için ise Göçme Bölgesi’nde yer alırlar (Şekil 2).



Şekil 2. Eleman hasarının belirlenmesi

Bina performans seviyesi DBYBHY (2007)'de, Hemen Kullanım (HK), Can Güvenliği (CG), Göçme Öncesi (GÖ) ve Göçme Durumu (GD) olmak üzere dört farklı seviyede tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında konut türü binalar incelendiği için çözümlenelerde 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremi için "Can Güvenliği" performans seviyesi hedef performans olarak dikkate alınmıştır. DBYBHY 2007'ye göre, bu performans seviyesi için aşağıdaki koşulların sağlanması gerekir.

“...

(a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) girişler hariç olmak üzere, girişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki (b) paragrafında tanımlanan kadari İleri Hasar Bölgesine geçebilir.

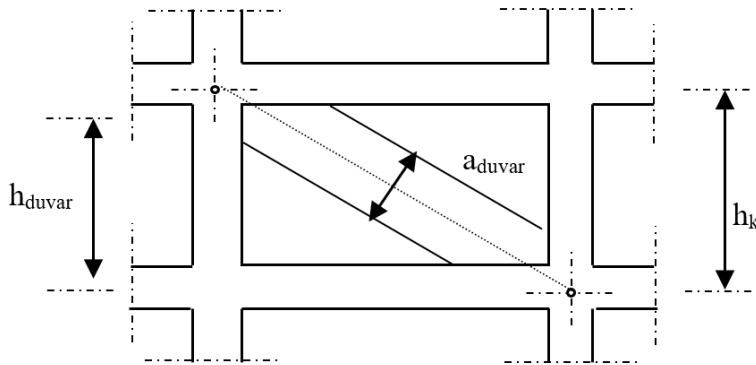
(b) İleri Hasar Bölgesindeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.

(c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesindedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden Denk.(3.3)'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler)..."

Bu performans seviyesinin sağlanıp sağlanmadığının kontrolü Doğrusal **E**lastik **O**lmayan Değerlendirme **P**rogramı (DELOP) yardımıyla yapılmıştır.

3. DOLGU DUVARLARIN MODELLENMESİ

Dolgu duvarların, DBYBHY (2007)'de diyagonal basınç çubuklarıyla modellenmesi önerilmektedir (Şekil 3). Bu yöntem dolgu duvarların tam dolu olması durumunu yansıtmaktadır.



Şekil 3. Dolgu duvarın sanal basınç çubuğu olarak modellenmesi

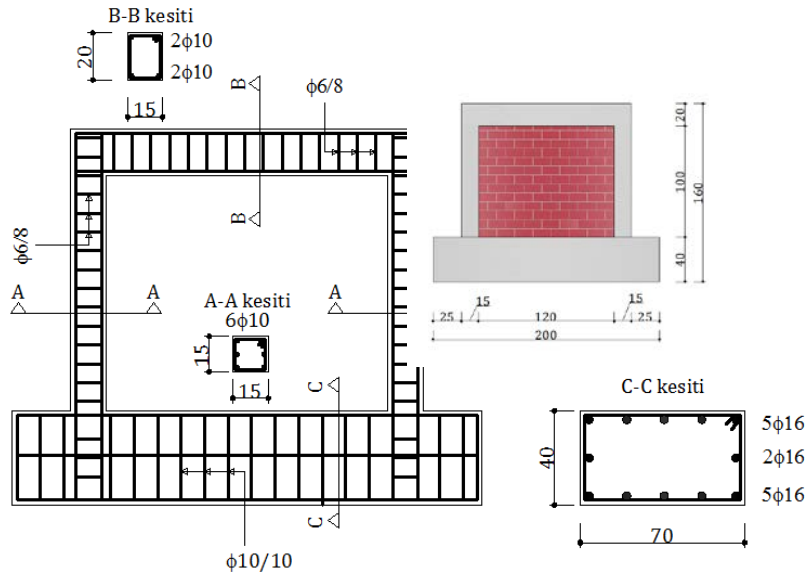
Dolgu duvarların modellemesinde kullanılacak eşdeğer sanal basınç çubuğunun kalınlığı (a_{duvar}), DBYBHY (2007)'de ve FEMA 306 (1998)'de tanımlandığı şekilde Denklem (6)'daki gibi hesaplanır.

$$a_{duvar} = 0.175(\lambda_{duvar} h_k)^{-0.4} r_{duvar} \quad (6)$$

$$\lambda_{duvar} = \left[\frac{E_{duvar} t_{duvar} \sin 2\theta}{4E_c I_k h_{duvar}} \right]^{1/4} \quad (7)$$

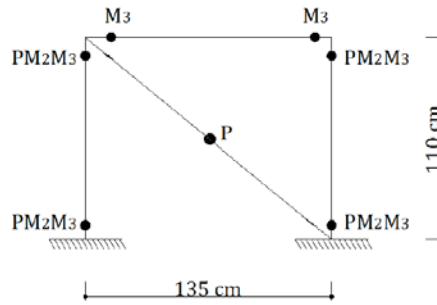
Burada h_k , çerçevenin yüksekliğini; E_{duvar} , duvarın elastisite modülünü; t_{duvar} , dolgu duvarın kalınlığını; θ , diyagonal çubuğunun açısını; r_{duvar} , dolgu duvarın köşegen uzunluğu; h_{duvar} , dolgu duvarın yüksekliğini; I_k , kolonun atalet momentini ifade etmektedir.

Doğrusal olmayan çözümlenelerde kullanılmak üzere dolgu duvar diyagonalı üzerinde tanımlanacak aksenal yük mafsallık özelliklerinin geçerliliğini incelemek üzere literatürde bulunan (Koca vd., 2013) tek katlı, tek açıklıklı, 1/3 ölçekli hem dolgu duvarsız hem de tam dolu dolgu duvarlı betonarme çerçeve deney sonuçlarından yararlanılmıştır. Betonarme çerçeve boyut ve kesit özelliklerine ait görünüm Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Üretilen numuneye ait donatı şeması (Koca vd., 2013)

Deney çerçevesi SAP 2000 (SAP 2000, 2011) çözümleme programı yardımıyla modellenmiştir. Çerçeve modelinde kolon elemanlara PM₂M₃, kiriş elemanlara ise M₃ mafsalı atanmıştır. Dolgu duvar ise basınç çubuğu olarak modellenmiş ve üzerine P aksenal yük mafsalı atanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Deney çerçevesinin SAP 2000 (SAP 2000, 2011) modeli

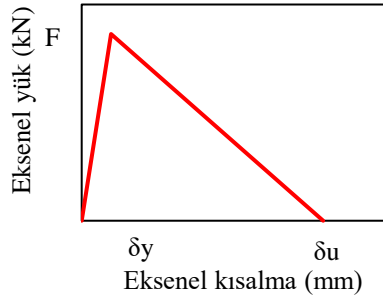
Dolgu duvara atanacak aksenal yük mafsalliklerinin tanımlanmasında dolgu duvarın basınç etkisindeki değerleri kullanılmıştır. Diyagonal çubuğun üstündeki yükün, akma sınırına kadar lineer olarak arttığı, akma sınırından sonra da lineer olarak azaldığı kabul edilmiştir (Şekil 6). Yapılan çalışmada deney numuneleri sıvanmış olduğu için mafsallik modelinin tanımlanmasında sıvanmış dolgu duvar özellikleri üzerinden işlem yapılmıştır. Dolguyu temsil eden eşdeğer basınç çubuğunun aksenal yük taşıma kapasitesi (F), Denklem (8); eşdeğer basınç çubuğunun rijitliği (k_d), Denklem (9); eşdeğer basınç çubuğunun akma birim kısalması (δ_y), Denklem (10); sınır birim kısalması (δ_u), ise sıvanmış dolgu duvar için Denklem (11) ile hesaplanmıştır (Sevil vd., 2010). Çözümlenelerde sıvalı dolgu duvarın kalınlığı (t_{duvar}) deney numunesine uygun olarak 120 mm, dolgu duvara ait basınç dayanımı (f_{duvar}) 5 MPa, dolgu duvara ait elastisite modülü (E_{duvar}) ise DBYBHY (2007)'ye göre 1000 MPa olarak alınmıştır.

$$F = F_{cc} = f_{duvar} \times t_{duvar} \times a_{duvar} \quad (8)$$

$$k_d = \frac{a_{duvar} \times E_{duvar} \times t_{duvar}}{r_{duvar}} \quad (9)$$

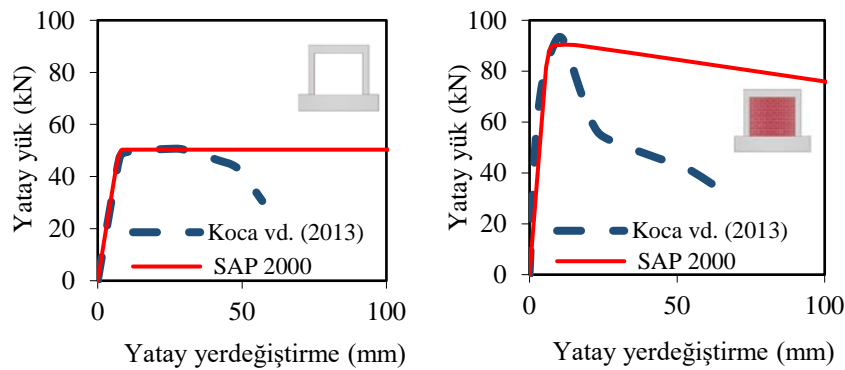
$$\delta_y = \frac{F}{k_d} \quad (10)$$

$$\delta_u = 0.020 \times r_{duvar} \text{ (sıvanmış tuğla dolgu duvar)} \quad (11)$$



Şekil 6. Deneysel çerçevesinde tanımlanan dolgu duvar aksel yük mafsalının özellikleri (Sevil vd. 2010)

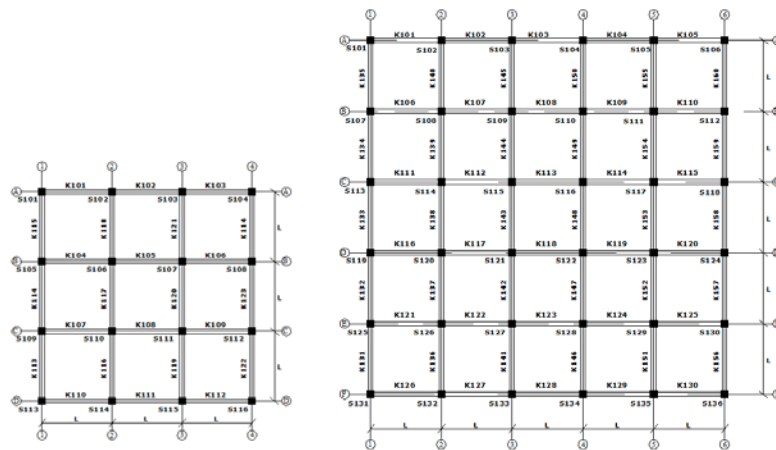
SAP 2000 (SAP 2000, 2011) programında dolgu duvarsız ve tam dolu dolgu duvarlı olarak modellenen deney çerçevelerinin doğrusal olmayan statik analizleri yapılmıştır. Çözümlenmelerden elde edilen kapasite eğrileri, deney sonuçlarından elde edilen zarf eğrileri ile kıyaslanmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Dolgu duvarsız ve duvarlı modellerin SAP 2000 (SAP 2000, 2011) sonuçlarının deney sonuçları ile kıyaslanması

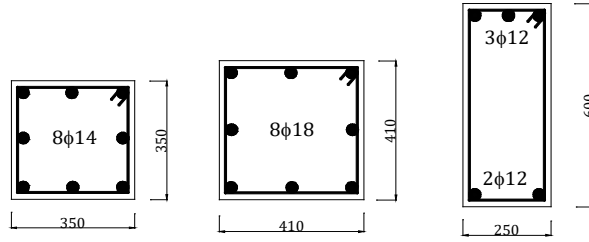
4. MODEL BİNALARIN TANITILMASI

Çalışma kapsamında yapılan çözümlenmelerde kullanılan model binaların açıklık sayıları 3×3 ve 5×5, kat adetleri ise 3 ve 5 olarak seçilmiştir. Çözümlenmeler için toplamda dört farklı bina grubu oluşturulmuştur. Modellere ait kalıp planları Şekil 8’de verilmiştir. Model binaların açıklık mesafeleri 4 m, kat yükseklikleri ise 3 m olarak seçilmiştir. Her bir kat seviyesinde rijit diyafram etkisi dikkate alınmıştır.



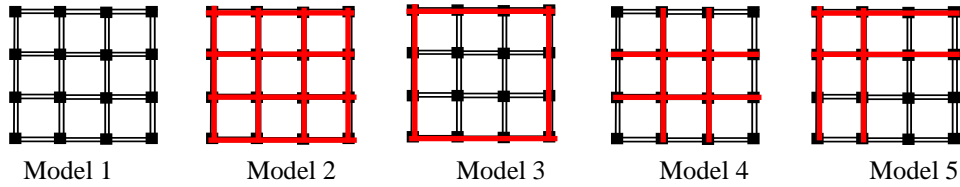
Şekil 8. Seçilen model binalara ait kalıp planı (Demir vd., 2013; Akyürek, 2014)

Model binaların beton sınıfı C20, donatı sınıfı S420, sargı donatısı Ø8/100 mm olarak dikkate alınmıştır. Üç katlı bina modeline ait kolon boyutları 350mm×350mm, beş katlı bina modeline ait kolon boyutları 410mm×410mm, tüm bina modellerine ait kiriş boyutları ise 250mm×600mm olarak seçilmiştir. Eleman boyutları tüm katlarda aynı olacak şekilde dikkate alınmıştır. Kolon elemanlara ait donatı oranı %1-1.2 arasında seçilmiştir. Kolon ve kiriş elemanlara ait donatı yerleşimlerinin detayları Şekil 9’da verilmiştir.

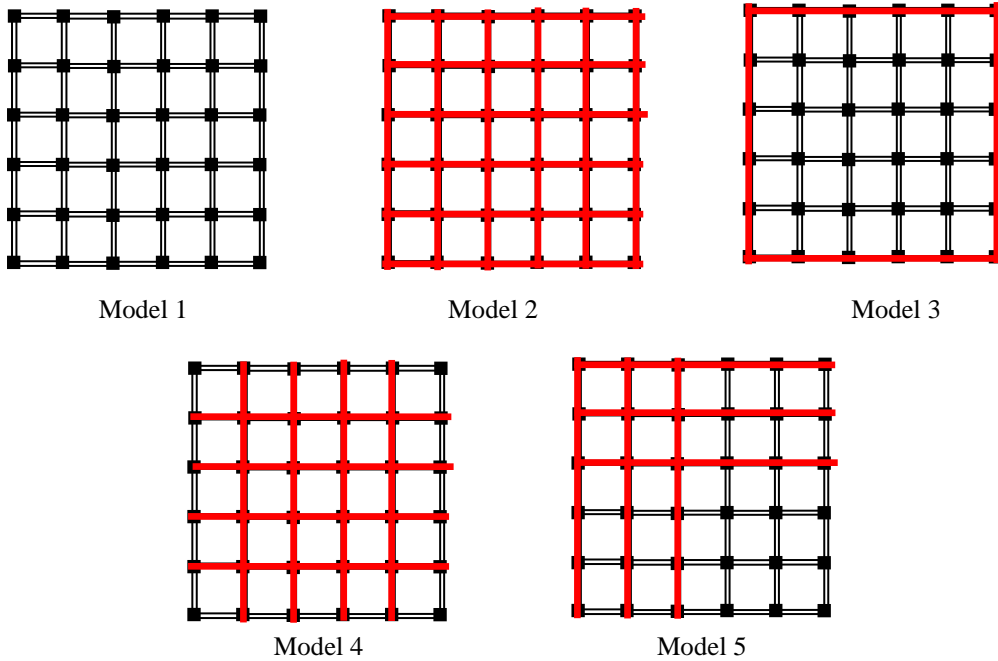


Şekil 9. Kolon ve kiriş elemanlara ait kesit özellikleri ve donatı yerleşimi

Her bir bina grubuna ait modeller dolgu duvarsız ve planda dört farklı dolgu duvar yerleşimine göre çözümlenmiştir. Farklı dolgu duvar yerleşimlerine ait görünüm 3×3 açıklık sayısına ait model binalar için Şekil 10'da, 5×5 açıklık sayısına ait model binalar için Şekil 11'de verilmiştir. Model 1 dolgu duvarsız, Model 2 tüm açıklıklarda, Model 3 sadece dış akslarda, Model 4 sadece iç akslarda dolgu duvarın tanımlandığı modellere karşılık gelmektedir. Model 2, Model 3 ve Model 4'te verilen dolgu duvar yerleşimleri simetrik. Model 5'te ise simetrik olmayan düzensiz bir dolgu duvar yerleşimi öngörülmüştür. Model binalardan elde edilen sonuçlar ile hem dolgu duvar yerleşiminin hem de dolgu duvar miktarının davranışa ve incelenen parametrelere etkisinin yorumlanması amaçlanmıştır. Çözümlenmelerde dolgu duvarın kalınlığı (t_{duvar}) 210 mm, dolgu duvara ait basınç dayanımı (f_{duvar}) 5 MPa, duvara ait elastisite modülü (E_{duvar}) ise DBYBHY (2007)'ye uygun olarak 1000 MPa alınmıştır.



Şekil 10. 3×3 açıklık sayısına ait model binalar için dolgu duvar yerleşimi

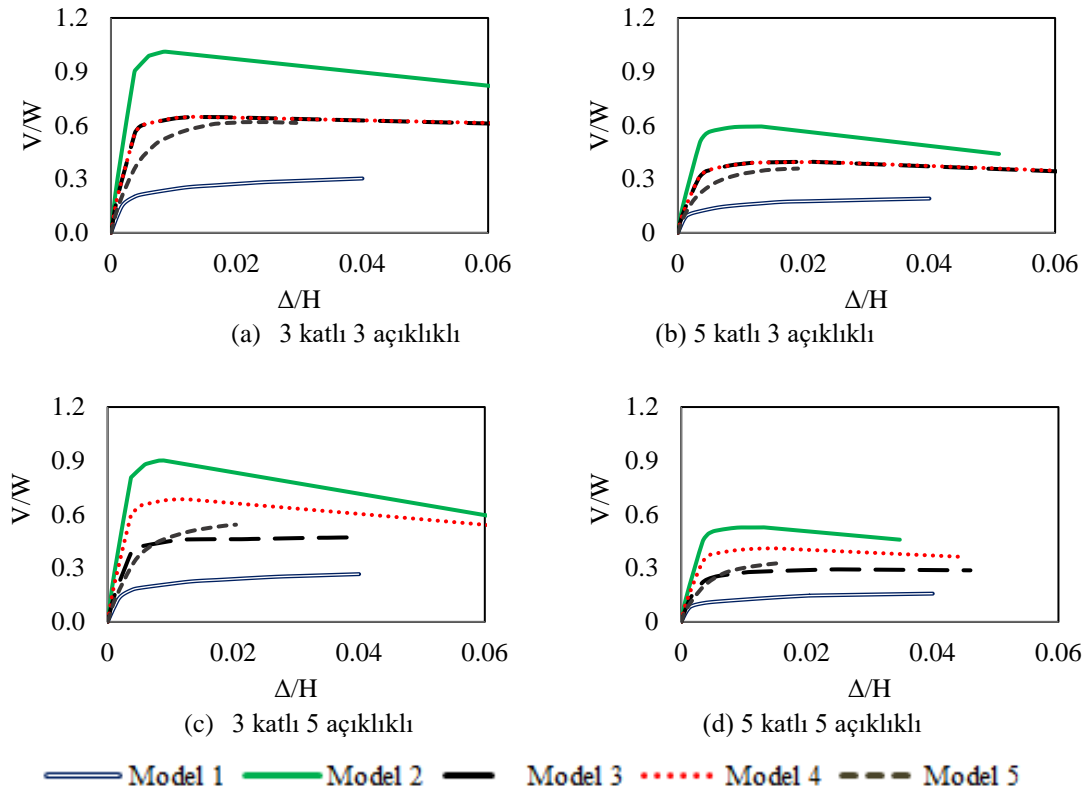


Şekil 11. 5×5 açıklık sayısına ait model binalar için dolgu duvar yerleşimi

Oluşturulan model binaların doğrusal elastik olmayan yöntem kullanılarak performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Binaların bilgi düzeyi, kapsamlı olarak dikkate alınmıştır. Kiriş elemanlara M_3 , kolon elemanlara PM_2M_3 , dolgu duvara ise P eksenel yük plastik mafsalı atanmıştır. Deney çerçevesinin çözümlenmesinde takip edilen hesap adımları model binalarda aynen uygulanmıştır.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Model binaların performans değerlendirmesinin yapılabilmesi için öncelikle plastik mafsallar kesitlere tanımlanmış ve binanın yatay yük altında itme analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda model binalara ait elde edilen boyutsuzlaştırılmış kapasite eğrileri Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. Model binalara ait boyutsuzlaştırılmış kapasite eğrilerinin kıyaslanması

Şekil 12’de dolgu duvarlı binaların kesme kuvveti kapasitelerinin dolgu duvarsız binaya göre önemli derecede artış gösterdiği görülmektedir. Binaların birinci moda ait periyodları (T_1), hedef yerdeğiştirme istem değerlerinin bina yüksekliğine oranı ($\Delta_{\text{hedef}}/H_{\text{bina}}$), duvar alanının kat alanına oranı ($A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$), hedef yerdeğiştirme istem seviyesinde binanın taşıyabildiği kesme kuvvetinin bina ağırlığına oranı ($V_{\text{hedef}}/W_{\text{bina}}$) Çizelge 1’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan üç açıklığa sahip Model 3 ve Model 4 binalarının çözümlene sonuçlarının birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bunun nedeni her iki binanın, planda simetrik ve aynı miktarda dolgu duvar alanına ($A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$) sahip olmalarıdır. Aynı miktarda dolgu duvar alanına sahip olan fakat plandaki dolgu duvar yerleşimi simetrik olmayan model binada ise (Model 5), dolgu duvarın yapısal davranışa katkısının bir miktar azaldığı dikkati çekmektedir.

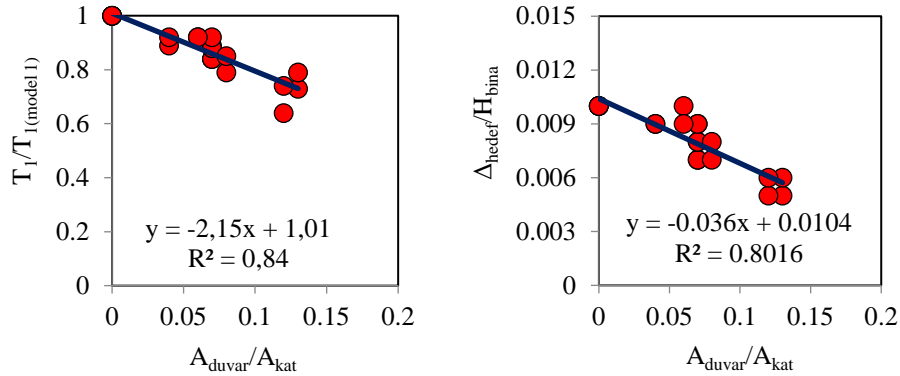
Çizelge 1. Model binaların yapısal özellikleri

	Kat adedi	Açıklık adedi	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
T_1 (sn)			0.37	0.27	0.31	0.31	0.33
$T_1/T_{1(\text{Model1})}$			1.00	0.73	0.84	0.84	0.89
$\Delta_{\text{hedef}}/H_{\text{bina}}$	3	3×3	0.010	0.005	0.007	0.007	0.009
$A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$			0.00	0.13	0.07	0.07	0.07
$V_{\text{hedef}}/W_{\text{bina}}$			0.25	0.99	0.63	0.64	0.60
T_1 (sn)			0.38	0.28	0.34	0.30	0.35
$T_1/T_{1(\text{Model1})}$			1.00	0.74	0.89	0.79	0.92
$\Delta_{\text{hedef}}/H_{\text{bina}}$	3	5×5	0.010	0.005	0.009	0.007	0.010
$A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$			0.00	0.12	0.04	0.08	0.06
$V_{\text{hedef}}/W_{\text{bina}}$			0.23	0.90	0.46	0.67	0.50

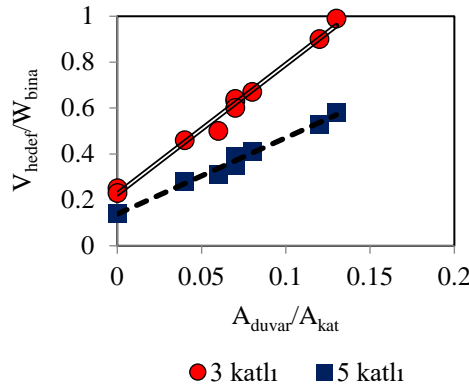
Çizelge 1(devam). Model binaların yapısal özellikleri

	Kat adedi	Açıklık adedi	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
T_1 (sn)			0.52	0.41	0.46	0.46	0.48
$T_1/T_{1(\text{Model1})}$			1.00	0.79	0.88	0.88	0.92
$\Delta_{\text{hedef}}/H_{\text{bina}}$	5	3×3	0.010	0.006	0.008	0.008	0.009
$A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$			0.00	0.13	0.07	0.07	0.07
$V_{\text{hedef}}/W_{\text{bina}}$			0.14	0.58	0.38	0.39	0.35
T_1 (sn)			0.53	0.34	0.49	0.45	0.49
$T_1/T_{1(\text{Model1})}$			1.00	0.64	0.92	0.85	0.92
$\Delta_{\text{hedef}}/H_{\text{bina}}$	5	5×5	0.010	0.006	0.009	0.008	0.009
$A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$			0.00	0.12	0.04	0.08	0.06
$V_{\text{hedef}}/W_{\text{bina}}$			0.14	0.53	0.28	0.41	0.31

Dolgu duvarlı model binaların (Model 2-5) doğal periyod değerleri, dolgu duvarsız model binanın (Model 1) değerlerine oranlanarak Şekil 13'te grafik olarak verilmiştir. Hedef yerdeğiştirme isteminin bina yüksekliğine oranı ($\Delta_{\text{hedef}}/H_{\text{bina}}$) ile dolgu duvar alanının kat alanına oranı ($A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$) arasındaki ilişki grafiği de aynı şekilde tanımlanmıştır.

Şekil 13. Model binalardaki $A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$ ile $T_1/T_{1(\text{Model1})}$ ve $\Delta_{\text{hedef}}/H_{\text{bina}}$ oranları arasındaki ilişki

Elde edilen sonuçlardan dolgu duvar alanı arttıkça bina doğal periyodunun ve hedef yerdeğiştirme isteminin azaldığı görülmektedir. Bu değerler $A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$ ile orantılı olarak değişmektedir. Kat adedine bağlı olarak tanımlanan $V_{\text{hedef}}/W_{\text{bina}}$ değerleri ile $A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$ arasındaki ilişki Şekil 14'te grafik olarak verilmiştir. Dolgu duvar alanının artması ile binaya ait $V_{\text{hedef}}/W_{\text{bina}}$ oranında doğrusala yakın artış gözlenmiştir.

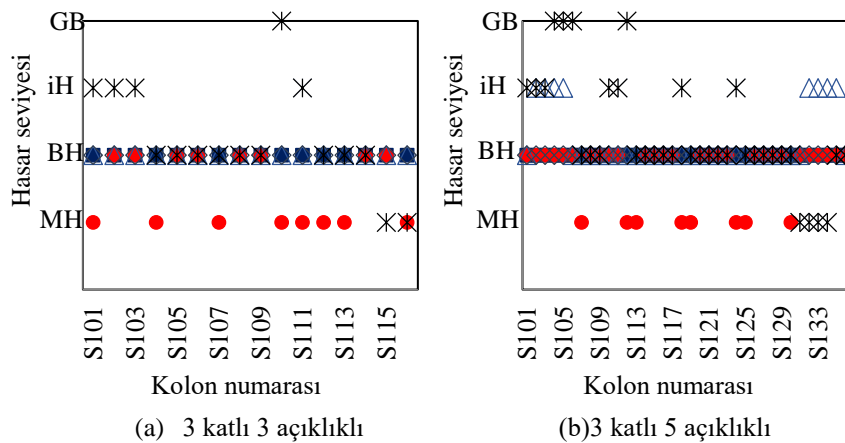
Şekil 14. Model binalardaki $A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$ ile $V_{\text{hedef}}/W_{\text{bina}}$ arasındaki ilişki

Model binaların birinci kat kolonlarının hasar dağılımları ve bina performans seviyeleri Çizelge 2'de verilmiştir.

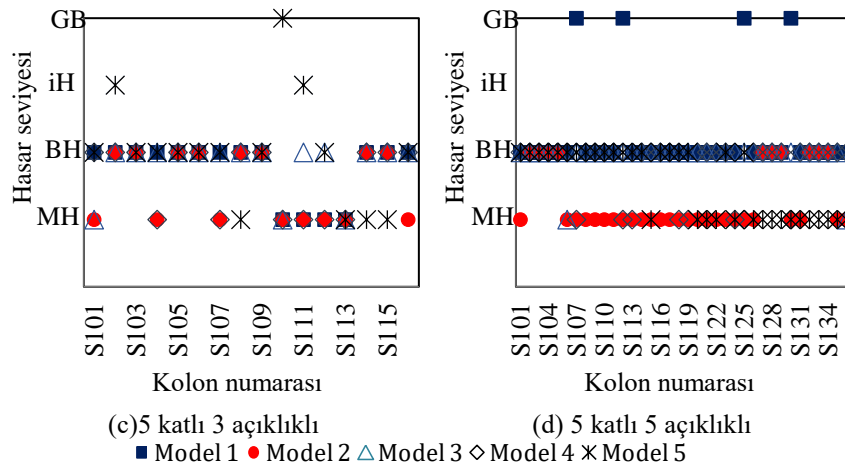
Çizelge2. Birinci kat kolonlarına ait hasar dağılımları ve bina performans seviyesi

Kat adedi	Açıklık sayısı	Model no	MH	BH	İH	GB	Preformans seviyesi
3	3×3	Model 1	0	100	0	0	CG
		Model 2	50	50	0	0	CG
		Model 3	0	100	0	0	CG
		Model 4	0	100	0	0	CG
		Model 5	13	56	25	6	GD
3	5×5	Model 1	0	100	0	0	CG
		Model 2	19	81	0	0	CG
		Model 3	0	75	25	0	GÖ
		Model 4	0	100	0	0	CG
		Model 5	0	44	31	25	GD
5	3×3	Model 1	25	75	0	0	CG
		Model 2	50	50	0	0	CG
		Model 3	19	81	0	0	CG
		Model 4	38	62	0	0	CG
		Model 5	25	56	13	6	GD
5	3×3	Model 1	0	88	0	13	GD
		Model 2	75	25	0	0	CG
		Model 3	6	94	0	0	CG
		Model 4	19	81	0	0	CG
		Model 5	6	94	0	0	CG

Elde edilen sonuçlar genel olarak incelendiğinde sisteme dolgu duvar ilave edilmesi ile elemanlarda meydana gelen hasar seviyesinin azaldığı görülmüştür. Ancak simetrik olmayan yerleşime sahip Model 5 binasında kolon elemanlarda rijitlik değişimine bağlı olarak ortaya çıkan hasar seviyeleri bazı kolonlarda artarken bazı kolonlarda azalmaktadır. Birinci kat kolonlarının tamamının üst ucunda MH seviyesi elde edilmiştir. Bu nedenle kolonun kritik hasarını kolon alt ucu belirlemiştir. Alt uçlarına ait elde edilen hasar seviyeleri ise farklı bina grupları için Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 15. Model binaların birinci kat kolonlarının alt ucuna ait hasar seviyeleri



Şekil 15(devam). Model binaların birinci kat kolonlarının alt ucuna ait hasar seviyeleri

Model binaların performans seviyesi sonuçları genel olarak incelendiğinde dolgu duvarsız çerçevenin CG performans seviyesini sağladığı gözlenmiştir. Planda simetrik yerleşimli dolgu duvarlara sahip binalarda performans seviyesi yine CG olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolgu duvarların dikkate alınmasının kolon elemanlarda ortaya çıkan hasar seviyesini azaltmasına rağmen, performans seviyesinde herhangi bir değişim görülmemiştir. Ancak, düzensiz şekilde dolgu duvar yerleşimine sahip Model 5 binasının performans seviyesi genelde GD olarak karşımıza çıkmaktadır. Planda düzensiz olarak yerleştirilen dolgu duvarların bulunduğu model binalarda rijitlik dağılımının değişmesiyle elemanlardaki kesme kuvveti dağılımı da değişmektedir. Bir taraftaki elemanlarda hasar seviyesi azalırken diğer tarafta artmaktadır. Performans seviyesinin GD çıkmasının nedeni bir ile dört adet arasında değişen elemanda GB hasar seviyesinin görülmesidir.

6. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında, bina planındaki dolgu duvar miktarı ve yerleşiminin simetrik olması/ olmaması durumlarının binanın davranışına ve güvenliğine olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla planda farklı açıklık sayısına ve kat adedine sahip taşıyıcı sistemi simetrik olan konut türü betonarme binalar seçilmiştir. Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak tasarlanan bu binaların deprem performansı doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemi (Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle İtme Analizi) kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Betonarme binada mimari amaçla yerleştirilen dolgu duvarlar, içerisinde bulunduğu betonarme çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini önemli derecede artırmaktadır. Bu artış, planda simetrik dolgu duvar yerleşimine sahip betonarme binalarda simetrik olmayan binalara göre daha fazla olarak ortaya çıkmaktadır.
2. Simetrik ve aynı miktarda dolgu duvar alanına sahip binaların boyutsuzlaştırılmış kapasite eğrileri üst üste elde edilmiştir. Bunun yanında, planda aynı miktarda dolgu duvara sahip ancak dolgu duvar yerleşimi simetrik olmayan binada ise kararlı bir kapasite eğrisi elde edilememiştir. Elde edilen sonuçlardan, plandaki dolgu duvar yerleşiminin simetrik olup olmamasının bina kapasite eğrisini önemli şekilde etkilediği görülmektedir.
3. Dolgu duvarın düzgün ve simetrik yerleştirilmesi durumunda dolgu duvar alanının artması ile yapı periyodu genel olarak azalmaktadır.
4. Model binalar üzerinde yapılan çözümlerden, " A_{duvar}/A_{kat} oranı" ile "dolgu duvarlı binanın birinci moda ait doğal titreşim periyodunun sadece çerçeveli binanın periyoduna bölünmesi ile elde edilen oranı ($T_1/T_{1(Model1)}$)" arasında doğrusal bir ilişki gözlenmiştir.
5. Taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan betonarme binaların planına yerleştirilen dolgu duvar alanı arttıkça binanın tepe yerdeğiştirme istem değeri azalmaktadır. Yapılan çözümlerde " A_{duvar}/A_{kat} oranı" ile "tepe yerdeğiştirme isteminin bina yüksekliğine oranı (Δ_{hedef}/H_{bina})" arasında doğrusal bir ilişkinin varlığı gözlenmiştir.
6. Doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemine göre belirlenen birinci kat kolon üst uç hasarı tüm modeller için "MH" seviyesinde elde edilmiştir. Kolon alt ucu hasarı ise dolgu duvarın durumuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sisteme simetrik olarak dolgu duvar ilave edilmesi ile taşıyıcı elemanlarda meydana gelen hasar seviyesi azalmaktadır. Ancak simetrik olmayan dolgu duvar yerleşimine sahip binalardaki kolon elemanlarının hasar seviyelerinde farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Dolgu duvar etkisi ile meydana gelen rijitlik değişimine bağlı olarak bazı kolonlarda hasar seviyesi artarken, bazı kolonlarda azalmaktadır.

7. Yapılan çözümlerinde, dolgu duvarsız model binaların performans seviyesi “CG” olarak elde edilmiştir. Planda simetrik yerleşimli dolgu duvarlara sahip binalarda performans seviyesi yine “CG” olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolgu duvarların dikkate alınması ile kolon elemanlarda ortaya çıkan hasar seviyesi azalmasına rağmen, binanın performans seviyesinde herhangi bir değişim meydana gelmemiştir. Ancak, planda düzensiz dolgu duvar yerleşimine sahip binaların performans seviyesi genelde “GD” olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun nedeni bu binalarda rijitlik dağılımının değişmesiyle elemanlardaki kesme kuvveti dağılımının da değişmesidir. Bazı düşey taşıyıcı elemanlarda hasar seviyesi azalırken bazı elemanlarda artmaktadır. Performans seviyesinin GD çıkmasının nedeni bir ile dört adet arasında değişen sayıdaki elemanda GB hasar seviyesinin görülmesidir.
8. Model binaların çözümlerinden elde edilen sonuçlar, dolgu duvar yerleşiminin, yapı davranışını önemli derece etkilediğini göstermiştir. Taşıyıcı sistemi simetrik olan binalarda, dolgu duvar yerleşimlerinin simetrik olmaması bazı düzensizliklerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla, taşıyıcı sistem davranışının daha gerçekçi olarak belirlenebilmesi için yapılan çözümlerinde binada bulunan dolgu duvar özelliklerinin doğru bir şekilde tanımlanmasının ve dolgu duvarların modellemelerde dikkate alınmasının oldukça önem taşıdığını vurgulamak gerekir.

BİLGİLENDİRME

Çalışmanın gerçekleşmesinde 111M119 numaralı proje ile maddi destek sağlayan TÜBİTAK’a teşekkür ederiz.

REFERANSLAR

- Aksoy, H.B., Avşar, Ö., (2015) Dolgu duvarların betonarme çerçeve davranışına etkisinin basitleştirilmiş bir yöntemle dikkate alınması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(3), 115-122.
- Akyürek, O., (2014). Betonarme bina performansına dolgu duvarların etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.86, Isparta.
- Akyürek, O., Tekeli, H., Demir, F., (2015). Betonarme bina performansına dolgu duvarların etkisi. Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 11 -14 Mayıs, İstanbul.
- André Furtado, A., Rodrigues, H., Arêde, A., Varum, H. (2017). Modal identification of infill masonry walls with different characteristics. Engineering Structures, 145, 118-134.
- Aydın, A., (2015). Boşluklu dolgu duvara sahip betonarme binaların deprem davranışının incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.58, Isparta.
- BESAM, (2013). **B**etonarme **E**lemanlarda **S**Argı ve **M**odelleme Programı. Tübitak 111M119 no’lu proje, Isparta.
- Cavaleri, L., Trapani, F.D., Asteris, P. G., Sarhosis, V. (2017). Influence of column shear failure on pushover based assessment of masonry infilled reinforced concrete framed structures: A case study. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 100, 98-112.
- Demir, F., Tekeli, H., Güler, K., Celep, Z., (2013). Binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesinde kullanılacak yeni bir yaklaşım. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Grubu, 135s. Proje No, 111M119.
- DBYBHY, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- DELOP, (2013). **D**oğrusal **E**lastik **O**lmayan **P**rogram. Tübitak 111M119 no’lu proje, Isparta.
- Dolsek, M., Fajfar, P., (2008). The Effect of Masonry infills on the seismic response of a four storey reinforced concrete frame deterministic assessment. Engineering Structures, 30, 1991–2001.
- FEMA 306, Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings, Applied Technology Council (ATC-43 Project), 1998.
- Güney, D., Boduroğlu, M.H., (2006). Deprem etkisi altındaki simetrik ve asimetrik yapıların, lineer olmayan tepkilerine dolgu duvarlarının katkısı. İTÜ Mühendislik Dergisi/d, 5(3), 165-174.
- Kaltakçı, M.Y., Arslan, M.H., (2005). Taşıyıcı olmayan tuğla dolgu duvarların yapı davranış katsayısına olan etkisinin incelenmesi. Kocaeli Deprem Sempozyumu, 598-605.
- Karasu, T.O., Erdem, R.T., Demir, A., Bağcı, M., (2011). Yumuşak kat düzensizliği bulunan betonarme bir binanın performansının incelenmesi. C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 7(2), 61 – 69.

- Karlıoğlu, Ö., (2005). Çok katlı binalarda bulunan tuğla dolgu duvarların yapı davranışına etkileri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 79s., Kahramanmaraş.
- Kaymak, F., Tuna, E.T., (2011). Kısmi ve tam dolgu duvarlı çelik çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışının elasto-plastik analiz yöntemi ile incelenmesi. Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der. 26(2), 435-445.
- Koca, N., (2013). Betonarme çerçevelerin deprem davranışına dolgu duvarların etkisi. Tübitak 2209 - Üniversite Öğrencileri Yurt İçi / Yurt Dışı Araştırma Projeleri Destekleme Programı, Sonuç Raporu, 11s. Isparta.
- Meral, E., İnel, M., (2016). Düşük ve orta yükseklikteki betonarme binaların yapısal parametre özelliklerinin değerlendirilmesi. Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 22(6), 468-477.
- Morfidis,K., Kostinakis, K. (2017). The role of masonry infills on the damage response of R/C buildings subjected to seismic sequences. Engineering Structures, 131, 459-476.
- Mulgund, G.V.,Kulkarni, A.B., (2011). Seismic assesment of RC frame buildings with brick masonry infills. International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies, 2(2), 140-147.
- Özdoğu, O.Z.,(2006). Deprem etkisi altındaki binaların davranışına dolgu duvarların etkisi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 84s., Sakarya.
- Peynirci, R., (2007). Betonarme çerçeve sistemlerde dolgu duvarların deprem davranışına katkısı. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s., Afyon.
- SAP 2000, (2011). Computers and Structures, Inc., v.15.0.0, Structural Analysis Program, Berkeley, CA, USA.
- Sevil, T., Baran, M., Canbay, E., (2010). Tuğla dolgu duvarların BA çerçeveli yapıların davranışına etkilerinin incelenmesi: Deneysel ve kuramsal çalışmalar. International Journal of Engineering Research and Development, 2(2), 35-42.
- Sivri, M., Demir, F., Kuyucular, A., (2006). Dolgu duvarlarının çerçeve yapının deprem davranışına ve göçme mekanizmasına etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(1), 109-115.
- Yakut, A., Binici, B., Demirel, O.İ., Özcebe, G., (2013). Dolgu duvarların deprem davranışına etkisi. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 25-27 Eylül, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay.



YSA Ve DVM Yöntemlerinin Bir Metro Hattında Gerilim Düşümünün Tahmini İçin Karşılaştırılması

The Comparison of the ANN and SVM Methods for the Prediction of Voltage Drop on a Subway Line

İlhan KOCAARSLAN¹, Mehmet Taciddin AKÇAY², Abdurrahim AKGÜNDOĞDU¹, Hasan TİRYAKİ¹

¹*İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 34320 İstanbul, TÜRKİYE*

²*İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistem Daire Başkanlığı, 34010 İstanbul, TÜRKİYE*

Başvuru/Received: 01/08/2017

Kabul/Accepted: 14/11/2017

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Öz

Bu çalışmada, 1500 V DC beslemeli bir raylı sistemde cer gücünün meydana getirdiği gerilim düşümünün maksimum değeri Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Destek Vektör Makineleri (DVM) yardımıyla belirlenmiştir. YSA ve DVM yöntemleriyle hatta oluşan gerilim düşümü işletmesel parametrelere bağlı olarak hesaplanmıştır. YSA ve DVM teknikleri açıklanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. YSA modeli için levenberg marquardt (LM) algoritması kullanılmıştır. Levenberg-Marquardt algoritması yapay sinir ağlarının eğitiminde sağladığı hız ve kararlılık nedeni ile tercih edilmektedir. Raylı sistemlerde elektrifikasyon sistemi işletmesel verilere ve hat parametrelerine bağlı olarak tasarlanmaktadır. Elektrifikasyon sistemi oluşturulurken işletme esnasında cer gücünün gereksinimi olan minimum besleme gerilim değerinin sağlanması gerekmektedir. Cer gücü geriliminin en düşük değerini hatta oluşan gerilim düşümünün en yüksek değeri belirlemektedir. Bu değer işletme sürekliliği için belirli limitler içinde tutulması gerekmektedir. Benzetim için tek yönlü ve çift yönlü beslenme durumlarına ait oluşturulan veriler incelenmiştir. Bu çalışma ile demiryolu elektrifikasyon sistemine ait cer gücü simülasyonuna ait sonuçlar yapay zeka yoluyla tahmin edilmektedir. Bu sayede sisteme ait değişkenler farklı olsa dahi tekrar tekrar benzetim yapılmasının önüne geçilmektedir. Tasarlanan sistem ile %95 üzeri başarı oranı elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Cer Gücü, DVM, Elektrifikasyon, Hat, Raylı Sistem, YSA”

Abstract

In this study, the determination of the maximum value of the voltage drop created by the traction force was performed for a 1500 V DC-fed rail system by means of the artificial neural networks (ANN) and support vector machines (SVM). The voltage drop occurring on the line was calculated with regard to the operating parameters by means of the ANN and SVM. The ANN and SVM were explained and a comparison was made. The Levenberg-Marquardt (LM) algorithm was used for the ANN model. The Levenberg-Marquardt algorithm was preferred due to the speed and stability it provides for the training of artificial neural networks. The electrification system in the rail systems is designed with regard to the operating data and design parameters. The minimum voltage rating that the traction force requires during the operation needs to be provided in the electrification system. The highest value of the voltage drop on the line determines the lowest value of the traction force voltage. This value must be in certain limits for the continuity of the operation. The created datas regarding one-way and two-way supply conditions were examined for simulation. In this way railway electrification traction power simulation was done by artificial intelligence methods and traction power simulation results were predicted without doing traction simulation. With the designed system, the success rate is over %95.

Key Words

“ANN, Electrification, Line, Rail System, SVM, Traction Force”

1. GİRİŞ

Elektrikli demiryollarında elektrifikasyon sisteminin ana hedefi araç trafiği ve cer gücü sistemi için gerekli olan enerjinin karşılanmasıdır. Cer gücünün yükünü hatta kullanılan araçların elektrik tüketimi oluşturmaktadır. Araç işletmesinin etkin ve verimli bir şekilde yapılması için araca iletilen besleme geriliminin belirli limitler içerisinde kalması istenmektedir. Bu limitler TS EN 50163 tanımlanmış olup tablo 1 ile verilmektedir.

Tablo 1: 1500 V DC Beslemeli demiryolu uygulamalarında kullanılan cer sistemlerine ait besleme gerilim limitleri (TS EN 50163)

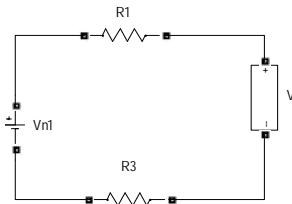
Elektrik Sistemi	En küçük Süreksiz Gerilim	En küçük Sürekli Gerilim	Nominal Gerilim	En büyük Sürekli Gerilim	En büyük Süreksiz Gerilim
1500 V DC	1000 V DC	1000 V DC	1500 V DC	1800 V DC	1950 V DC

Tablo 1 ile verilen limit değerler aynı zamanda işletme sırasında elektrik iletim hattında oluşacak gerilim düşümünün limitlerini de belirlemektedir. Hatta oluşan gerilim düşümü kontrol altında tutulmadığı zaman araç performans kayıpları ve işletmenin durması gibi istenmeyen durumlar yaşanmaktadır. Demiryollarında cer gücü tasarımı yapılırken besleme geriliminin bu limitlerin içinde tutulması ve sistem analizi için cer gücü simülasyonu yapılmaktadır. Cer gücü simülasyonu yapıldıktan sonra iletim hattında gerçekleşen gerilim düşümü belirlenmektedir. Sistemde oluşan gerilim düşümü diğer yüklerle etki ederek güç sisteminde ciddi problemlere sebep olmaktadır (Limpong, 2016). Sistem tasarımı esnasında gerilim düşümü hesaba alınarak tüm sistemin daha verimli çalışması sağlanmaktadır (Nuzzo, Galea, Gerada & Brown, 2016). DC beslemeli demiryollarında geri dönüş akımı raylar üzerinden tamamlanmakta olup rayın direncinden dolayı aracın çekeceği 1200 A'ye kadar ray üzerinde 60-100 V civarı gerilim düşümü oluşmaktadır (İbrahim, Elrayyah, Sozer, & Abreu, 2017). Gerilim düşümünde meydana gelecek yüksek değerler sistemde arıza olduğunu belirtmektedir (Meghwani, Chakrabarti, Srivastava, 2016). Literatürde YSA ile orta gerilim asenkron motorunun kalkışında gerçekleşen gerilim düşümünün tahmin edilmesi, çıkık kutuplu senkron generatörün tahrik sistemine ait diyot komutasyon işleminde oluşan gerilim düşümünün tahmini, DC raylı sistemde kaçak akım ve dokunma geriliminin tahmin edilmesi ve mikro şebekelerde arıza tespiti için gerilim düşümü tahmini bazlı hızlı bir yöntem yayınları bulunmaktadır. Bu çalışmada cer gücü simülasyonu ile elde edilen veriler kullanılarak cer gücü iletim hattına ait gerilim düşümü değeri yapay zeka yöntemleri kullanılarak tahmin edilmiştir. DC beslemeli demiryollarında çeşitli besleme gerilimleri tercih edilmektedir. Bunlar 600-750-1500 ve 3000 V DC gerilimleridir. Bu seçim teknik ve ekonomik koşullara da bağlı olmak üzere ülkelere göre değişiklik arz edebilmektedir. DC beslemeli demiryollarında geri dönüş iletkeni olarak ray hattı kullanılmaktadır (Abrahamsson, Kjellqvist, Ostlund, 2012), (Tian at al., 2014), (He, Yu., Wang, & Song, 2013), (Xu, Li, & Wang, 2013), (Lao, Wong, Dai, Wong, & Lam, 2016). Ülkemizde yaygın olarak 750 ve 1500 V DC besleme gerilimleri kullanılmaktadır.

2. MATERYAL VE METOD

DC beslemeli demiryollarında tek yönlü ve çift yönlü olmak üzere iki tip besleme durumu bulunmaktadır. Tek yönlü beslenme durumunda cer gücü tek yönlü olarak beslenmektedir. Çift yönlü beslenme durumunda her iki yönden besleme gerçekleşmekte olup bu tip beslemede cer gücü iki uçtan paylaşımlı olarak beslenmektedir. Bu tip besleme sistemi DC beslemeli demiryollarında daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Takagi, 2012), (Alamuti, Nouri, & Jamali, 2011), (Tzeng & Lee, 2010), (Lao, Wong, Dai, Liu, & Wong, 2013), (Jia, Yang, Lin, & Fang, 2014), (İbrahim, Elrayyah, Sozer, & Abreu, 2017), (Ogunsola, Sandrolini, & Mariscotti, 2015), (Calderaro at al., 2015).

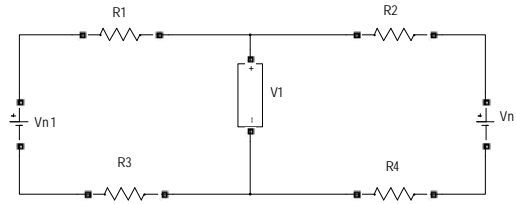
Aşağıda tek bölgeden ve çift bölgeden beslenme durumlarına ait eşdeğer devre modelleri şekil 1 ve şekil 2 ile verilmektedir.



Şekil 1: Tek yönlü beslenme durumu

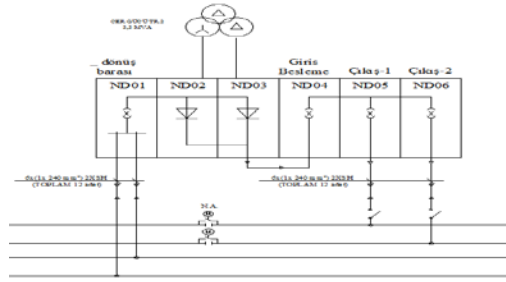
Tek yönlü beslenme durumuna ait denklem (1) ile verilmekte olup R1 ve R3 katener ve raya ait dirençleri temsil etmektedir. R1 ve R3 değerlerine fider ve geri dönüş kablolarına ait dirençler de ilave edilmiştir. R1 ve R3 değerleri aracın konumuna bağlı olarak değişmektedir. V1 araca ait gerilim olup Vn1 nominal besleme gerilimini belirtmektedir. I_{araç} araç akımını belirtmektedir.

$$V_1 = V_{n1} - I_{araç} \times R_1 - I_{araç} \times R_3 \quad (1)$$



Şekil 2: Çift yönlü beslenme durumu

Denklem (2)'de ise çift yönlü beslenme durumuyla ilgili formül verilmektedir. R1,R2,R3 ve R4 katener ve raya ait dirençleri temsil etmektedir. R1, R2, R3 ve R4 değerlerine fider ve geri dönüş kablolarına ait dirençler ilave edilmiştir. R1,R2,R3 ve R4 değerleri aracın konumuna bağlı olarak değişmektedir. V1 araca ait gerilim olup Vn1 ile Vn2 ise nominal besleme gerilimlerini belirtmektedir. DC beslemeli bir demiryolu hattında DC gerilim çift sekonderli üç fazlı trafo üzerinden 24 darbeli doğrultucu vasıtasıyla elde edilmektedir. Besleme kabloları ile orta gerilim şebekesi üzerinden temin edilen 34.5 kV orta gerilim besleme trafo merkezlerine getirilerek cer gücünün ihtiyacı olan enerji buradan elde edilmektedir. (Smidl, Janous, & Peroutka, 2015), (Jung at al., 2013), (Wang at al., 2014), (Takagi & Amano, 2014), (Torreglosa, García, & Fernández, 2014), (Park, 2015).Şekil 3 ile DC demiryolu cer gücü besleme diyagramına ait tek hat şeması verilmektedir.



Şekil 3: DC beslemeli bir hatta ait tek hat şeması

$$I_{araç} = \left[\begin{matrix} [Vn1 & Vn2] - [V1 & V1] \\ \frac{1}{R1+R3} \\ \frac{1}{R2+R4} \end{matrix} \right] \quad (2)$$

Aracın çektiği aktif güç araç gerilimine ve araç akımına bağlı olarak belirlenmektedir. Araç cer kuvveti (F_{cer}), araç hareketine karşı direnç kuvveti (F_{hareket}), eğim direnci kuvveti (F_{eğim}), kurp direnci kuvveti (F_{kurp}) ve aracın ivmesi ile kütlelerinin çarpımının toplamından oluşmakta olup (3), (4), (5) ve (6) eşitlikleri ile verilmektedir. Eşitliklerde V araç hızını, m aracın kütleliğini, A, B ve C katsayıları araç karakteristiğine bağlı değerleri, g yerçekimi ivmesini, γ eğim açısını, R kurp yarıçapını, C₁, C₂ ve C₃ kurp kuvvetini hesaplamak için kullanılan katsayıları ifade etmektedir. İvme ile kütle çarpımı (ma) ile gösterilmiştir. Denklem (6) ile Araç cer kuvveti hesaplanmaktadır.

$$F_{hareket} = a + B \times v + C \times v^2 \quad (3)$$

$$F_{eğim} = m \times g \times \sin(\gamma) \quad (4)$$

$$F_{kurp} = (m \times g \div 1000) \times (C_1 - C_2 \times R) \div (R - C_3) \quad (5)$$

$$F_{cer} = F_{hareket} + F_{eğim} + F_{kurp} + ma \quad (6)$$

Denklem (7) ile araca ait güç denklemi aracın cer kuvvetine ve hızına bağlı olarak hesaplanmaktadır.

$$P_{araç} = F_{cer} \times v \quad (7)$$

Aracın gücü aracın cer kuvveti ve hızı arttıkça artmaktadır. Farklı işletme durumlarına ait 1000 adet veri dizisi şekil 1 ve şekil 2 ile verilen eşdeğer devrelerin farklı işletme parametreleri ile benzetimi yapılarak elde edilmiştir. Besleme yönü sayısı, araç sayısı, aracın cer kuvveti, aracın ivme-kütle değeri, kurp yarıçapı, eğim, besleme hattının uzunluğu, aracın iç tüketim akımı, hattın elektriksel direnci ve endüktansı benzetimde kullanılan parametreler olup hesaplanan değer ise hatta oluşan en yüksek gerilim düşümü

değeridir. Benzetimde kullanılan tüm giriş parametreleri için random değerler atanmıştır. Benzetim için 0-5 arasında değişen araç sayısı kullanılmış olup maksimum gerilim düşümü durumu gözönünde bulundurularak araç yerleşimi yapılmıştır.

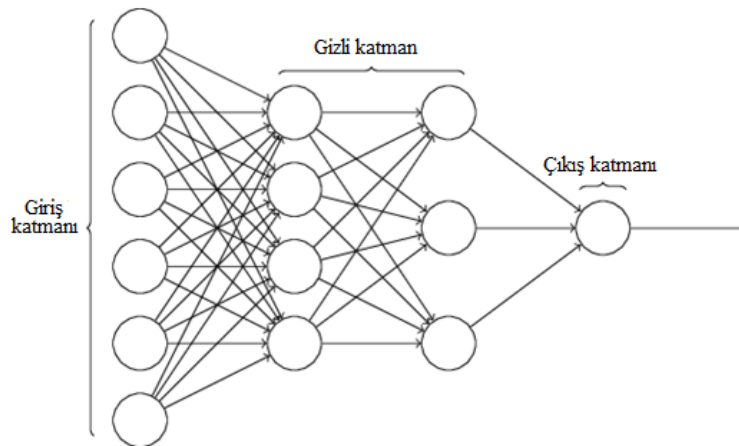
Parametre çeşitliliği ve işletme koşullarındaki değişkenlik bu problemin çözümünü karmaşık bir hale getirmektedir. Yapay zeka makinelerin karmaşık problemlere insanlar gibi çözümler üretmesini sağlama ile ilgilenen bir bilim dalıdır. Bu genellikle insan zekâsının karakteristiğini alıp, bilgisayar algoritması uygulanarak gerçekleştirilir. Talep edilen veya arzulanan ihtiyaçlara göre, hangi etkiye karşı hangi akli tavır sergilenecekse, az veya fazla esnek ya da etkili yaklaşımlar sergilenebilir. Bu çalışmada belirtilen avantajlarından dolayı yapay zeka tercih edilmiştir.

Bu çalışmada benzetim için yapay zeka uygulamalarından Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Destek Vektör Makinaları (DVM) kullanılmıştır. YSA basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şeklini taklit ederek çalışan bir yöntemdir. DVM sınıflandırma konusunda kullanılan oldukça etkili ve basit yöntemlerden birisidir. Sınıflandırma için bir düzlemde bulunan iki grup arasında bir sınır çizilerek iki grubu ayırmak mümkündür. Bu sınırın çizileceği yer ise iki grubun da üyelerine en uzak olan yer olmalıdır. DVM bu sınırın nasıl çizileceğini belirler. Benzetim için WEKA programı kullanılmıştır.

2.1 Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları, biyolojik sinir sistemi yapısından esinlenerek geliştirilmiş, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlanan ve her biri kendi belleğine sahip işlem elemanlarından oluşan paralel bilgi işleme yapılarıdır. YSA, eğitilerek kendi kendine öğrenebilen düzeneklerdir. YSA insan doğasını araştırma ve taklit etme çabalarının en son ürünlerinden bir matematiksel yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Bilim adamları, beynin nörofiziksel yapısını göz önüne almışlar, beynin davranışlarını tam olarak modellemeye çalışmışlardır. Yapay sinir hücresi, insan beyninin ve gerçek sinir hücrelerinin bilgi işleme teknolojilerinden esinlenerek, biyolojik sinir sisteminin çalışma şekli simüle edilmek suretiyle geliştirilmiş bir bilgi işlem teknolojisidir. İnsan beynindeki nöronlara benzer olarak, yapay nöronların değişik bağlantı geometrisi ile birbirlerine bağlanmasıyla oluşan karmaşık sistemlerdir. Modelleme için çeşitli yapay hücre ve ağ modelleri geliştirmişler. Yapay sinir ağları, hesaplama ve bilgi işleme gücünü, paralel dağılmış yapısından, öğrenebilme ve genelleme yeteneğinden almaktadır. Genelleme, eğitim ya da öğrenme sürecinde karşılaşılmayan girişler için de yapay sinir ağlarının uygun tepkileri üretmesi olarak tanımlanır. Bu özellikler, yapay sinir ağlarının problemleri çözebilme yeteneğini gösterir (Cakir, Ertunc, & Ocak, 2009), (Ozdemir, 2013), (Sahin, Buyuktumturk, & Oguz, 2013).

Biyolojik nöron, çekirdek, gövde ve iki uzantıdan oluşmaktadır. Bunlardan kısa ve dallanmış olan dentrit giriş bilgilerini alır, uzun ve tek olan akson ise çıkış bilgilerini diğer nöronlara taşır. Akson ve dentritin birleşim yerine sinaps denir. Her bir hücrenin bir eşik değeri vardır. Sinapslar nöronlardan aldığı sinyalleri değerlendirir ve eşik değeri üzerinde bir giriş varsa bir sonraki hücreye iletirler. En genel anlamda sinir ağları, insan beynindeki nöronlara benzer olarak meydana getirilen yapay nöronların değişik bağlantı geometrileri ile birbirlerine bağlanmasıyla oluşan kompleks sistemlerdir. Şekil 4 ile yapay sinir ağının yapısı verilmektedir. 1. tabaka giriş tabakasıdır. Bilgiler buradan alınır ve sisteme girilir. 2. tabaka ise gizli tabakadır. Kullanımı benzetime bağlıdır. 3. tabaka ise çıktı tabakasıdır. Girdiler işlenerek buradan alınır. Her bir yuvarlağın (sinirin) bir fonksiyonu ve eşik değeri vardır. İçi dolu ufak daireler ise bağlantı ağırlıklarını gösterirler (Bayindir, Sesveren, 2008), (Askin, Iskender, & Mamızadeh, 2011), (Dalkiran & Danisman, 2010), (Ceylan, Ozbay, Ucan, & Yildirim, 2010).



Şekil 4: Yapay sinir ağı yapısı (Bayindir, Sesveren, 2008).

Bir nöronun çıktısı giriş verilerinin belirli ağırlıklarda toplamına bias değerinin eklenmesi ile oluşan fonksiyon şeklinde (8) ile verilmektedir. I 'ler girişi göstermekte olup, W 'lar giriş değerlerinin aldığı ağırlıklı katsayılarıdır.

$$\text{Çıkış} = f(i_1W_1 + i_2W_2 + i_3W_3 + \text{bias}) \quad (8)$$

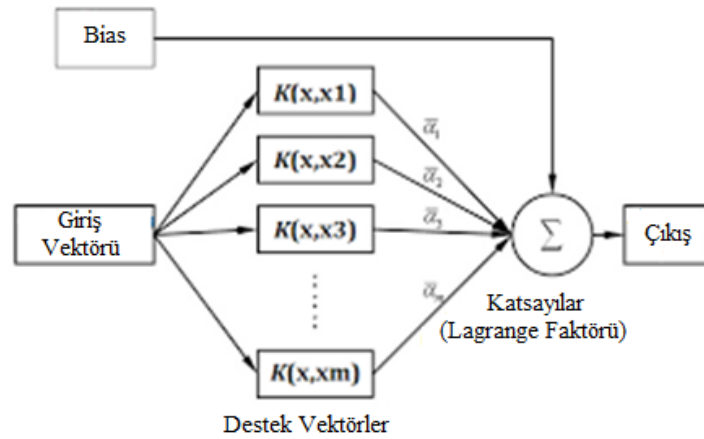
Bir sinir ağı modeli oluşturmak için nöronların bağlantı şekli, işlemci elemanlarının kullandıkları toplama ve aktivasyon fonksiyonları, öğrenme metodu, öğrenme kuralı ve algoritması belirlenmektedir. Eldeki veriye göre model tasarlanmaktadır. Kurulan modelin başarısı modelin mimarisinin doğru oluşturulması ile doğrudan ilgilidir. Bunun için yapay sinir ağı tasarımcısının, ağı yapısına ve işleyişine ilişkin aşağıdaki kararları vermesi gerekmektedir.

Levenberg Marquardt algoritması maksimum komşuluk üzerine kurulmuş en az kareler hesaplama metodudur. Bu algoritma Gauss-Newton ve gradient-descent algoritmalarının en iyi özelliklerinden oluşur ve bu iki metodun kısıtlamalarını kaldırır. Bu yöntem yavaş yakınsama probleminden etkilenmez. Gauss-Newton algoritmasının kombinasyonu olan Levenberg-Marquart algoritması optimizasyon problemlerinde eğimli düşüş algoritmasına göre daha etkindir ve daha hızlıdır (Partal, Senol, Bakan, & Bekiroglu, 2011), (Jashfar, Esmaceli, Jahromi, & Rahmanian, 2013), (Afsharizadeh & Mohammadi, 2016).

2.2 Destek Vektör Makineleri

DVM, sınıflandırma ve regresyon problemlerinde çalıştırılan bir yöntemdir. DVM regresyon metodundaki temel fikir, eldeki eğitim verilerinin karakterini mümkün olduğunca gerçeğe yakın bir şekilde yansıtan ve istatistiksel öğrenme teorisine uyan doğrusal ayırıcı fonksiyonun bulunmasıdır. Sınıflandırmaya benzer bir şekilde regresyonda da doğrusal olmayan durumların işlenebilmesi için çekirdek fonksiyonları kullanılmaktadır. Destek Vektör Makineleri'nin en önemli avantajı, sınıflandırma problemini kareli optimizasyon problemine dönüştürüp çözmesidir. Böylece problemin çözümüne ilişkin öğrenme aşamasında işlem sayısı azalmakta ve diğer teknik/algoritmalara göre daha hızlı çözüme ulaşılmaktadır. Bu teknik özelliğinden dolayı, özellikle büyük hacimli veri setlerinde büyük avantaj sağlamaktadır. Optimizasyon temelli olduğundan sınıflandırma performansı, hesaplama karmaşıklığı ve kullanılabilirlik açısından diğer tekniklere göre daha başarılıdır (Ayhan & Erdogmus, 2014), (Yakut, Elmas, & Yavuz, 2014).

Bir destek vektör makinesi, verileri optimal olarak iki kategoriye ayıran n – boyutlu bir hiperdüzlem oluşturmaktadır. DVM modelleri yapay sinir ağlarıyla yakından ilişkili olup, sigmoid bir kernel fonksiyonu kullanan DVM; iki katmanlı, ileri beslemeli bir yapay sinir ağına sahiptir. DVM'nin ilgi çekici özelliği; veri seti üzerinde ortalama hata karesini minimize ederek türetilen ampirik risk minimizasyonu prensibinden ziyade, istatistiksel öğrenme teorisindeki yapısal risk minimizasyonu niteliğinde çalışmasıdır. DVM'nin temel varsayımlarından biri, eğitim kümesindeki tüm örneklerin bağımsız ve benzer olarak dağılmış olmasıdır. DVM, sınıflandırma ve regresyon problemlerinde çalıştırılmaktadır. Destek Vektör Makinelerinde karşılaşılabilecek iki durum, verilerin lineer olarak ayrılabilirlikleri bir yapıda olması veya lineer olarak ayrılamayan yapıda olmasıdır. (Kavzaoglu & Colkesen, 2010), (Guran, Uysal, & Dogrusoz, 2014). DVM ağ yapısı şekil 5 ile verilmektedir.



Şekil 5: Destek vektör makinesi yapısı (Ayhan & Erdogmus, 2014).

Destek Vektör Makineleri (DVM) istatistiksel öğrenme teorisine dayalı bir kontrollü sınıflandırma algoritmasıdır. DVM'nin sahip olduğu matematiksel algoritmalar başlangıçta iki sınıflı doğrusal verilerin sınıflandırılması problemi için tasarlanmış, daha sonra çok sınıflı ve doğrusal olmayan verilerin sınıflandırılması için genelleştirilmiştir.

DVM regresyonu benzetim için bir takım çekirdek fonksiyonları kullanılmaktadır. Bu çalışmada normalized polynomial kernel seçilmiş olup denklemi (9) ile verilmektedir.

$$K(x, y) = \frac{\langle x, y \rangle + 1}{\sqrt{(\langle x, x \rangle + 1)(\langle y, y \rangle + 1)}} \quad (9)$$

$$\langle x, y \rangle = \text{PolyKernel}(x, y) \quad (10)$$

2.2.1 Ortalama Mutlak Hata

Ortalama mutlak hata ölçülen değerlerle tahmin edilen değerler arasındaki farkın mutlak değerinin ölçüm sayısına bölünmesidir. Denklem (11) ile verilmekte olup n ölçüm sayısını, e ise gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki farkı göstermektedir (Yurtcu & Ozocak, 2016), (Willmott & Matsuura, 2005), (Chai & Draxler, 2014).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (11)$$

2.2.2 Karesel Ortalama Hata

Karesel ortalama hata, bir ölçü dizisinin gerçek hatalarının kareleri toplamı ölçü sayısına bölünür ve hesaplanan bu değer karekökü alınarak bulunur. Ölçülerin doğruluk derecesi hakkında en doğru yaklaşımı yapmaktadır. Bu hesaplamada hataların kareleri alındığı için ölçüm içindeki büyük hataların ortalama üzerindeki etkisi daha büyük olmakta ve bu sayede büyük hataların tüm ölçüm üzerindeki etkisi belirlenebilmektedir. (12) eşitliği ile verilen RMSE denkleminde x_{obs} gerçek değerler olup, x_{model} tahmin edilen değerler, n ise ölçüm sayısıdır (Yurtcu & Ozocak, 2016), (Willmott & Matsuura, 2005), (Chai & Draxler, 2014).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{obs,i} - x_{model,i})^2}{n}}, \quad (12)$$

3. BULGULAR

Demiryolu Cer gücü sisteminde oluşan gerilim düşümü hesaplamaları için birbirinden farklı 1000 adet veri dizisi kullanılmıştır. Bu veri dizileri kullanılarak simülasyon ile hesaplanan gerilim düşümü değerlerinin yapay zeka yöntemleri kullanılarak tahmini yapılmıştır. Kullanılan verilerden bir kısmı tablo 2 ile verilmektedir.

Tablo 2: Kullanılan verilere ait bir bölüm (1/2)

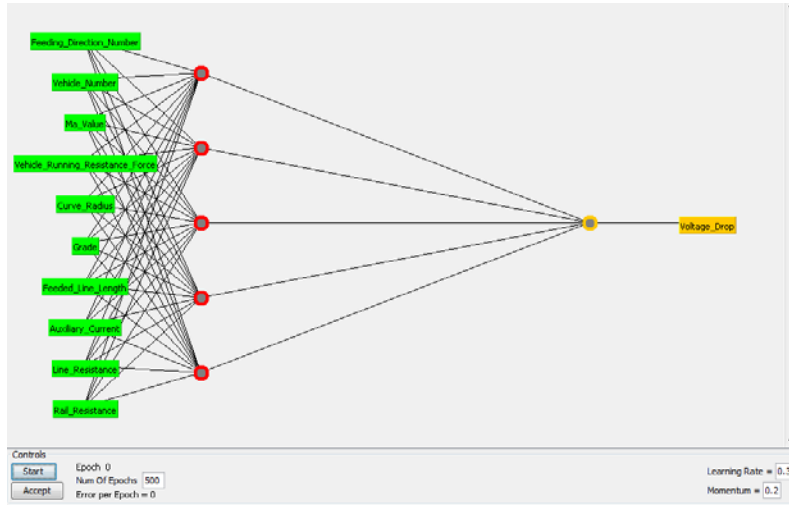
Veri türü	Besleme Yönü Sayısı	Araç Sayısı	Ma değeri (kN)	Araç Hareket Direnci (kN)	Kurp Yarıçapı (m)
giriş 1	1	5	270	69	879
çıkış 1	-	-	-	-	-
giriş 2	1	4	258	69	822
çıkış 2	-	-	-	-	-
giriş 3	2	3	295	76	931
çıkış 3	-	-	-	-	-
giriş 4	2	5	260	77	992
çıkış 4	-	-	-	-	-
giriş 5	2	3	241	74	851
çıkış 5	-	-	-	-	-

Kullanılan verilere ait bir bölüm (2/2)

Eğim	Besleme Hattının Uzunluğu (km)	Araçın İç Tüketim Akımı (A)	Katener Direnci (Ω)	Ray Direnci (Ω)	Gerilim Düşümü (V)
0,0034	1,9	236	0,0272	0,03	-
-	-	-	-	-	832
0,0168	3	236	0,0215	0,0236	-
-	-	-	-	-	897
0,0178	3,4	151	0,0154	0,0259	-
-	-	-	-	-	202
0,0303	3,1	227	0,0294	0,0347	-
-	-	-	-	-	425
0,0021	3,7	241	0,0271	0,0312	-
-	-	-	-	-	257

3.1 YSA İle Benzetim

Tablo 2 de görüldüğü gibi sistem 10 adet giriş ve 1 adet çıkış parametresinden oluşmaktadır. WEKA programı ile tasarlanan YSA mimarisi şekil 6 ile verilmektedir.



Şekil 6: Tasarlanan YSA mimarisi

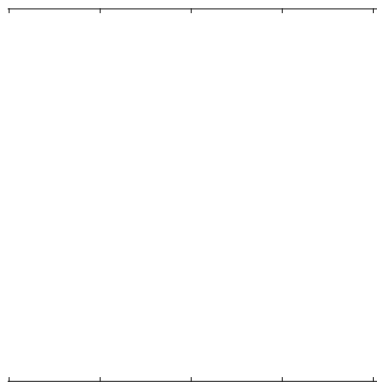
Tasarımda kullanılan YSA mimarisi için 10 adet giriş verisi, 5 adet gizli nöron, 1 adet çıkış nöronu kullanılmıştır. Benzetimde 10-katlı-çapraz doğrulama yöntemi seçilmiştir.

3.1 DVM İle Benzetim

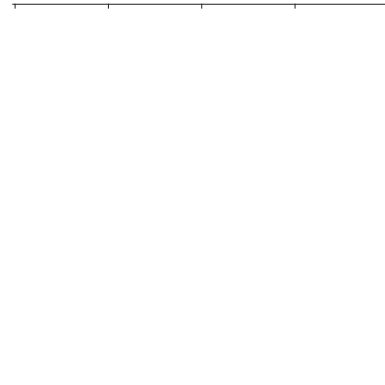
Benzetimde daha iyi sonuç almak için çeşitli varyasyon denenerek en sonunda DVM parametreleri aşağıdaki şekilde seçilmiştir. complexity parameter olan “c=1” seçilmiştir. Çekirdek fonksiyonu normalized polynomial kernel olarak seçilmiş ve exponent değeri “e=3” alınmıştır. Benzetim olarak WEKA programı kullanılmış ve 10-katlı-çapraz doğrulama yöntemi seçilmiştir.

3.3 YSA ile DVM Sonuçlarının Karşılaştırılması

Şekil 7 ile YSA simülasyon sonuçlarına ait gerçekleşen değerler ve hesaplanan değerler gösterilmektedir. R ile regresyon değeri gösterilmekte olup şekilde görüldüğü gibi bu değer 0,99 olmaktadır. Bu değer 1’e yaklaştıkça sistem tarafından hesaplanan verilerin doğruluğu artmaktadır. Şekil 8’de DVM simülasyonuna ait gerçekleşen değerler ile hesaplanan değerler görülmektedir. R ile regresyon değeri gösterilmekte olup şekilde görüldüğü gibi bu değer DVM yönteminde 0,95 olmaktadır.

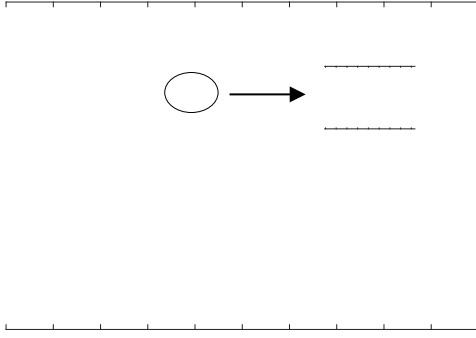


Şekil 7: YSA regresyon grafiği

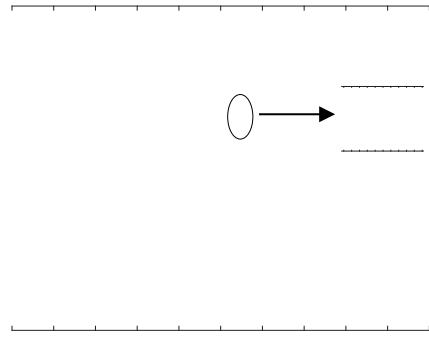


Şekil 8: DVM regresyon grafiği

Şekil 9 ve şekil 10 ile gerçekleşen veriler, hesaplanan veriler ve hata değerleri gösterilmektedir. Mavi renk ile gerçekleşen veriler, kırmızı renk ile hesaplanan veriler sarı renk ile de hata değerleri verilmektedir.



Şekil 9: YSA benzetimine ait çıkış, tahmin ve hata değerlerine ait grafik (Daire içine alınan bölüm defalarca büyütülerek aradaki fark gösterilmeye çalışılmıştır).



Şekil 10: DVM benzetimine ait çıkış, tahmin ve hata değerleri grafiği (Daire içine alınan bölüm defalarca büyütülerek aradaki fark gösterilmeye çalışılmıştır).

YSA ile hesaplanan değerler DVM ile hesaplanan değerlere göre daha iyi olmaktadır. Aşağıda tablo 3 ile iki yöntem ile tahmin edilen sonuçlara ait performans ölçüm değerleri verilmektedir.

Tablo 3: İki metoda ait sonuçlar

Yöntem	Korelasyon katsayısı	Ortalama mutlak hata (MAE)	Ortalama karesel hata (RMSE)	Görelî mutlak hata (RAE)	Görelî karesel hata (RRSE)	Toplam örnekleme sayısı
YSA	0.9989	12.1091	15.4955	4.7392 %	4.7916 %	1000
DVM	0.9541	49.1112	97.7306	19.2207 %	30.2211 %	1000

4. SONUÇ

Bu çalışma ile DC beslemeli bir demiryolunda cer gücünün oluşturduğu en yüksek gerilim düşümünün işletme verilerine bağlı olarak tahmini yapılmıştır. Benzetim için 1000 adet random giriş veri dizisi ile hesaplanan çıkış verileri kullanılmıştır. Yapay zeka yöntemlerinden YSA ve DVM tekniği kullanılmıştır. Gerilim düşümü değeri başarılı bir şekilde tahmin edilmiştir. YSA ve DVM teknikleri kullanılarak yapılan simülasyonlar neticesinde elde edilen veriler sayesinde demiryolu elektrifikasyon sistemine ait cer gücü simülasyonuna ait gerilim düşümü yapay zeka yoluyla tahmin edilmektedir. Bu sayede sisteme ait değişkenler farklı olsa da yeni duruma ait sonuçlar tahmin yoluyla elde edilerek tekrar tekrar benzetim yapılmasının önüne geçilmektedir.

Yapılan hesaplamalarda DVM için elde edilen verilerde RRSE değeri %30,2 olup bu değer YSA'de %4,8 olmaktadır. RMSE değerleri ise YSA benzetimi için 15 V olup DVM için 98 V olmaktadır. YSA'de elde edilen MAE değeri ise 12 V olup DVM'de bu 49 V olmaktadır. YSA'de RAE değeri %4,7 olup bu değer DVM'de %19,2 olmaktadır. Benzetimlerden elde edilen veriler karşılaştırıldığında YSA ile üretilen tahmin değerlerinin daha iyi olduğu görülmektedir. İki teknik için de üretilen tahmin verileri gerçek verilerle karşılaştırıldığında hataların YSA tekniği için kabul edilebilir oranda olduğu ve üretilen tahmin verilerinin kullanılabilir olduğu görülmektedir.

Tasarlanan sistem ile %95 üzeri başarı oranı elde edilmiştir. Bu sayede sisteme ait girdiler değişse bile sistem çıktıları tahmin edilerek sistem davranışı hakkında öngörüle bulunularak ek cer merkezlerini devreye alınması, araç sayısında kısıtlama, sefer sıklığı düzenleme gibi bir takım gerekli tedbirlerin alınması sağlanacaktır.

REFERANSLAR

IEEE, Limbong, F., G., 2016. The use of neural network (NN) to predict voltage drop during starting of medium voltage induction motor. 3rd International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), Semarang, Indonesia.

- IEEE, Nuzzo, S., Galea, M., Gerada, C., Brown, N., L., 2016. Prediction of the voltage drop due to the diode commutation process in the excitation system of salient-pole synchronous generators. 19th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Chiba, Japan
- Ibrahim, A., Elrayyah, A., Sozer, Y., Garcia, J., A., A., 2017. DC Railway System Emulator for Stray Current and Touch Voltage Prediction. IEEE Transactions on Industry Applications, 53, pp. 439-446.
- IEEE, Meghwani, A., Chakrabarti, S., Srivastava, S., C., 2016. A fast scheme for fault detection in DC microgrid based on voltage prediction. National Power Systems Conference (NPSC), Bhubaneswar, India
- Abrahamsson, L., Kjellqvist, T., Ostlund, S., 2012. High-voltage DC-feeder solution for electric railways. IET Power Electronics, 5, pp. 1776-1784.
- Afsharizadeh, M., Mohammadi, M., 2016. Prediction-Based Reversible Image Watermarking Using Artificial Neural Networks. Turk J Elec Eng & Comp Sci., 24, pp. 896-910.
- Alamuti, M., M., Nouri, H., Jamali, S., 2011. Effects of earthing systems on stray current for corrosion and safety behaviour in practical metro systems. IET Electrical Systems in Transportation, 1, pp. 69-79.
- Askin, D., Iskender, I., Mamizadeh, A., 2011. Dry Type Transformer Winding Thermal Analysis Using Different Neural Network Methods. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 26, pp. 905-913.
- Ayhan, S., Erdogmus, S., 2014. Kernel Function Selection for the Solution of Classification Problems via Support Vector Machines. Eskisehir Osmangazi University Journal of IIBF, 9, pp. 175-198.
- Bayindir, R., Sesveren, Ö., 2008. Design Of A Visual Interface For Ann Based Systems. Pamukkale University Engineering Faculty Journal of Engineering Science, 14, pp. 101-109.
- Cakir, S., Ertunc, H., M., Ocak, H., 2009. A Case Study For Identification of Texture in Carbonate Rocks Using Artificial Neural Networks: Akveren Formation. Journal of Earth Science With Application, 2, pp. 71-79.
- Ceylan, M., Ozbay, Y., Ucan, O., N., Yildirim, E., 2010. A Novel Method For Lung Segmentation On Chest CT Images: Complex-Valued Artificial Neural Network With Complex Wavelet Transform. Turk J Elec Eng & Comp Sci, 18, pp. 613-623.
- Chai, T., Draxler, R., R., 2014. Root Mean Square Error (RMSE) Or Mean Absolute Error (MAE), Geoscientific Model Development Discussions, 7, pp. 1247-1250.
- Dalkiran, İ., Danisman, K., 2010. Artificial Neural Network Based Chaotic Generator For Cryptology. Turk J Elec Eng & Comp Sci, 18, pp. 225-240.
- Guran, A., Uysal, M., Dogrusoz, O., 2014. Effects Of Support Vector Machines Parameter Optimization On Sentiment Anaylsis. DEÜ Engineering Faculty The Journal of Engineering Sciences, 16, pp. 86-93.
- He, J., Yu, L., Wang, X., Song, X., 2013. Simulation of Transient Skin Effect of DC Railway System Based on MATLAB/Simulink. IEEE Transactions On Power Delivery, 28, pp. 145-152.
- IEEE, Calderaro, V., Galdi, V., Graber, G., Piccolo, A., Capasso, A., Lamedica, R., Ruvio, A., 2015, November. Energy Management of Auxiliary Battery Substation Supporting High-Speed Train on 3 kV DC Systems. Renewable Energy Research and Applications (Icrera), Palermo, Italy.
- IEEE, Jia, Z., Yang, Z., Lin, F., Fang, X., 2014, September. Dynamic Simulation of the DC Traction Power System Considering Energy Storage Devices. Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), Beijing, China.
- IEEE, Tian, Z., Hillmansen, S., Roberts, C., Weston, P., Chen, L., Zhao, N., Su, S., Xin, T. 2014, October. Modeling and Simulation of DC Rail Traction Systems for Energy Saving. 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Qingdao, China.
- Jashfar, S., Esmaeili, S., Jahromi, M., Z., Rahmani, M., 2013. Classification of Power Quality Disturbances Using S-Transform And TT-Transform Based On The Artificial Neural Network. Turk J Elec Eng & Comp Sci., 21, pp. 1528-1538.
- Jung, S., Lee, H., Song, C., S., Han, J., H., Han, W., K., Jang, G., 2013. Optimal Operation Plan of the Online Electric Vehicle System Through Establishment of a DC Distribution System. IEEE Transactions On Power Electronics, 28, pp. 5878-5889.

- Kavzaoglu, T., Colkesen, I., 2010. Investigation of the Effects of Kernel Functions in Satellite Image Classification Using Support Vector Machines. *Gebze High Technology Institute The Journal of Map*, 144, pp. 73-82.
- Lao, K., W., Wong, M., C., Dai, N., Y., Liu, W., G., Wong, M., C., 2013. Hybrid Power Quality Compensator With Minimum DC Operation Voltage Design for High-Speed Traction Power Systems. *IEEE Transactions On Power Electronics*, 28, pp. 2024-2036.
- Lao, K., W., Wong, M., C., Dai, N., Y., Wong, C., K., Lam, C., S., 2016. Analysis of DC-Link Operation Voltage of a Hybrid Railway Power Quality Conditioner and Its PQ Compensation Capability in High-Speed Cophase Traction Power Supply. *IEEE Transactions On Power Electronics*, 31, pp. 1643-1656.
- Ogunsola, A., Sandrolini, L., Mariscotti, A., 2015. Evaluation of Stray Current From a DC Electrified Railway With Integrated Electric–Electromechanical Modeling and Traffic Simulation. *IEEE Transactions On Industry Applications*, 51, pp. 5431-5441.
- Ozdemir, H., 2013. Artificial Neural Networks and Their Usage in Weaving Technology. *Electronic Journal of Textile Technologies*, 7, pp. 51-68.
- Park, J., D., 2015. Ground Fault Detection And Location For Ungrounded DC Traction Power Systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64, pp. 5667-5676.
- Partal, S., Senol, İ., Bakan, A., F., Bekiroglu, K., N., 2011. Online Speed Control of a Brushless AC Servomotor Based On Artificial Neural Networks. *Turk J Elec Eng & Comp Sci.*, 19, pp. 373-383.
- Sahin, M., Buyuktumturk, F., Oguz, Y., 2013. Light Quality Control with Artificial Neural Networks. *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*, 13, pp. 1-10.
- Smidl, V., Janous, S., Peroutka, Z., 2015. Improved Stability of DC Catenary Fed Traction Drives Using Two-Stage Predictive Control. *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 62, pp. 3192-3201.
- Takagi, R., 2012. Preliminary evaluation of the energy-saving effects of the introduction of superconducting cables in the power feeding network for DC electric railways using the multi-train power network simulator. *IET Electrical Systems in Transportation*, 2, pp. 103-109.
- Takagi, R., Amano, T., 2014. Optimisation of reference state-of-charge curves for the feed-forward charge/discharge control of energy storage systems on-board DC electric railway vehicles. *IET Electrical Systems in Transportation*, 5, pp. 33-42.
- Torreglosa, J., P., García, P., Fernández, L., M., 2014. Predictive Control for the Energy Management of a Fuel-Cell–Battery–Supercapacitor Tramway. *IEEE Transactions On Industrial Informatics*, 10, pp. 276-285.
- Tzeng, Y., S., Lee, C., H., 2010. Analysis of Rail Potential and Stray Currents in a Direct Current Transit System. *IEEE Transactions On Power Delivery*, 25, pp. 1516-1525.
- Wang, W., Cheng, M., Wang, Y., Zhang, B., Zhu, Y., Ding, S., Chen, W., 2014. A Novel Energy Management Strategy of Onboard Supercapacitor for Subway Applications With Permanent-Magnet Traction System. *IEEE Transactions On Power Electronics*, 63, pp. 2578-2588.
- Willmott, C., J., Matsuura, C., 2005. Advantages Of The Mean Absolute Error (MAE) Over The Root Mean Square Error (RMSE) In Assessing Average Model Performance, *Climate Research*, 30, pp. 79-82.
- Xu, S., Y., Li, W., Wang, Y., Q., 2013. Effects of Vehicle Running Mode on Rail Potential and Stray Current in DC Mass Transit Systems. *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, 62, pp. 3569-3580.
- Yakut, E., Elmas, B., Yavuz, S., 2014. Predicting Stock-Exchange Index Using Methods Of Neural Networks And Support Vector Machines. *Suleyman Demirel University The Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 19, pp. 139-157.
- Yurtcu, S., Ozocak, A., 2016. Prediction Of Compression Index Of Fine-Grained Soils Using Statistical And Artificial Intelligence Methods. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31, pp. 597-608.



Acil Servislerde Talebin Zaman Serileri Modelleri ile Tahmin Edilmesi

Time Series Modelling for Forecasting Demand in the Emergency

Görkem SARIYER *1

¹Yaşar Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, 35100 Bornova, İzmir, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 02/09/2017

Kabul/Accepted: 04/12/2017

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Öz

Acil servislerde talebin etkin olarak yönetilmesi hastane yöneticilerinin (karar vericilerin) önemli bir görevi haline gelmektedir. Günümüzde, hastane yöneticileri, hasta akışının ve aşırı kalabalıklaşmanın en iyi şekilde yönetilebilmesi için strateji geliştirmeye odaklanmaktadır. Acil durumlarda zaman çok kritiktir ve yaşam ve ölüm arasındaki farkı ifade eder. Bu nedenle acil servislerde önemli oranda kaynak bulundurulması gerekmektedir, fakat kaynaklar sınırlıdır. Bu bağlamda, acil servislere talebin en az hata ile tahmin edilmesi, operasyonların planlanması ve yönetilmesinde büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı; İzmir, Türkiye'deki büyük ölçekli bir eğitim hastanesi acil servisinde talebi zaman serileri modelleri ile tahmin etmektir. Kış aylarında acil servis talebinde ciddi bir artış beklendiği için, talep tahminlemede kış aylarına odaklanılmıştır. Hastane veri tabanı kullanılarak, 1 Aralık 2016-28 Şubat 2017 arasında acil servise yapılan başvurular elde edilmiştir. 1 Aralık-14 Şubat arasındaki 76 günlük veri farklı otoregresif entegre(bütünlenen) hareketli ortalama (ARIMA) ve mevsimsel otoregresif entegre hareketli ortalama (SARIMA) modellerinin uygunluk ve test edilmesinde kullanılırken, kalan 14 günlük veri de uygun modellerin performanslarının karşılaştırılmasında kullanılmıştır. Günlük ve periyodik (8-saat aralıkları) tahminler elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu çalışma acil servis hasta sayısının tahminlemede zaman serileri modellerinin uygun olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler

“Acil servis, talep tahmin, ARIMA, hasta sayısı, aşırı yoğunluk”

Abstract

Managing demand efficiently in emergency departments (ED) has become an important task for decision makers of hospitals. Currently, decision makers focus on improving strategies for optimally managing flow of patients and overcrowding in EDs. Since time is very critical for emergency situations, and can generally mean the difference between life and death, EDs need substantial amount of resources which are indeed limited. In this context, forecasting demand in ED with a minimum error, has noticeable significance for hospitals in planning and managing operations. The objective of this paper was to develop time series models for forecasting demand at the ED of a large scaled training hospital in Izmir, Turkey. Since in winter periods, a significant increase is expected in demand, forecasting demand during winter period is focused. By using Electronic Health Record (EHR) of this hospital, demand in ED during 1st of December, 2016 to 28th of February, 2017 were obtained. First 76 days data (1st December to 14th February) were used to test appropriateness and accuracy of different autoregressive integrated moving average (ARIMA), and seasonal autoregressive integrated moving average (SARIMA) models, where remaining 14 days were used to test the performance of them. Daily and periodical (8-hour lengths) forecasts were evaluated and compared. This study shows how time series models are proper in forecasting patient volumes in EDs.

Key Words

“Emergency department, demand forecasting, ARIMA, patient volume, overcrowding”

1. GİRİŞ

Acil servisler hastalara anlık ve temel bakım hizmeti sunma özellikleri ile sağlık sistemlerinin vazgeçilmez bir bileşeni olmakla birlikte en fazla hasta yoğunluğuna sahip bölümdür. Acil servislerde aşırı yoğunluk, sistem için bir tehdit unsuru olmakta ve operasyonların etkin bir şekilde planlanması ve yönetilmesini zorunlu hale getirmektedir. Dünya çapında hemen hemen tüm acil servislerde karşılaşılan aşırı hasta yoğunluğunun başlıca sebepleri şu şekilde sıralanabilir: Yetersiz istihdam ve yatak kapasitesi (Cooke ve ark., 2004; Sun ve ark., 2006), insanların sağlık sistemlerinden beklentilerinin artması ile birlikte acil servis başvurularının artması (Howard ve ark., 2005), grip gibi salgın hastalıklar (Schull ve ark., 2005), yaşlı nüfusundaki artış (Derose ve ark., 2014; Sariyer ve ark., 2017a), ve acil servise başvuru yapan poliklinik hastaları ve servise girip hizmet almadan çıkan kişiler (Baker ve ark., 1991; Rowe ve ark., 2006). Bu ve benzeri sebeplerle hasta sayısındaki artış, bir çok ülkede acil servislerde aşırı yoğunluğa sebep olmakta, ve gerek sağlık sistemlerini, halk sağlığını, gerekse de hasta memnuniyetini ciddi oranda etkilemektedir (Kolker, 2008; Bair ve ark., 2010; Li ve ark., 2007).

Gün geçtikçe artan hasta sayısı ve aşırı kalabalıklaşma gibi faktörler acil servislerde yöneticilerin (karar vericilerin) operasyon yönetiminde karşılaştığı problemlerin başında gelmektedir. Bu problemle baş etmenin en etkin yolu, kısa dönemli tahminler üretmek (Kadri ve ark., 2014; Hertzum, 2017), ve kapasite planlamasını bu tahminler çerçevesinde dinamik bir şekilde yapmaktır (Sariyer ve ark., 2017b). Acil servislerde talebin minimum hata ile tahmin edilmesi ve operasyonların daha doğru planlanması, aşırı yoğunluk ile baş etmek için stratejiler geliştirilmesi ve hasta memnuniyetinin artması açısından önem arz etmektedir. Zaman serisi analizleri kısa-uzun dönem talep tahminlerinde hastane yöneticilerinin etkin şekilde kullanabileceği modellerdendir.

Bu çalışmadaki temel amaç, İzmir’de büyük ölçekli bir üçüncü basamak eğitim hastanesinde talebin zaman serileri analizi kullanılarak tahmin edilmesidir. Çalışmada farklı otoregresif entegre hareketli ortalama (ARIMA) ve mevsimsel otoregresif entegre hareketli ortalama (SARIMA) modelleri test edilmiştir. Özellikle grip ve benzeri salgın hastalık sayısındaki artış baz alınarak, kış dönemine odaklanılmış ve hastane veri tabanından 1 Aralık 2016-28 Şubat 2017 dönemi hasta sayıları çekilmiştir. Çalışmada günlük talep tahminlemesinin yanında, 8 saat aralıkları göz önünde bulundurularak; [00:00-08:00), [08:00-16:00), [16:00-00), periyodik talep tahminleri de üretilmiştir. Veri setinin ilk 76 günlük kısmında (1 Aralık-14 Şubat) gün ve period bazlı uygun ARIMA ve SARIMA modelleri geliştirilmiş ve kalan 14 günlük veri (15 Şubat-28 Şubat), uygun bulunan modellerin performans testlerinde kullanılmıştır.

Çalışmanın sonucunda, önerilen modellerin hastane yöneticileri tarafından kullanılabilirliği ve bu şekilde talebin önceden etkin bir biçimde öngörülmesi ile kapasite ve kaynak planlamasının en uygun şekilde yapılabileceği gözlenmiştir. Bunun yanında, 8 saatlik periyodlar için üretilen tahminlerin günlük talep tahminlerine göre daha iyi sonuç vermesi (hatayı azaltması) göz önünde bulundurularak, acil servislerde dinamik planlamanın daha etkili olacağı sonucuna varılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Talep tahmini çalışmaları, istatistik ve operasyon yönetimi literatüründe önemli yer tutmaktadır. Birçok farklı alanda yapılan talep tahmin çalışmaları, son yıllarda özellikle gelişmiş ülkelerde acil servisler için de kullanılmaya başlanmıştır. Türkiye’de ise farklı sektörlerde talep tahminlemede zaman serileri modelleri kullanımı son yıllarda hızla artış gösterirken, sağlık sektörü üzerine uygulamalar literatürde henüz pek fazla yer almamaktadır. Bu kısımda ilk önce Türkiye’de zaman serileri modellerinin kullanıldığı çalışmaların bir kısmı özetlenecek, daha sonra da dünya literatüründe sağlık sektörü üzerine yapılan uygulamaların bazılarını değinilecektir.

Son yıllarda Türkiye’de zaman serileri kullanılarak farklı sektörler için yapılmış talep tahmin çalışmalarının bir kısmı şu şekilde özetlenebilir:

- Petrol talep tahminlemesi: Solak, 2013; Ediger ve Akar, 2007.
- Elektrik talebinin tahmin edilmesi: Dilaver ve Hunt (2011a ve 2011b); Albayrak, 2010; Erdoğan, 2007; Hamzaçebi ve Kutay, 2004.
- Dış ticaret hacmi projeksiyonu: Temuçin ve Temiz, 2016; Karahan, 2015.
- Turizm talep tahminlemesi: Çuhadar ve ark., 2009; Güngör ve Çuhadar, 2005.
- Finans sektöründe tahmin uygulamaları: Yıldız, 2001; Yasemin, 2002.
- Sağlık sektörü talep tahmini: Aydemir ve ark., 2014; Özüdoğru ve Görener, 2015; Özüdoğru ve Görener, 2016

Dünya literatüründe, sağlık sektörü talep tahminlemesinde zaman serileri modelleri kullanımı dikkat çekmektedir (Jones et al., 2008). Hareketli ortalama, üssel düzeltim, ve Holt-Winters literatürde sağlık sektörü ve acil servis talep tahminlemesinde sıklıkla kullanılan zaman serileri modellerinin arasında gelmektedir (örn: Lin, 1989; Jones ve ark., 2009; Bergs ve ark., 2014; Tandberg ve Qualls, 1994). Box-Jenkins metodu veya ARIMA-SARIMA modelleri de sağlık sektörü talep tahminlemesinde sıklıkla kullanılan modellerdendir (örn: Abdel-Aal ve Mangoud., 1998; Jones ve ark., 2002; De Gooijer ve Hyndman, 2006; Barışçı, 2008; Balaguer ve ark., 2008; Kennedy ve ark., 2013; Kim ve ark., 2014; Capan ve ark., 2016). Bu çalışmalar, sağlık sektöründe talep tahminleri üretilirken, özellikle kısa dönem tahminlerde, zaman serisi modellerinin iyi performans sergilediğini göstermişlerdir. Bunun yanında, durağan veri setlerinde, örneğin saat bazlı hasta sayısının tahmin edilmesinde, daha basit yöntemlerin dahi, hareketli ortalama ve üssel düzeltim, kullanılabilirliği sonucuna varılırken (Tandberg ve Qualls, 1994), trend ve mevsimsellik içeren veri setlerinde, Holt-Winters ve Box-Jenkins gibi, daha gelişmiş modellerin kullanılması gerektiği belirtilmiştir (Kim ve ark., 2014; Jones ve ark., 2008).

Bahsi geçen çalışmalar tahmin periyodu olarak, saat, gün, veya ay kullanılmaktadırlar. Örneğin, Tandberg ve Qualls (1994) ve Jones ve ark. (2009) her saat için acil servise gelen hasta sayısını tahmin ederken, Capan ve ark. (2016), günlük hasta sayısını tahmin eden modeller geliştirmiş, ve mevsimsellik periyodunu 7 olarak belirlemişlerdir. Bergs ve ark. (2013) ise ay bazlı tahminler geliştirmiş ve mevsimsellik periyodunu 12 olarak almışlardır. Kısa dönem tahminlerde, saat bazlı analizlerin talepteki varyansı azaltması, veriyi daha sabit hale getirmesi, sebebiyle, iyi performans gösterdiği düşünülebilir. Fakat, acil servislerde operasyonel açıdan bu tahminlerin kullanılması pek mümkün değildir. Çünkü, her saat başında personel sayısını değiştirmek, hastaların hikayesini yeni gelen personele aktarmak işleyişteki verimliliği ciddi ölçüde aksatabileceği gibi malpraktislere de sebep olabilir. Bu nedenle, bu çalışmada hasta sayısını acil servis literatüründe belirtilen ve birçok acil serviste uygulanan shiftler-vardiyalar bazında tahmin etmenin daha uygulanabilir ve gerçekçi olduğu düşünülmüştür. Ayrıca bilgimiz dahilinde, kış mevsiminde salgın hastalıklardaki artışı göz önünde bulundurarak, bu mevsim özelinde hasta sayısı tahmin eden modeller geliştiren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dolayısı ile, bu çalışma literatürde talep tahminlemede sıklıkla kullanılan modellerden yararlı olsa da, gerek veri toplamada Türkiye’de bir acil servisten yararlanılması, gerek periyod bazlı tahminler üretmesi, gerekse kış mevsimini kendi özelinde değerlendirmesi bakımından literatüre katkı sağlamaktadır.

3. YÖNTEM

Çalışmada zaman serileri analizinde Box-Jenkins yöntemi kullanılmaktadır. Bu teknik kesikli, doğrusal stokastik süreçlere dayanmaktadır. Başlıca Box-Jenkins tahmin modelleri otoregresif (autoregressive-AR) entegre(integrative-I) hareketli ortalama (moving average-MA) ve mevsimsel (seasonal-S) otoregresif entegre hareketli ortalama modelleridir. Bu modelin genel yapısı ARIMA $(p, d, q) * (P, D, Q)_s$ olarak gösterilmektedir. Burada p, d ve q mevsimsel olmayan birleşenin parametrelerini ifade ederken, P, D ve Q benzer şekilde mevsimsel birleşenin parametrelerini göstermekte ve s ’de mevsimsellik periyodunu ifade etmektedir. AR(p), MA(q) ve bunların birleşimi olan ARMA(p, q) modelleri mevsimsel olmayan durağan süreçler için kullanılırken, ARMA(p, q) * $(P, Q)_s$ mevsimsel ve durağan süreçler için kullanılmaktadır. Durağan ve mevsimsel olmayan süreçler ARIMA (p, d, q) modelleri ile ifade edilirken, durağan olmayan mevsimsel süreçler ARIMA $(p, d, q) * (P, D, Q)_s$ modelleri ile ifade edilmektedir (Box, Jenkins, ve Reinsel, 2008).

Bilinen tüm bu modellerle ilgili ayrıntıya burada yer verilmeyecektir. Sadece bahsi geçen modellerin temel matematiksel ifadeleri sırasıyla özetlenecektir.

- **AR(p)** modeli sezgisel olarak cazip bir model olarak ifade edilebilir, bir gözlem direk olarak kendisinden bir veya birkaç (p) dönem önceki değerlerin ve rassal hatanın doğrusal bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Dolayısı ile zaman serisindeki Y_t gözlemi, AR(p) modeline göre şu şekilde ifade edilmektedir:

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

Bir numaralı eşitlikte, Y_{t-i} terimleri geçmiş gözlemleri, α_i değerleri de bu gözlemler için katsayıları ifade eder ($i=1,..,p$). ε_t ise standart normal dağılıma sahip rassal hatayı ifade etmektedir; $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$

- **MA(q)** modelinde ise Y_t değeri, serinin geriye doğru q period boyunca geçmiş hata terimlerinin ve ortalamasının doğrusal fonksiyonudur. Y_t gözleminin, MA(q) modeli ile ifadesi şu şekildedir:

$$Y_t = \varepsilon_t + \sum_{j=1}^q b_j \varepsilon_{t-j} \quad (2)$$

Benzer şekilde, iki numaralı eşitlikte ε_{t-j} terimleri mevsimsel olmayan geçmiş hata terimlerini gösterirken, b_j değerleri bu gözlemler için katsayıları ifade eder ($j=1,..,q$).

- **ARMA(p, q)** modeli geçmiş gözlem ve geçmiş hata terimlerinin doğrusal bir fonksiyonudur.

$$Y_t = \sum_{i=1}^p \alpha_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^q b_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t \quad (3)$$

Üç numaralı eşitlikte gösterilen parametreler, bir ve iki numaralı eşitliklerde tanımlanmıştır.

- **ARIMA(p, d, q)** modeli zaman serisinin durağan olmadığı durumlarda, diğer bir deyişle, serinin ortalama ve varyansında zamana bağlı değişim gözlemlendiğinde, kullanılmaktadır. Böyle durumlarda zaman serisinde fark alınarak, serinin durağanlaştırılması işlemi gerçekleştirilmektedir. Modeldeki d parametresi seride kaç kere fark alındığını ifade etmektedir. Zaman serisinde lineer bir trend var ise bir kere fark alınarak seri durağan hale getirilebilir. Eğer trend eğrisel ise farkların tekrar farkı alınarak, yani iki kere fark serisi oluşturularak, seri durağan hale getirilebilir. Seri durağan hale getirildikten sonra daha önce bahsedildiği şekliyle AR(p), MA(q), veya ARMA(p,q) modelleri uygulanır.

Zaman serileri analizinde lag operatörleri, B, kullanılmaktadır, ve bu operatör şu şekilde tanımlanmaktadır: $B^k Y_t = Y_{t-k}$. Bu operatör zaman serilerindeki gözlem üzerinde çalıştırılarak, bir önceki gözlemin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu operatörün kullanılması ile üç numaralı eşitlik, şu şekilde yeniden gösterilebilir:

$$\Phi(B)Y_t = \theta(B)\varepsilon_t$$

$$\begin{aligned} \phi(B) &= (1 - a_1B - a_2B^2 - \dots - a_pB^p) \\ \theta(B) &= (1 - b_qB - b_qB^2 - \dots - b_qB^q) \end{aligned} \quad (4)$$

- Mevsimsellik içeren veri setlerinde de benzer mantıkla mevsimsellik periyodu uzaklıktaki gözlemler veya/ve bu gözlemlerdeki geçmiş hata terimleri de modele eklenir. En genel hali ile mevsimsel ARIMA modelleri aşağıdaki matematiksel ifadelerle gösterilmektedir:

$$\Phi_p(B^s)\phi_p(B)\nabla_s^D\nabla^dY_t = \theta_q(B)\theta_q(B^s)\varepsilon_t \quad (5)$$

Beş numaralı eşitlikte:

$\Phi_p(B^s) = (1 - \phi_1B^s - \dots - \phi_pB^{sP})$ parametresi P olan mevsimsel otoregresif operatörü

$\phi_p = (1 - \phi_1B - \dots - \phi_pB)$ parametresi p olan ve mevsimsel olmayan otoregresif operatörü

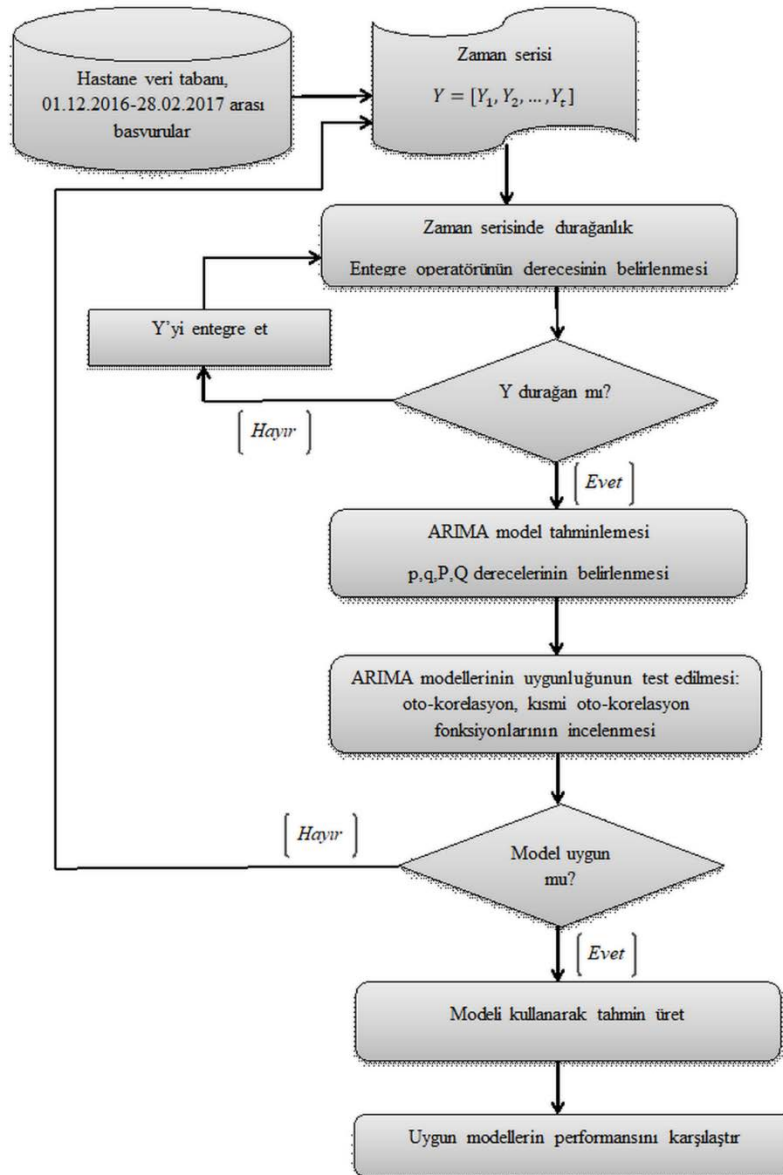
$\nabla_s^D = (1 - B^s)^D$ mevsimsel entegre operatörü

$\nabla^d = (1 - B)^d$ mevsimsel olmayan entegre operatörü

$\theta_q(B^s) = (1 - \theta_1B^s - \dots - \theta_qB^{sQ})$ parametresi Q olan mevsimsel hareketli ortalama operatörünü

$\theta_q(B) = (1 - \theta_1B - \dots - \theta_qB)$ parametresi q olan mevsimsel olmayan hareketli ortalama operatörünü göstermektedir.

Zaman serileri analizinde ARIMA $(p, d, q) * (P, D, Q)_s$ modellerinin kullanılmasındaki aşamalar Şekil 1’de özetlenmiştir.



Şekil 1: ARIMA modeli uygulama aşamaları

4. UYGULAMA

4.1. Çalışma Verisi

Araştırmada İzmir’de 3. basamak bir araştırma hastanesi acil servisine 01.12-2016-28.02.2017 tarihleri arasında yapılan başvurular kullanılmıştır. Bu başvurular hastanenin veri tabanından çekilmiştir. Araştırmanın amacı, gün ve periyod bazlı hasta sayısını tahmin etmek olduğu için, günlük toplam hasta sayısı ve her periyod başına düşen hasta sayısı veri olarak kullanılmıştır. Dolayısı ile, veri tabanından sadece bu tarihler arasında yapılan tüm başvuruların geliş gün ve saati çekilmiştir.

4.2. Veri Analizi

Çalışmada kış periyoduna düşen toplamda 90 günlük veri kullanılmıştır. Bu verinin ilk 76 günlük (01.12.2016-14.02.2017) kısmı uygun modelleri ve bu modellerin parametrelerini belirlemek için kullanılmıştır. Kalan 14 günlük veri ise (15.02.2017-28.01.2017) uygun görülen modellerin tahminleme performansını test etmek için kullanılmıştır. Performans değerlendirmede, diğer bir deyişle, uygulanan yöntemlerin tahmin doğruluğunu karşılaştırmada, *ortalama mutlak yüzde hata* (MAPE), istatistiğinden faydalanılmıştır. Farklı istatistikler olmasına karşın, MAPE’nin seçilme sebebi, bu istatistiğin hatayı yüzde olarak ifade etmesiyle tek başına da bir anlam ifade ediyor ve karşılaştırmayı mümkün kılıyor olmasıdır. Literatürde MAPE değeri %10’un altında olan modeller “çok iyi”, %10-%20 arasında olan modeller “iyi”, %20-%50 arasında olan modeller “kabul edilebilir”, ve %50’nin üzerinde olan modeller de “yanlış ve hatalı” olarak sınıflanmıştır (Lewis, 1982). MAPE istatistiği matematiksel olarak şu şekilde ifade edilmektedir:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{Y_t} * 100 \quad (6)$$

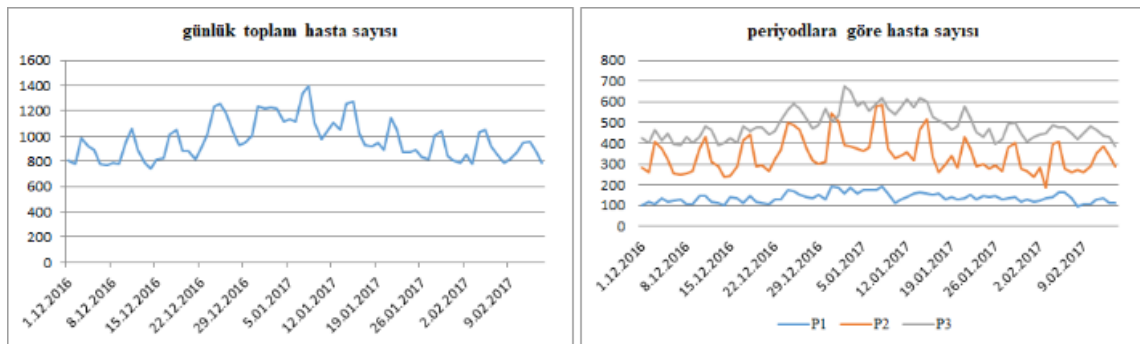
Altı numaralı eşitlikte Y_t t periyodunda gerçekleşen gözlemin değerini gösterirken, \hat{Y}_t , bu dönem için önceden yapılmış tahmini göstermektedir. Dolayısı ile, $|Y_t - \hat{Y}_t|$, yapılan tahminin mutlak hatasını ifade eder. Tahmin yapılan dönem sayısı n ile gösterilmektedir.

Çalışmada periyodlar için tahmin üretmek amacıyla, sağlık sektöründe vardiya (shift) saatlerine uygun tanımlamalar yapılmıştır. Gün 8’er saatlik üç periyoda bölünmüştür. İlk periyod, P1 olarak adlandırılmış, ve [00:00-08:00) zaman dilimini ifade etmiştir. Benzer şekilde P2: [08:00-16:00) periyodunu ifade ederken, P3: [16:00-00:00)’ı göstermiştir. Özetle, günlük toplam hasta sayısının yanında P1, P2, ve P3 periyodlarındaki hasta sayısını tahmin eden modeller de geliştirilmiştir.

Çalışmada verinin durağanlığını test ederken E-Views yazılımından yararlanılmıştır. ARIMA modellerinin uygulanmasında da MINITAB(17.00) yazılımı kullanılmıştır.

5. SONUÇLAR

Acil servise 01.12.2016-14.02.2017 tarihleri arasında günlük toplam ve periyodlara göre yapılan başvuru sayısı Şekil 2 de gösterilmiştir.



Şekil 2: Gün ve periyodlara göre toplam hasta sayısı

Şekil 2 incelendiğinde, gerek günlük gerekse periyodlar bazında hasta sayısında mevsimsellik gözlenmiştir. Ayrıca, P1 periyodunda hasta sayısının her zaman en düşük olduğu, P3 periyodunda da en yüksek olduğu (31 Aralık hariç) gözlenmektedir. Veri setine uygun ARIMA modellerini test etmeden önce Figür 1 de gösterildiği üzere ilk önce verinin durağan olup olmadığını test etmek gerekmektedir. Bu amaçla, birim kök test olan Augmented Dickley Fuller (ADF) test kullanılmıştır. Birim kök testi için sıfır hipotezi şu şekilde ifade edilmektedir:

H_0 : Veri seti birim köke sahiptir.

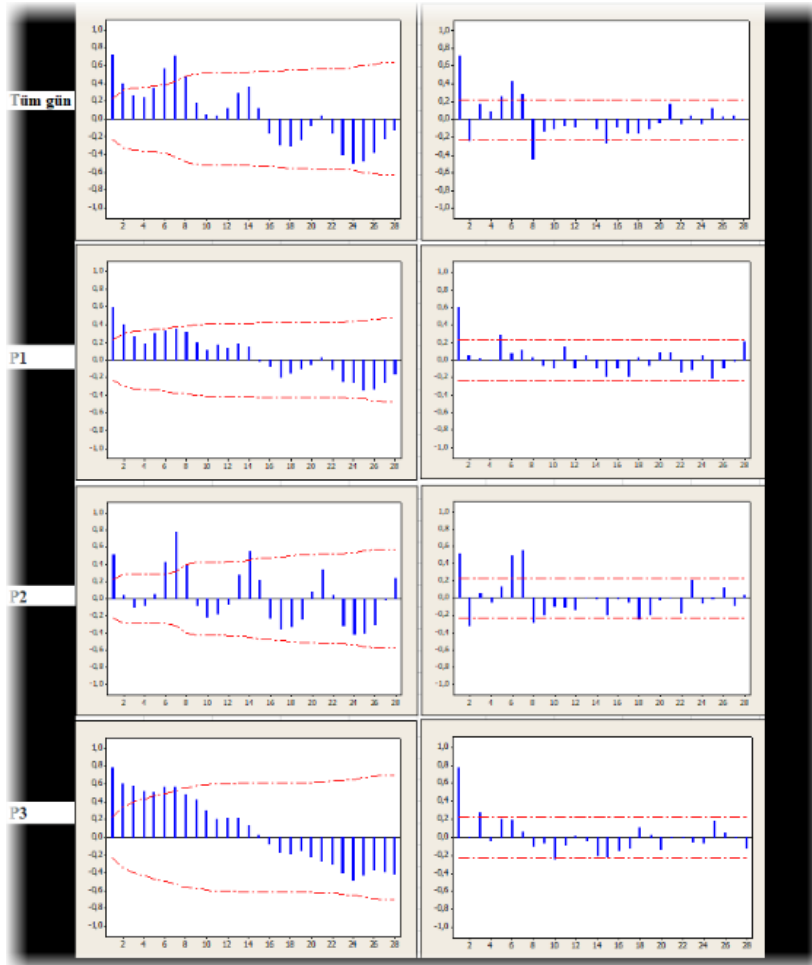
Sıfır hipotezinde belirtilen birim kök verinin durağanlığına zarar vermektedir, ve test sonucunda sıfır hipotezi reddedebilecek değerlere (test istatistiği, p-değeri) ulaşamıyorsa, veri durağan değildir, ve entegre edilmelidir sonucuna varılır. Günlük toplam hasta sayısı ve periyodlar için hasta sayıları veri setlerine uygulanan birim kök test sonuçları Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1: Birim Kök Test Sonuçları

Veri seti	t-istatistik değeri	p-değeri	test sonucu
Tüm gün	-1.31	0.62	Entegre et
P1	-4.25	0.001	Veri durağan
P2	-1.21	0.70	Entegre et
P3	-3.77	0.04	Veri durağan

Tablo 1 de görüldüğü gibi, P1 ve P3 periyodlarını ifade eden veri setlerinin entegre edilmesine gerek yoktur. Tüm gün ve P2 periyodu veri setinin ise kaç kere entegre edilmesi gerektiğini görmek için, veri setleri birer kere entegre edildikten sonra birim kök testi tekrar uygulanmıştır. Tüm gün veri setinin bir kere entegre edilmiş haline test uygulandığında test istatistik değerinin - 3.18, ve p değerinin 0.03 olduğu, benzer şekilde P2 verisinin entegre edilmiş setine birim kök test uygulandığında test istatistik değerinin -4.99 ve p değerinin 0.0001 olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlar dahilinde, tüm gün ve P2 veri setlerinde entegrasyon parametresinin $d=D=1$, P1 ve P3 veri setlerinde ise $d=D=0$ olarak belirlenmesine karar verilmiştir.

Tüm gün ve periyodlar için veri setlerinin korelogram grafikleri Şekil 3’de gösterilmiştir. Bu grafik de veri setleri için oto-korelasyon ve kısmi oto-korelasyon değerleri gözlenmektedir.



Şekil 3: Veri setleri için korelogram grafikleri

Şekil 3 incelendiğinde, tüm gün ve P2 veri setleri için yedinci laglerde yüksek korelasyon değerleri gözlenmiştir. Bu bilgi ışığında, bu veri setlerinin mevsimsel olduğu, ve mevsimsel oto regresif modellerinin bu veri setlerinde daha iyi performans göstereceği sonucuna varılmıştır.

Veri setlerinin yapısını analiz etmek amacıyla yapılan ön çalışmalar ışığında farklı ARIMA (p,d,q) ve ARIMA(p, d, q) * (P, D, Q)_s modelleri ilk 76 günlük veriler için denenmiştir. Her veri setinde farklı uygun modeller belirlenmiştir. Uygun modeller ile son 14 gün için tahminler üretilmiştir. Bu tahminlerde en iyi performansı sergileyen (en düşük MAPE değerine sahip) modeller MAPE değerleri ile birlikte Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2: En iyi tahmin modelleri ve performansları

Veri seti	Model	MAPE
Tüm gün	ARIMA(1,1,1) * (1,0,0) ₇	8.16
P1	ARIMA(1,0,2) * (0,0,0) ₇	7.17
P2	ARIMA(0,1,1) * (1,0,0) ₇	6.64
P3	ARIMA(1,0,1) * (0,0,0) ₇	5.01

Tablo 2’de görülen modeller daha önceki bulgular ile paralellik göstermektedir. Şekil 3’deki korelogram grafiklerinde görüldüğü üzere, tüm gün ve P2 periyodu için veri setlerinde mevsimsel oto-regresif parametre aktiftir. Benzer şekilde durağanlık analizinde görüldüğü üzere, bu veri setleri için veri entegre edilmiştir. Önerilen modellerin, model çıktıları Tablo 3’de özetlenmiştir.

Tablo 3: Model çıktı özeti

Veri seti	Çıktı
Tüm gün	Tür katsayı SE T P
	AR 1 0,7154 0,0856 8,36 0,000
	SAR 7 0,7723 0,0753 10,25 0,000
	MA 1 1,0093 0,0015 658,37 0,000
	Sabit -0,01799 0,05554 -0,32 0,747
Entegre: 1 kere	
Gözlem sayısı: Orjinal veri seti 76, entegre edildikten sonra 75	
Hatalar: SS = 345128	
MS = 4861 DF = 71	
P1	Tür katsayı SE T P
	AR 1 0,9501 0,0610 15,59 0,000
	MA 1 0,3946 0,1317 3,00 0,004
	MA 2 0,2775 0,1264 2,20 0,031
	Sabit 6,5563 0,7414 8,84 0,000
Ortalama 131,38 14,86	
Gözlem sayısı: 76	
Hatalar: SS = 24008,1	
MS = 333,4 DF = 72	
P2	Tür katsayı SE T P
	SAR 7 0,8773 0,0632 13,89 0,000
	MA 1 0,7021 0,0833 8,43 0,000
Entegre: 1 kere	
Gözlem sayısı: Orjinal veri seti 76, entegre edildikten sonra 75	
Hatalar: SS = 149965	
MS = 2054 DF = 73	

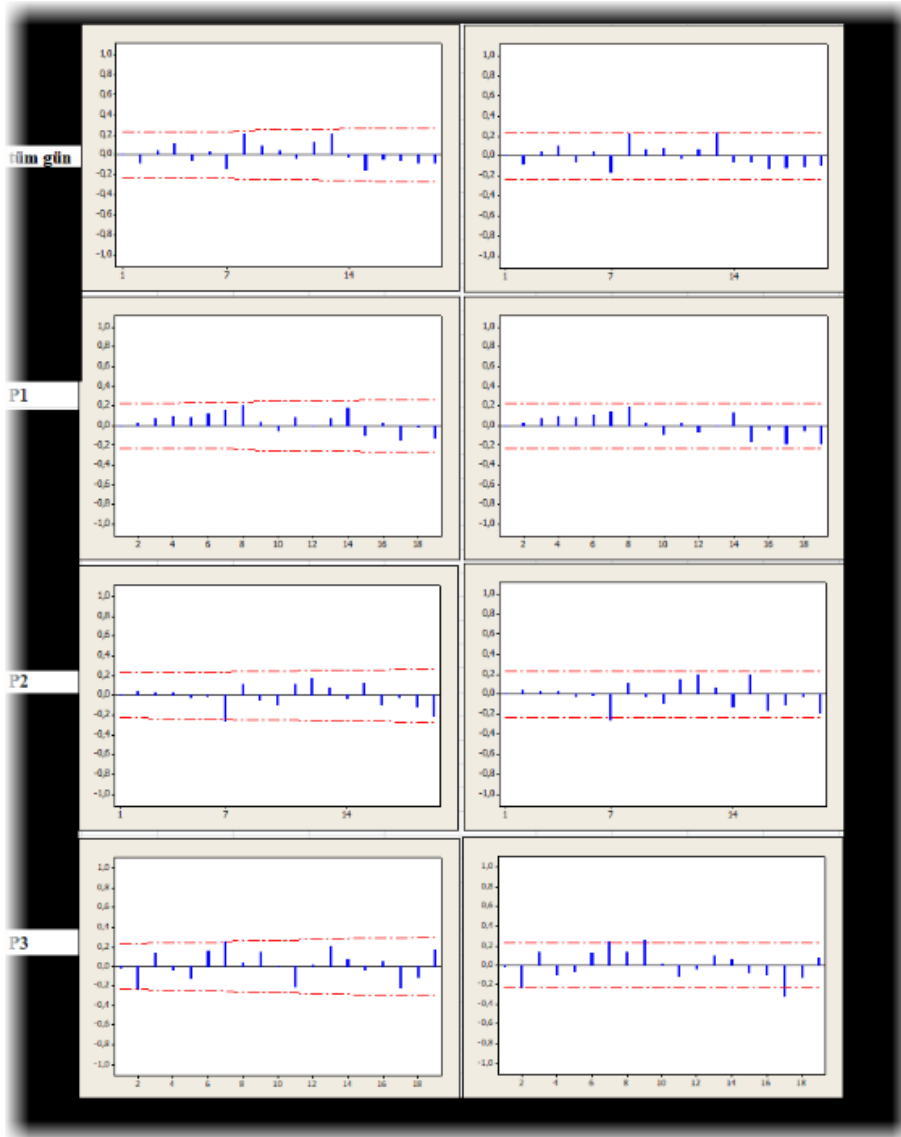
Tablo 3 (devam): Model çıktı özeti

P3	Tür	katsayı	SE	T	P
	AR 1	0,8037	0,0899	8,94	0,000
	MA 1	-0,0190	0,1462	-0,13	0,897
	Sabit	94,332	5,085	18,55	0,000
	Ortalama	480,67	25,91		

Gözlem sayısı: 76

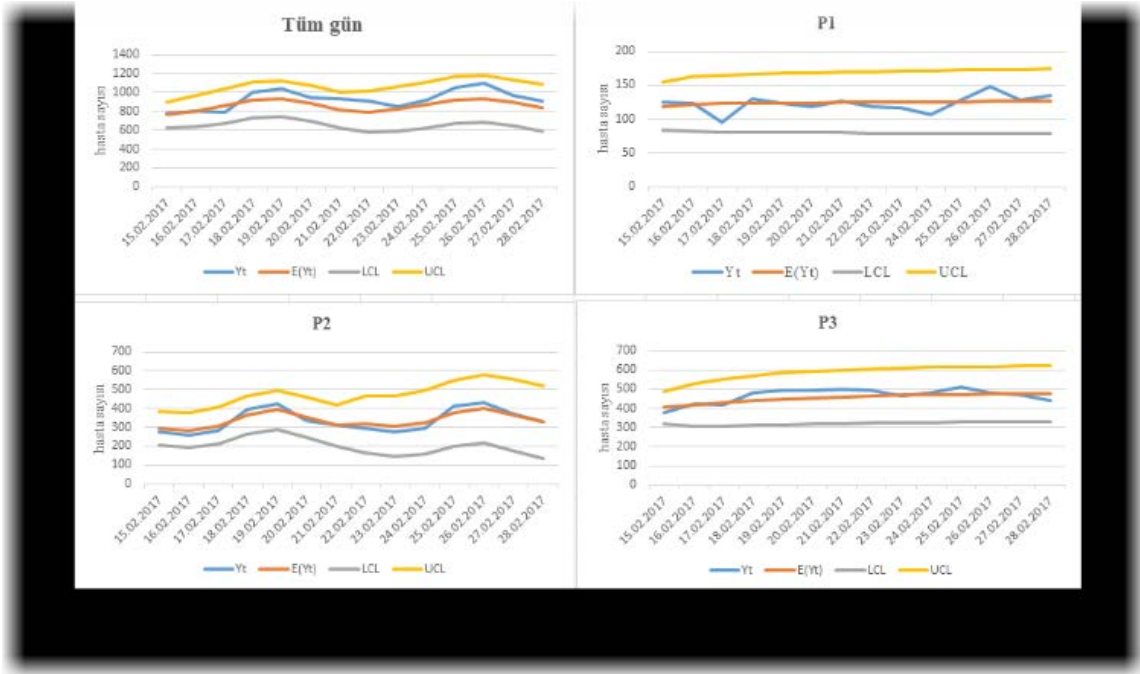
Hatalar: SS = 135679
MS = 1859 DF = 73

Veri setlerinde uygun görülen ARIMA modelleri uygulandıktan sonra hataların korelogram grafikleri Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4: Uygun yöntemler denendikten sonra hataların korelogram grafikleri

Tablo 3’de parametrelerin istatistiksel anlamlılıkları analiz edildiğinde, önerilen modellerdeki parametrelerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ($p < 0.05$) gözlenmiştir. Bununla birlikte, Şekil 4’de korelogram diagramları incelendiğinde, hataların arasında korelasyon olmadığı, yani hataların rassal olduğu sonucuna varılmıştır (tüm zaman dilimleri için korelasyon değerleri kontrol limitleri arasında). Bu sonuçlar ışığında, önerilen modellerin tanımlı veri setleri için uygun ve en iyi tahmin edici modeller olduğu sonucuna varılmıştır. Son olarak, kullanılan veri setleri için 15-28 Şubat arası gerçek gözlemlenen hasta sayıları ve önerilen modeller ışığında tahmin edilen hasta sayıları Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5: Tahmin edilen ve gerçekleşen hasta sayıları

6. ÇALIŞMANIN KISITLARI

Çalışmada kullanılan veri seti, büyük ölçekli ve merkezi bir hastaneden alınmış olsa da tek bir hastane verisinin kullanılmış olması, çalışmanın kısıtlarından biridir. Tek bir hastane verisi kullanılması, önerilen modellerin genellenebilirliğini engellemektedir. Fakat yine de, ele alınan hastane özelinde kullanılabilir modeller belirlenmektedir.

Bunun yanında tek bir kış veri setinin kullanılmış olması da çalışmanın diğer bir kısıtıdır. Tek bir senelik veri kullanılması, verideki (varsa) trend etkisini gözlemlemeyi ve modele eklemeyi engellemektedir. Fakat hastanenin Haziran 2016 tarihinde hasta kabul etmeye başladığı düşünüldüğünde birkaç senelik veri toplamanın şu aşamada mümkün olmadığı bilinmektedir. İleriki çalışmalarda, daha fazla hastaneden uzun süreli (en az beş yıl) veri seti toplayıp, bu veri setlerinin karşılaştırılması ve bütünsel olarak analiz edilmesi planlanmaktadır.

7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Geçmiş verinin istatistiksel olarak analiz edilmesi, operasyon yönetimi açısından çok önemlidir. Bu analizlerin kullanılması, gerek şirketlerde gerekse kamu kuruluşlarında karar vericilerin daha doğru kararlar vermesini ve daha efektif planlar yapmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada büyük ölçekli bir hastane acil servisinin talebinin gelişmiş istatistiksel yöntemlerle tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Hatayı en iyileştiren (en aza indiren) tahmin modellerinin kullanılması acil servis operasyon yönetimi ve kaynak planlaması açısından ciddi bir öneme sahiptir. Firma veya diğer kamu kuruluşlarından farklı olarak, acil servislerde kaynağın yetersiz planlanması, sadece kar (veya müşteri) kaybı ile değil, can kaybı ile bile sonuçlanabilir. Bu nedenle, gelecek ile ilgili doğru tahminler oluşturabilmek, eldeki kaynakların en verimli şekilde kullanılmasını ve operasyonel aksaklıklardan kaynaklanan kaybın en aza indirgenmesini sağlayacaktır.

Kış periyotlarında salgın hastalıklardan kaynaklanan talepteki artış bilinmektedir. Fakat, hastane acil servislerinde yarı zamanlı personel çalıştırmak gibi alternatifler pek mümkün olmadığı için, elde var olan kaynağın en verimli şekilde kullanılması, talebin en yoğun olduğu bu dönemlerde daha da önemli bir hale gelmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada talebin periyotlara göre tahmin

edilmesi amaçlanmıştır. Yapılan veri analizinde de, talebin günün farklı periyodlarına göre eşit dağılmadığı gözlenmiştir (Şekil 2). Dolayısıyla, periyod bazlı tahminler yapıp, kaynak planlama ve çizelgelemesinin bu tahminler ışığında yapılmasının acil servis operasyonlarının daha iyi yönetilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmada ele alınan dört veri seti bulunmaktadır. Bu veri setleri ayrı ayrı incelendiğinde otokorelogram diagramları ve veri yapılarında benzerlikler olduğu gibi farklılıklar da gözlenmiştir (Tablo 1, Şekil 3). Bu bilgiler ışığında da veri setlerini tahmin etmede önerilen model tanımlarının birbirinden farklılık göstermiştir (Tablo 2). Kullanılan modellerin performans test sonuçları incelendiğinde, tüm gün için yapılan tahminlerin periyod bazlı yapılan tahminler kadar başarılı olmadığı sonucuna varılmıştır (Tablo 2, Şekil 5). Genel olarak bakıldığında ise literatürde zaman serileri modellemesinde sıklıkla kullanılan ARIMA, SARIMA modellerinin acil servise gelen hasta sayısını tahmin etmek için de kullanılabileceği ve bu modellerin iyi performans sergileyeceği gözlenmiştir.

Sonuç olarak, acil servise gelen hasta sayısının zaman serileri şeklinde modellenebileceği, fakat günü bir bütün olarak değerlendirmek yerine, çalışma vardiya saatlerine göre değerlendirmenin hem teorik hem de uygulama açısından, operasyonların daha iyi planlanmasını ve yönetilmesini sağlayacağı öngörülmektedir.

REFERANSLAR

- Abdel-Aal, R. E., & Mangoud, A. M. (1998). Modeling and forecasting monthly patient volume at a primary health care clinic using univariate time-series analysis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 56(3), 235-247.
- Albayrak, A. S. (2010). ARIMA forecasting of primary energy production and consumption in Turkey: 1923-2006. *Enerji, piyasa ve düzenleme*, 1(1), 24-50.
- Aydemir, E., Karaatlı, M., Yılmaz, G., & Aksoy, S. (2014). 112 acil çağrı merkezine gelen çağrı sayılarını belirleyebilmek için bir yapay sinir ağları tahminleme modeli geliştirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi* 20(5):145-149
- Bair, A. E., Song, W. T., Chen, Y. C., & Morris, B. A. (2010). The impact of inpatient boarding on ED efficiency: a discrete-event simulation study. *Journal of medical systems*, 34(5), 919-929.
- Baker, D. W., Stevens, C. D., & Brook, R. H. (1991). Patients who leave a public hospital emergency department without being seen by a physician: causes and consequences. *Jama*, 266(8), 1085-1090.
- Balaguer, E., Palomares, A., Soria, E., & Martín-Guerrero, J. D. (2008). Predicting service request in support centers based on nonlinear dynamics, ARMA modeling and neural networks. *Expert Systems with Applications*, 34(1), 665-672.
- Barişçi, N. (2008). The adaptive ARMA analysis of EMG signals. *Journal of medical systems*, 32(1), 43-50.
- Bergs, J., Heerinckx, P., & Verelst, S. (2014). Knowing what to expect, forecasting monthly emergency department visits: A time-series analysis. *International emergency nursing*, 22(2), 112-115.
- Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons.
- Capan, M., Hoover, S., Jackson, E. V., Paul, D., & Locke, R. (2016). Time series analysis for forecasting hospital census: Application to the Neonatal Intensive Care Unit. *Applied clinical informatics*, 7(2), 275.
- Cooke, M. W., Wilson, S., Halsall, J., & Roalfe, A. (2004). Total time in English accident and emergency departments is related to bed occupancy. *Emergency Medicine Journal*, 21(5), 575-576.
- Çuhadar, M., Güngör, İ., & Göksu, A. (2009). Turizm talebinin yapay sinir ağları ile tahmini ve zaman serisi yöntemleri ile karşılaştırmalı analizi: Antalya iline yönelik bir uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(1).
- Derose, S. F., Gabayan, G. Z., Chiu, V. Y., Yiu, S. C., & Sun, B. C. (2014). Emergency department crowding predicts admission length-of-stay but not mortality in a large health system. *Medical care*, 52(7), 602.
- Dilaver, Z., & Hunt, L. C. (2011a). Industrial electricity demand for Turkey: a structural time series analysis. *Energy Economics*, 33(3), 426-436.
- Dilaver, Z., & Hunt, L. C. (2011b). Modelling and forecasting Turkish residential electricity demand. *Energy Policy*, 39(6), 3117-3127.
- Ediger, V. Ş., & Akar, S. (2007). ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey. *Energy Policy*, 35(3), 1701-1708.

- Erdogdu, E. (2007). Electricity demand analysis using cointegration and ARIMA modelling: A case study of Turkey. *Energy policy*, 35(2), 1129-1146.
- Hamzaçebi, C., & Kutay, F. (2004). Yapay sinir ağları ile Türkiye elektrik enerjisi tüketiminin 2010 yılına kadar tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(3).
- Hertzum, M. (2017). Forecasting Hourly Patient Visits in the Emergency Department to Counteract Crowding. *The Ergonomics Open Journal*, 10(1).
- Howard, M. S., Davis, B. A., Anderson, C., Cherry, D., Koller, P., & Shelton, D. (2005). Patients' perspective on choosing the emergency department for nonurgent medical care: a qualitative study exploring one reason for overcrowding. *Journal of Emergency Nursing*, 31(5), 429-435.
- De Gooijer, J. G., & Hyndman, R. J. (2006). 25 years of time series forecasting. *International journal of forecasting*, 22(3), 443-473.
- Güngör, İ., & Çuhadar, M. (2005). Antalya İline Yönelik Alman Turist Talebinin Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Tahmini. *Gazi Üniversitesi Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi*, 1, 84-99.
- Jones, S. S., Thomas, A., Evans, R. S., Welch, S. J., Haug, P. J., & Snow, G. L. (2008). Forecasting daily patient volumes in the emergency department. *Academic Emergency Medicine*, 15(2), 159-170.
- Jones, S. A., Joy, M. P., & Pearson, J. (2002). Forecasting demand of emergency care. *Health care management science*, 5(4), 297-305.
- Jones, S. S., Evans, R. S., Allen, T. L., Thomas, A., Haug, P. J., Welch, S. J., & Snow, G. L. (2009). A multivariate time series approach to modeling and forecasting demand in the emergency department. *Journal of biomedical informatics*, 42(1), 123-139.
- Kadri, F., Harrou, F., Chaabane, S., & Tahon, C. (2014). Time series modelling and forecasting of emergency department overcrowding. *Journal of medical systems*, 38(9), 107.
- Karahan, M. (2015). Yapay Sinir Ağları Metodu İle İhracat Miktarlarının Tahmini: ARIMA ve YSA Metodunun Karşılaştırmalı Analizi. *Ege Academic Review*, 15(2).
- Kennedy, K., Salzillo, M., Olinsky, A., & Quinn, J. (2013). Forecasting patient volume for a large hospital system: A comparison of the periodicity of time series data and forecasting approaches. In *Advances in Business and Management Forecasting* (pp. 33-44). Emerald Group Publishing Limited.
- Kim, K., Lee, C., O'Leary, K., Rosenauer, S., & Mehrotra, S. (2014). *Predicting patient volumes in hospital medicine: A comparative study of different time series forecasting methods*. Tech. rep., Northwestern University.
- Kolker, A. (2008). Process modeling of emergency department patient flow: Effect of patient length of stay on ED diversion. *Journal of Medical Systems*, 32(5), 389-401.
- Lewis, C. D. (1982). *Industrial and business forecasting methods: A Radical guide to exponential smoothing and curve fitting*. Colin David.
- Li, G., Lau, J. T., McCarthy, M. L., Schull, M. J., Vermeulen, M., & Kelen, G. D. (2007). Emergency department utilization in the United States and Ontario, Canada. *Academic Emergency Medicine*, 14(6), 582-584.
- Lin, W. T. (1989). Modeling and forecasting hospital patient movements: Univariate and multiple time series approaches. *International Journal of Forecasting*, 5(2), 195-208.
- Özudoğru, A. G., & Görener, A. (2015). Sağlık sektöründe talep tahmini üzerine bir uygulama. <http://hdl.handle.net/11467/940>.
- Özudoğru, A. G., & Gorener, A. (2016). Method Selection for Demand Forecasting: Application in a Private Hospital. *International Journal of Decision Sciences & Applications-IJDSA*, 1(1), 22-34.
- Rowe, B. H., Channan, P., Bullard, M., Blitz, S., Saunders, L. D., Rosychuk, R. J., ... & Holroyd, B. R. (2006). Characteristics of patients who leave emergency departments without being seen. *Academic Emergency Medicine*, 13(8), 848-852.
- Sariyer, G., Ataman, M. G., Sofuoğlu, T., & Sofuoğlu, Z. (2017a). Does ambulance utilization differ between urban and rural regions: a study of 112 services in a populated city, Izmir. *Journal of Public Health*, 1-7.
- Sariyer, G., Ataman, M. G., Akay, S., Sofuoğlu, T., & Sofuoğlu, Z. (2017b). An analysis of Emergency Medical Services demand: Time of day, day of the week, and location in the city. *Turkish Journal of Emergency Medicine*, 17(2), 42-47.

- Schull, M. J., Mamdani, M. M., & Fang, J. (2005). Influenza and emergency department utilization by elders. *Academic emergency medicine, 12*(4), 338-344.
- Solak, A. O. (2013). Türkiye'nin Toplam Petrol Talebi ve Ulaştırma Sektörü Petrol Talebinin Arıma Modeli İle Tahmin Edilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 18*(3).
- Sun, B. C., Mohanty, S. A., Weiss, R., Tadeo, R., Hasbrouck, M., Koenig, W., ... & Asch, S. (2006). Effects of hospital closures and hospital characteristics on emergency department ambulance diversion, Los Angeles County, 1998 to 2004. *Annals of emergency medicine, 47*(4), 309-316.
- Tandberg, D., & Qualls, C. (1994). Time series forecasts of emergency department patient volume, length of stay, and acuity. *Annals of emergency medicine, 23*(2), 299-306.
- Temuçin, T., & Temiz, İ. (2016). Türkiye dış ticaret ihracat hacminin projeksiyonu: Holt-Winters ve Box-Jenkins modellerinin bir kıyaslaması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 21*(3).
- Yasemin, B. E. N. L. (2002). Finansal Başarısızlığın Tahmininde Yapay Sinir Ağı Kullanımı ve MKB'de Bir Uygulama. *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi, 17*-30.
- Yıldız, B. (2001). Finansal başarısızlığın öngörülmesinde yapay sinir ağı kullanımı ve halka açık şirketlerde ampirik bir uygulama. *İMKB Dergisi, 17*, 51-67.



A Comparison Study of the Optical Measurement Sensitivity of the Phototransistor and Photodiode

Mehmet Ali ÖZÇELİK *¹

¹Gaziantep University, Gaziantep Merkez Kampüsü, 27310 Gaziantep, TURKEY

Başvuru/Received: 20/04/2017

Kabul/Accepted: 18/12/2017

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Abstract

Depending on the amount of light they receive, the light-sensitive circuit elements generate electrical signals such as current, voltage, and resistance. Thus, these sensors are widely used in light measurement systems, light control systems, and opto-couplers. In this study underhand, the electrical values produced by the application of increasing light on the photodiodes and phototransistors are analysed. According to values obtained, the 9.44 standard deviation shows that photodiode has a better performance than phototransistor in terms of light sensitivity.

Key Words

" Photodiode, Phototransistor, Light Intensity, Lux-meter, Photo-current "

1. Introduction

Day-time light is indispensable for indoor areas such as living areas, factories, offices and etc. However, it is also a known fact that most of the times, the amount of energy consumed in these areas is more than needed [Ghassan et a.(2015) and Özçelik(2016)].

This being so, controlling the light intensity of the ambient, and thus saving energy becomes vital [Juan et al.(2016), Toufiq et al.(2016), Gentile et al.(2016)]. To measure and control light, sensors such as phototransistors, photodiode, LDR (Light Dependent Resistor), optocouplers and photocells are utilized [Fathabadi (2016), Kamran et al.(2011), Coşkun et al.(2011), Lau et al.(2006), Özçelik (2016)]. The variation in these sensors' reactions to the light generally result in resistance, current, and voltage. The different electrical signals that are produced by the light sensors based on the light intensity defines the sensor sensitivity. Which is vital for light control and specifically for light measurement tools [Phama and Suhb(2017)]. Practically, the more intense the light, the less resistance, the upper current or voltage, however, the relation between the electrical elements and lux for light sensors is different. Some sensors have a linear tendency in their reactions to the light while others show a different trend. The values generated by the sensors in line with the light intensity are input data of control systems like microcontrollers. Through a mathematical figuring, the data obtained generate an illumination information at the system's output or they help with the adjusting the lighting level of an illumination system. Thus, selecting and adopting these sensors to measure and control systems is crucial.

Photodiode and phototransistor are in the group of photo-detectors, which are widely used in light measurement, control, and detection systems. In this study, photodiode and phototransistor are covered in a closed environment or indoor area. Characteristic curves are created from these current values obtained by varying the light values on these sensors and sensitivities are evaluated.

A photodiode is a semi-conductor element whose reverse direction current increases with the light intensity.

Photodiodes are connected reversely to the circuit, that is to say, the negative (-) tip is connected to anode and the positive (+) to the cathode. The neutral zone in the P-N junction area creates a potential, namely, barrier voltage. If silicon is used in the photodiode structure, barrier voltage is 0.7 V. A small leakage current flows through the photodiode when there is no light. Modern day silicon photodiodes are made by planar diffusion and optical-filters [Oliveira et al. (2016), Vishay Semiconductors (2016)]

The picture and form of photodiode can be seen in Figure 1.

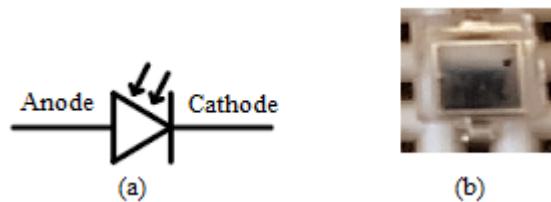


Fig.1. The form (a) and Picture (b) of the Photodiode

The area of use for photodiodes could be listed as in optocouplers, optical communications, lighting control, in the triggering of transistors, in counter circuits, in infrared remote control devices' receivers, sensor of lux-meter. Photodiodes or photoconductors could be used alternatively for many appliances. When the accurate measurement of light intensity is in question, photodiodes are often made, use of in science and industry and also for responding to the light levels, such as in turning on street light when it is evening.

Phototransistors are optoelectronic elements whose collector-emitter current is controlled by light. The bases of these transistors are not used, they are made of light-conducting or insulator. The working of the phototransistors is similar to NPN type and PNP type silicon transistors [Kostov et al. (2011)].

As a PIN of the phototransistors, which has high speed and is radiant-sensitive, a BP 103-5 has been used in this study, which is flat, top view, clear plastic package. It shows sensitivity to visible and close to infrared radiation [Osram(2017)].

Figure 2 shows the picture and form (symbol) of the phototransistor.

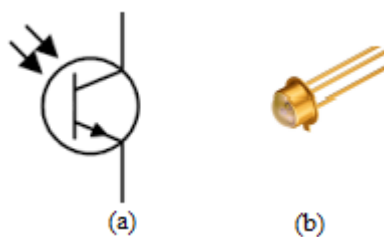


Fig.2. The form (a) and image (b) of the Phototransistor

Phototransistors are light sensitive, photo-bipolar transistors are a popular kind of phototransistors which, by being placed in a transparent case enables light to reach the base-collector. It was first invented by Dr.John N. Shive in 1948. Phototransistors could be used in optical readers and level indicator devices as photodiodes as well. This is possible when the emitter is not connected

while base and collector leads are utilized. Phototransistors could be distinguished from other transistors by the magnifier they have on them [Kostoy et al. (2011)].

The remaining part of the research is divided as follows: experimental part, in which general steps regarding the experiment have been tackled. Lastly, in the results and findings section, the values from photodiode and phototransistor depending on the light brightness (intensity) have been given. In the conclusion, remarks assessing the results obtained have been made.

2. Experimental Setup

The experimental unit set up to measure the optical sensitivity of the phototransistor and photodiode sensors will be investigated.

The experimental setup used in this research included a 5 V Direct Current (D.C.) electrical supply, Dimmer which is used to adjust the lighting level of a halogen lamp, 100 Ω resistance, photodiode sensor, phototransistor sensor, multi-meter and for the indoor area lighting measurement DT-8809A professional lux meters (Max. range 400,000 lux, Resolution 0.1 lux, Accuracy ±%5) have been used, The experimental mechanism is seen in Fig. 3.

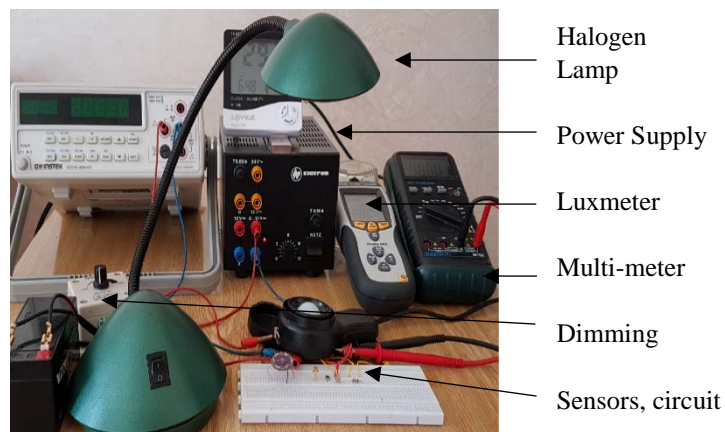


Fig.3. The experimental setup for measuring the electrical parameter of Photodiode and Phototransistor with changing light

3. Result and Findings

Two cases tackled to comparison both Photodiode and Phototransistor lighting sensors. Firstly,

3.1. The Examine of Photodiode under Variable Illumination

The photodiode is linked to 5V, 100 Ω resistor is applied to ground. In an indoor ambient, lighting level on photodiode is growing by 10 lux from 0 (dark) up to 150 (bright) lux. The current values at the output have been measured by digital multi-meter as it is shown in Figure 4.

Usually, in microcontrollers +5 V is utilized, so this voltage rate has been considered

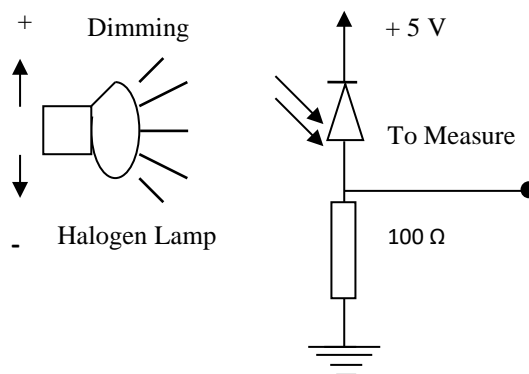


Fig.4. Variable Lighting Implemented on Photodiode

Figure 5 shows, photodiode's current changing curve concerning with the lighting rates growing from 0 to 150 lux.

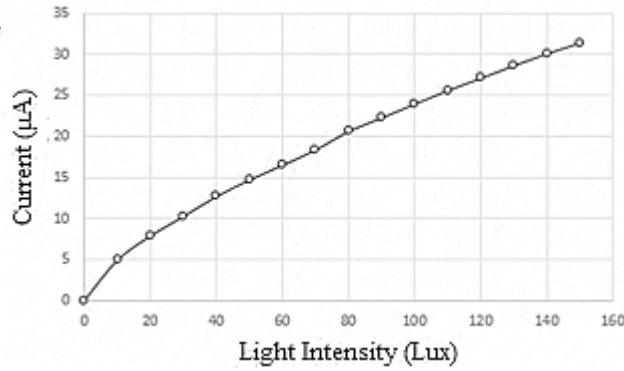


Fig. 5. Photodiode’s Current Output to the Illumination Varies

If Figure 5 is analysed, it is showed that while the light intensity rises, the current change rises exponentially. Depending on the illumination level, the current rates measure from ampere-meter have been seen in Table 1.

Table 1. Photodiode’s Current Rate in Relation with Level of Lighting

Lighting Level (Lux)	Current Rate of Photodiode (µA)
0	0
10	4.92
20	7.87
30	10.27
40	12.71
50	14.72
60	16.51
70	18.37
80	20.64
90	22.28
100	23.96
110	25.62
120	27.12
130	28.66
140	30.11
150	31.41
Maximum	31.41
Minimum	0
Mean	18.44
Standard Deviation	9.44
COV (Covariance (%))	51.19
SSE (the sum of the squared errors)	295.17
MSE (the mean squared error)	18.44
RMSE (The root-mean-square deviation)	4.29

It is showed in Table 1 that the standard deviation value stands at 9.44. The root-mean square deviation (RMSE) rate is 4.29.

3.2. The Examine of Phototransistor under Variable Lighting

In Figure 4, when phototransistor is connected in inverse bias in place of photodiode, Figure 6 comes about. Accordingly, when light intensity values from 0’ (dark) to 150 lux are applied to phototransistor, the curve in Figure 7 formed.

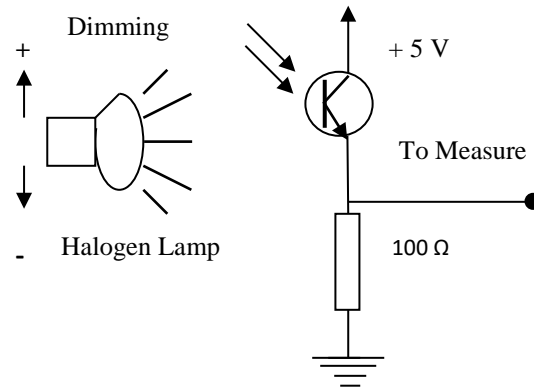


Fig.6. Variable Lighting Levels Being Implemented on Phototransistor

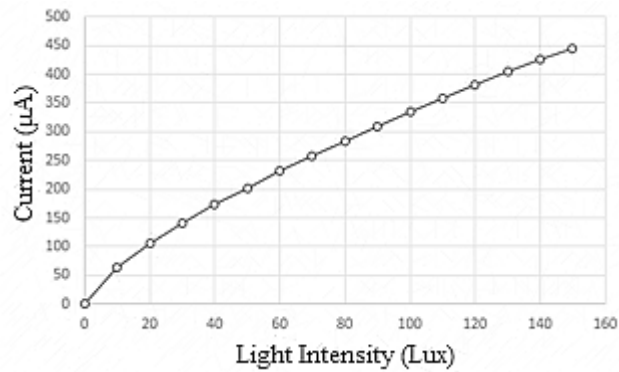


Fig. 7. Phototransistor's Current Rate to the Intensity of Light

If Figure 7 is analysed, it is realized that while the light level increases, so does the current varied incrementally with bigger values than photodiode.

In association with the light level values applied to Figure 6, the measured current rates have been seen in Table 2.

Table 2. Phototransistor's Current Rate to Level of Lighting

Lighting Levels (Lux)	Current Rate of Phototransistor (µA)
0	0.5
10	63
20	105.78
30	141
40	174.42
50	202.13
60	231.36
70	258.14
80	284.37
90	309.36
100	333.45
110	358
120	380.35

130	403.72
140	425.33
150	445.15
Maximum	445.15
Minimum	0.5
Mean	257.53
Standard Deviation	134.23
COV (Covariance (%))	52.176
SSE (the sum of the squared errors)	4116.06
MSE (the mean squared error)	257.253
RMSE (The root-mean-square deviation)	16.039

As shown in Table 2, the Standard Deviation value stands at 134.23 and the root-mean square deviation (RMSE) value is 16.039.

Considering the results available from the two experiments, it can be realized that phototransistor's and photodiode's changes to light are linear. The current varies with 10 lux. But, in photodiode, the current variations are nearer lux than phototransistor.

4. Conclusion

In the study underhand, the current values from photodiode and phototransistors, which are known to be widely used in measurement and light control systems, have been tackled in on ambient with 28 °C temperature and +5V voltage under varying light brightness (intensity) and in line with this a sensitivity analysis has been conducted. Examining the variation obtained, it is noted that there is an exponential trend in both sensors' response to the light. However, the photodiode stand deviation is calculated to be 9.44 and phototransistor's is 134.23. Combining all other data from the research, in terms of sensitivity and precision, photodiode draws a better profile.

References

- Coskun, A., Sevil, H.E., Özdemir, S. (2011). Cost Effective Localization in Distributed Sensory Networks, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24, 232–237.
- Gentile, N., Laike, T., Dubois, M.C. (2016). Lighting Control Systems in Individual Offices Rooms at High Latitude : Measurements of Electricity Savings and Occupants' Satisfaction, *Solar Energy*, 127, 113-123.
- Ghassan, M.S., Hashimah, I., Debnath, N., Nadya, A. (2015). Optimal Light Power Consumption Using LDR Sensor. 2015 IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors (IEEE IRIS2015), 144-148.
- Fathabadi, H. (2016). Comparative Study between Two Novel Sensorless and Sensor Based Dual-Axis Solar Trackers, *Solar Energy*, 138, 67–76, 2016.
- Juan, F.D.P, Bajo J., Rodriguez, S., Villarubia G., Corchado J.M. (2016). Intelligent system for lighting control in smart cities. *Information Sciences*, 372, 241–255.
- Kamran, A., Khokhar, A.Z., Rahman, F. (2011). High responsivity silicon MOS phototransistors, *Sensors and Actuators A*, 172, 434-439.
- Kostov P, Hornstein K.S., Zimmermann H. (2011). Phototransistors for CMOS Optoelectronic Integrated Circuits, *Sensors and Actuators*, 172, 140-147.
- Lau, K.T., Baldwin, S., O'Toole, M. (2006). A Low-Cost Optical Sensing Device Based on Paired Emitter-Detector Light Emitting Diodes, *Analytica Chimica Acta* 557, 111–116.
- Oliveira, C.N.P., Khoury, H.J., Santos, E.J.P. (2016). PiN photodiode performance comparison for dosimetry in radiology applications *Physica Medica*, 32(12), 1495-1501.
- Osram. (2017). Phototransistor BP 103-5.
- Özçelik, M.A. (2016). Light Sensor Control for Energy Saving in DC Grid Smart LED Lighting System Based on PV System. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 18(5-6), 468-474.

Özçelik, M.A. (2016). The Analysis of the Optical Measurement Sensitivity of the Photodiode and LDR Light Sensors. International Energy& Engineering Conference (UEMK 2016), 13-14 October, Gaziantep/Turkey, 688-695.

Phama, D.D., Suhb, Y.S. (2017). Remote length measurement system using a single point laser distance sensor and an inertial measurement unit, *Computer Standards & Interfaces*, 50, 153–159.

Toufiq, I., Afshari, S., Sandipan, M. (2016). An Experimental Survey of Feedback Control Methodologies for Advanced Lighting Systems, *Energy and Building*, 130, 600–612.

Vishay Semiconductors (2016). BPW34, Document Number 81521.



Koroner Arter Hastalığı Riskinin Veri Madenciliği Yöntemleri İle İncelenmesi

Identification of Coronary Artery Disease Risk Using Data Mining Techniques

Şeyma CİHAN¹, Bergen KARABULUT*¹, Güvenç ARSLAN², Gökhan CİHAN³

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

²Kırıkkale Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

³Kırıkkale Yüksek İhtisas Hastanesi, Kardiyoloji Bölümü, 71400 Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 10/02/2017

Kabul/Accepted: 25/07/2017

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Öz

Günümüzde Kardiyovasküler Hastalıklar oldukça yaygındır ve ölüm nedenlerinin başında gelmektedir. Kardiyovasküler Hastalıkların bir tipi olan Koroner Arter Hastalığının doğru ve zamanında teşhisi çok önemlidir. Koroner arter hastalığının kesin tanısı ve hastalık şiddetinin saptanmasında invaziv bir yöntem olan anjiyografi altın standart olarak kullanılmaktadır. Anjiyografi, maliyeti yüksek ve ileri seviyede uzmanlık gerektiren bir yöntem olmasının yanında ciddi komplikasyonlara da sebep olabilmektedir. Bu nedenlerle daha ucuz ve etkili bir yaklaşım sağlayabilecek olan veri madenciliğinin kullanımı üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada Koroner Arter Hastalığı riskinin tespitinde bir sınıflama modeli geliştirmek için veri madenciliği yaklaşımı uygulanmıştır. Çalışma kapsamında sınıflandırma yöntemleri ile elde edilen sonuçlar ve doğru sınıflandırma oranları karşılaştırılmıştır. Bunun için Cleveland kliniğine ait, 303 kayıt ve 14 değişken içeren kalp hastalığı veri kümesi kullanılmıştır. Gerekli hesaplamalar ve modelleri elde etmek için Weka paket programında 1R, J48 Karar Ağacı, Naive Bayes ve Çok katmanlı yapay sinir ağı (YSA) sınıflandırma yöntemleri uygulanmıştır. Uygulama sonucunda Koroner Arter Hastalığının tespitinde en iyi sonucun %83,498 doğruluk oranı ile Çok katmanlı YSA sınıflandırma yöntemi ile elde edildiği görülmüştür. Çok katmanlı YSA algoritmasını Naive Bayes ve Düzenlenmiş J48 Karar Ağacı algoritmaları izlemiştir.

Anahtar Kelimeler

“Antideprasan, ilaç etken maddesi, adsorpsiyon, izoterm”

Abstract

Cardiovascular Diseases are quite common nowadays and are one of the leading causes of death. The correct and timely diagnosis of Coronary Artery Disease, a type of Cardiovascular Disease, is very important for further treatment of the patients. For accurate diagnosis of coronary artery disease and determination of disease severity, angiography, which is an invasive and gold standard diagnosis tool, is used. Angiography is a costly and advanced method that requires clinical expertise and may cause serious complications. For these reasons, research on using data mining techniques, which is a cheaper and more effective approach, for diagnosis is one of today's research topics. In this study, classification-based data mining methods were used to determine the risk of coronary artery disease and these methods were compared in terms of accuracy. A data set consisting of 303 patient records and 14 attributes of Cleveland clinic were used. In particular, 1R, J48 Decision Tree, Naive Bayes and Multilayer Artificial Neural Network classification methods were applied on this data set with the help of WEKA program. The best result (in terms of correct diagnosis ratio) in determining risk of Coronary Artery Disease was obtained with Artificial Neural Network classification method with an accuracy of 83.498%. The multi-layer ANN algorithm was followed by Naive Bayes and the J48 Decision Tree algorithms.

Key Words

“Data Mining, Classification, Coronary Artery Disease”

1. GİRİŞ

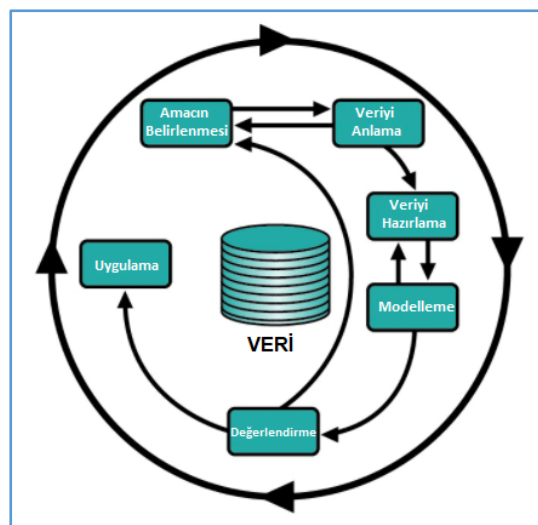
Kardiyovasküler hastalıklar (KVH), kalp ve kan damarlarındaki patolojilerden kaynaklanmakta ve koroner arter hastalığı (KAH), kalp yetmezlikleri, kardiyak arrest, ventriküler aritmiler, ani kalp ölümü, iskemik inme, geçici iskemik atak, subaraknoid ve intraserebral hemoraji, abdominal aort anevrizması, periferik arter hastalıkları ve konjenital kalp hastalıkları ile sonuçlanabilmektedir (Wong, 2014). Dünya Sağlık Örgütü raporlarına (WHO) göre KVH küresel ölüm nedenleri arasında birinci sırada yer almaktadır. 2012 yılında tüm dünyada 17,5 milyon insan KVH nedeniyle yaşamını yitirmiştir. Bu sayı küresel ölümlerin %31'ini oluşturmaktadır (WHO, 2011). Kardiyovasküler hastalıkların bir tipi olan KAH, büyük ve orta çaplı arterlerin damar duvarında kalınlaşma ve esneklik kaybının söz konusu olduğu ve bu damarların intima tabakasında aterom plaklarıyla karakterize bir patoloji olan ateroskleroz sonucunda gelişmektedir (Avşar vd., 2011). KAH, miyokard infarktüsü, kalp yetmezliği ve ani kalp ölümüne neden olabilmektedir.

Koroner arter hastalığının tanısı, nükleer tarama, ekokardiyografi, elektrokardiyogram (EKG), egzersiz stres testi gibi non-invaziv (girişimsel olmayan) ve anjiyografi gibi invaziv (girişimsel) medikal tanı işlemleri gerekmektedir (Verma vd., 2016). Non-invaziv teknikler koroner arter hastalıklarının kesin tanısında yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle invaziv bir yöntem olan anjiyografi tanı yöntemi koroner arter hastalıklarının kesin tanısı ve hastalık şiddetinin saptanmasında altın standart olarak kullanılmaktadır. Ancak anjiyografi işlemi, maliyeti oldukça yüksek ve ileri seviyede teknik uzmanlık isteyen bir tanı yöntemidir (Alizadehsani vd., 2012). Ayrıca anjiyografi sırasında; işlem ile ilgili nadir olmakla birlikte hastanın durumuna, uzman hekimin deneyimine ve işlemin tipine göre değişen oranlarda ölüm, myokard infarktüsü, serebrovasküler olaylar, ritim bozuklukları, damarsal komplikasyonlar, işlem sırasında kullanılan kontrast maddeye bağlı böbrek yetmezliği gibi komplikasyonlar ortaya çıkabilmektedir (Ökçün ve Gürmen, 2007). Bu nedenle, araştırmacılar KAH tanısında, veri madenciliği gibi daha az maliyeti olan ve etkili yöntemler üzerinde çalışmalar yürütmektedirler (Soni vd., 2011; Alizadehsani vd., 2013; El-Bialy vd., 2015; Sharan ve Sathees, 2016).

Klinik karar verme süreçleri sıklıkla doktorun sezgilerine ve tecrübesine dayanmaktadır. Bu yaklaşım istenmeyen ön yargıları, klinik hataları ve medikal maliyeti artırarak hastaya verilen sağlık bakım kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Veri madenciliği gibi veri modelleme ve analizinin yapıldığı yöntemlerin kullanıldığı klinik karar destek sistemlerinin oluşturulması ile medikal hatalar, istenmeyen uygulama çeşitlilikleri, medikal maliyet azaltılabilir ve hasta güvenliği ve klinik karar kalitesi anlamlı ölçüde artırılabilir (Srinivas vd., 2010).

Veri madenciliği, çalışılan alanla ilgili sorunların veri madenciliği görevlerine dönüştürülmesinde, uygun veri dönüşümü, hazırlığı, veri madenciliği modelinin seçimi, sonuçların etkililiğinin değerlendirilmesi ve deneyimin raporlanmasında standart bir yaklaşıma gereksinim duymaktadır. CRISP-DM (CRoss Industry Standard Process for Data Mining) hem iş sektörü hem de kullanılan teknolojiden bağımsız olarak veri madenciliği projeleri yürütmek için sistematik bir çerçeve sağlayan bir süreç modeli tanımlamaktadır. CRISP-DM süreç modeli, büyük veri madenciliği projelerini, daha az maliyetli, daha güvenilir, daha tekrarlanabilir, daha yönetilebilir ve daha hızlı hale getirmektedir (Wirth ve Hipp, 2000; Palaniappan ve Awang, 2008). CRISP-DM altı ana aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; amacın/hedefin belirlenmesi, veriyi anlama, veriyi hazırlama, modelleme, değerlendirme, sonuçları kullanma/uygulamadır (Çınar ve Arslan, 2008). Şekil 1 CRISP-DM süreç modeli aşamalarını göstermektedir.

Bu çalışmada en yaygın kullanılan veri madenciliği yöntemlerinden biri olan sınıflandırma üzerinde durulmuştur. Farklı sınıflandırma yöntemleri kullanılarak koroner arter hastalığı riskinin tespitinde en uygun teşhis aracı tespit edilmeye çalışılmıştır. Yöntemler veri kümesi üzerinde denenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Veri madenciliği modelinin uygulanmasında CRISP-DM süreç modelinin adımları izlenmiştir.



Şekil 1. CRISP-DM Süreç Modeli Aşamaları (Çınar ve Arslan, 2008).

1. BENZER ÇALIŞMALAR

Son yıllarda koroner arter hastalığı riskinin ve hastalık şiddetinin veri madenciliği algoritmaları kullanılarak incelenmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Anbarasi ve ark (2010) 13 değişkenli 909 hasta kaydı üzerinde yaptıkları çalışmada, öncelikle Genetik Algoritma kullanılarak ve değişken sayısı 6 'ya indirgenerek koroner arter hastalığı riskinin belirlenmesine daha çok katkıda bulunduğu düşünülen değişkenler belirlenmiştir. Daha sonra veri kümesine Naive Bayes, Clustering ve Karar Ağacı sınıflandırma yöntemleri uygulanmıştır. En yüksek doğruluk %99,2 oranı ile Karar Ağacı sınıflandırma yöntemi ile elde edilmiştir. Karar Ağacı algoritmasını Naive Bayes ve Clustering algoritmaları izlemiştir.

Chen ve ark (2011) çalışmalarında uzman hekimlere klinik karar almalarında destek olması amacıyla koroner arter hastalığı tahmin sistemi geliştirmişlerdir. Sistem iki aşamada geliştirilmiştir. Öncelikle UCI Machine Learning Repository' den alınan 14 değişken ve 303 hasta kaydından oluşan veri kümesine Yapay Sinir Ağları algoritması uygulanarak değişkenlere dayalı sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırma algoritmasının doğruluk oranı yaklaşık %80 olarak saptanmıştır. İkinci aşamada, C ve C# programlama dilleri kullanılarak kullanıcı dostu bir arayüz ile Kalp Hastalığı Tahmin Sistemi Programı geliştirilmiştir. Program; klinik veri girişi, ROC (Alıcı işlem karakteristikleri, Receiver Operating Characteristic) eğrisi ve tahmin performans (işlem zamanı, doğruluk, duyarlılık, özgüllük) ve tahmin sonucu bölümlerinden oluşmaktadır.

Abdullah (2012) çalışmasında koroner arter hastalığı riskini incelemek için Cleveland kliniğinden **derlenmiş** 303 kayıt ve hedef değişkenle birlikte 14 değişkenden oluşan kalp hastalığı veri kümesini kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle Parçacık Sürü Optimizasyon (PSO) algoritması kullanılarak değişken sayısı 14'den 9'a indirgenmiştir. Bu değişkenler; yaş, cinsiyet, göğüs ağrısı tipi, kolesterol seviyesi, açlık kan şekeri, istirahat ECG, maksimum kalp hızı, floeoskopi sonucu ve defekt tipidir. Çalışmada ayrıca indirgenmiş veri kümesi üzerinde sınıflandırma yapmak amacıyla J48 Karar Ağacı algoritması uygulanmış ve %60.74 doğruluk oranı elde edilmiştir.

Alizadehsani ve ark (2013), çalışmalarında değişken seçme ve veri kümesinden yeni değişkenler oluşturma yöntemleriyle koroner arter hastalığı riskinin belirlenmesinde kullanılan veri madenciliği algoritmalarının doğruluk oranını artırmayı amaçlamışlardır. Çalışma koroner arter hastalığı şüphesi ile kliniğe başvuran 303 hasta ve bunlara ait 54 değişken üzerinde yapılmıştır. Sıralı Minimum Optimizasyon (SMO), Naive Bayes, Bagging ve Sinir Ağları sınıflandırma algoritmaları veri kümesinin analizi için kullanılmıştır. En yüksek doğruluk oranı değişken seçimi ve değişken oluşturma yöntemleri ile birlikte Sıralı Minimum Optimizasyon algoritması ile %94.08 olarak elde edilmiştir.

Pandey ve ark (2013) çalışmalarında J48 Karar Ağacı algoritmasını kullanarak Kalp Hastalığı Tahmin Modelini geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelde, J48 algoritması budanmamış, basit budama ve azaltılmış hata budaması yaklaşımı kullanılarak üç farklı yolla uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmada %75.73 doğruluk oranı ile en iyi sonuç azaltılmış hata budaması yaklaşımı uygulanan J48 Karar Ağacı algoritmasından elde edilmiştir.

Shafique ve ark (2015), yaptıkları çalışmada UCI Machine Learning Repository' den aldıkları 597 hasta kaydından oluşan veri kümesi üzerinde; Karar Ağacı, Yapay Sinir Ağları ve Naive Bayes algoritmalarını kullanarak kalp hastalığı riski açısından sınıflandırma yapmışlardır. Çalışmada, Naive Bayes sınıflandırma algoritmasının %82.914 ile en yüksek doğruluk oranına sahip olduğu saptanmıştır.

Verma ve ark (2016), koroner arter hastalığı riskini belirlemek amacıyla kullandıkları hibrid veri madenciliği modelinde değişken alt kümesi seçimi için korelasyon tabanlı Parçacık Sürü Optimizasyonu ve K-means Kümeleme algoritmalarını kullanmışlardır. Sonrasında modeli oluşturmak için Yapay Sinir Ağları (MLP), çoklu nominal lojistik regresyon (MLR), Bulanık Sırasız Kural Azaltma (FURIA) ve C4.5 algoritmaları kullanılmıştır. Çalışmacılar, geliştirdikleri hibrid modeli, 26 değişkenli 335 kardiyoloji hastasının kayıtları üzerinde test etmişlerdir. MLR algoritmasının kalp hastalığı riskinin belirlenmesinde %88,4 ile en yüksek orana sahip olduğu saptanmıştır.

Sharan ve Sathees (2016) yaptıkları çalışmada veri kümesi üzerinde kalp hastalığı riskinin tahmin edilmesi amacıyla 3 farklı karar ağacı algoritması uygulamışlardır. Bunlar; Sınıflandırma-Karar Ağacı (simple CART), J48 ve Naive Bayes (NB Tree) algoritmalarıdır. Analizler WEKA programı aracılığıyla yapılmıştır. Çalışmada işlem zamanı açısından en iyi performans J48 algoritması ile 0.08 saniye, sınıflandırma doğruluk oranı açısından en iyi performans ise Simple CART algoritması ile %92,2 olarak saptanmıştır.

2. UYGULANAN YÖNTEM

2.1 Veri Kümesi

Çalışmada, UCI Machine Learning Repository (<http://archive.ics.uci.edu/ml/index.html>)' den alınan kalp hastalığı veri kümesi kullanılmıştır. Bu veri kümesi 4 ayrı veri tabanından oluşmaktadır. Bunlar; Cleveland, Hungary, Switzerland, ve the VA Long Beach' dir. Tüm veri setleri aynı değişkenleri içermektedir ve aynı formatta oluşturulmuştur. Bu proje kapsamında Cleveland Klinik veri kümesi kullanılacaktır. Veri kümesi 76 değişkeni içermektedir; ancak, bu veri kümesi ile yapılan tüm çalışmalar, bu değişkenlerden, hedef değişkeninde dahil olduğu 14 tanesinin en önemli değişkenler olduğunu göstermektedir. Cleveland Klinik veri kümesi 303 hasta kaydından oluşmaktadır. Veri kümesindeki değişkenler ve özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kalp hastalıkları veri kümesi (heart-c.csv) değişkenleri

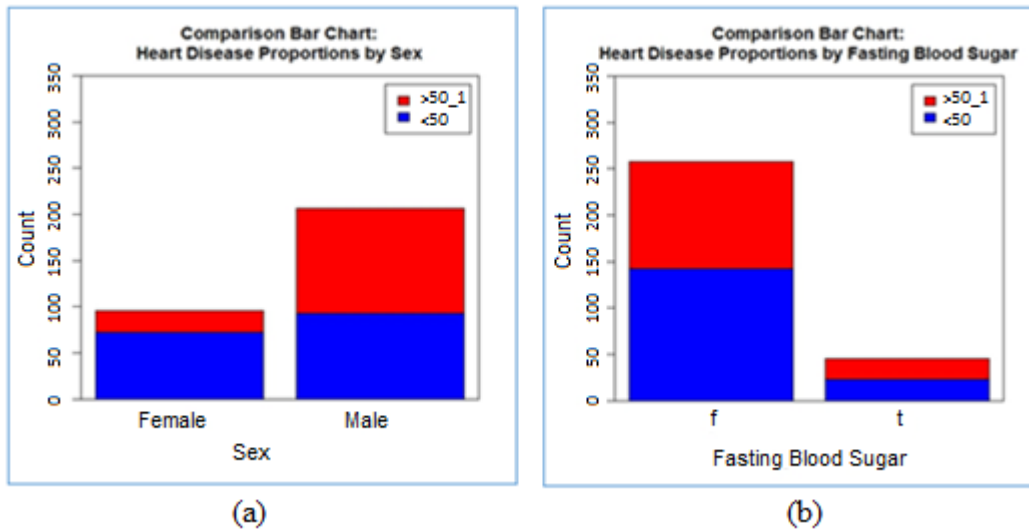
Değişken #	Değişkenler	Değişken Tipi
1	age	Sayısal
2	sex	Kategorik
3	cp	Kategorik
4	trestbps	Sayısal
5	chol	Sayısal
6	fbs	Kategorik
7	restecg	Kategorik
8	thalach	Sayısal
9	exang	Kategorik
10	oldpeak	Sayısal
11	slope	Kategorik
12	ca	Sayısal
13	thal	Kategorik
14	Num	Kategorik (Hedef Değişken)

2.2 Verinin Hazırlanması ve Analizi

Veri madenciliği sürecinin standardı olarak kabul edilen CRISP (DM)' nin 3. aşaması olan verilerin hazırlanması aşamasında, analiz yöntemi öncesinde veri kalitesinin yükseltilmesi amacıyla yapılan işlemlerden biri de eksik veya yanlış verilerin dikkate alınmasıdır. Çalışmada kullanılan veri kümesinin ca ve thal isimli 2 kategorik değişkeninde eksik veriler tespit edilmiştir. R programlama dili yardımıyla yapılan incelemede “ca” değişkeninde yaklaşık %2 ve “thal” değişkeninde yaklaşık %1 oranında kayıp veri tespit edilmiştir. Eksik verilerin temizlenmesinde mod işleminden faydalanılmıştır. Bu işlemde her bir kayıp veri yerine değişkende en çok tekrar eden değer atanarak eksik veriler tamamlanmaktadır. R programlama dili kullanılarak yazılan bir kod ile mod işlemi uygulanmış ve eksik veriler temizlenmiştir.

Verilerin hazırlanmasından sonra önemli ön bulgular R programı yardımıyla oluşturulan histogram ve çubuk (bar) grafikleri aracılığıyla analiz edilmiştir. Analizler literatür incelemesi ve kardiyoloji alanında uzman bir hekimin görüşleri alınarak yapılmıştır.

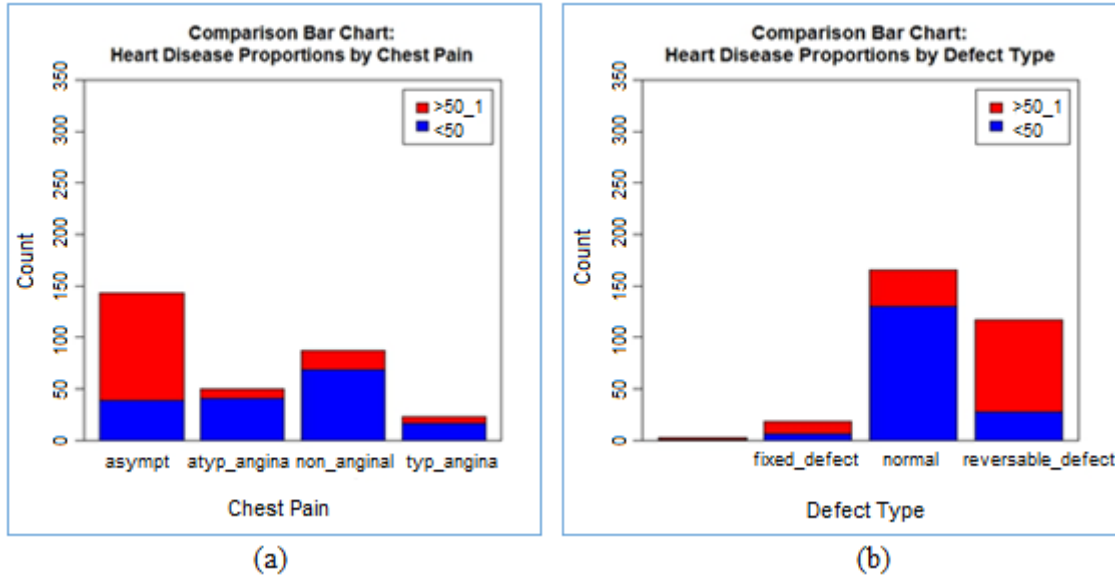
3.2.1. Kategorik Değişkenler İçin Hedef Değişkene Göre Çubuk (Bar) Grafiği Analizi



Şekil 2. (a) Cinsiyet ve koroner arterlerdeki daralma **(b)** Açlık kan şekeri ve koroner arterlerdeki daralma

Şekil 2 (a) cinsiyet ve koroner arterlerdeki ciddi daralma (>%50) ile karakterize kalp hastalığı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Erkeklerde kadınlara göre koroner arterlerdeki ciddi daralma oranı daha fazladır. Kadınlarda menopoz öncesi dönemde iskemik kalp hastalığının daha seyrek görülmesi büyük ölçüde östrojenin plazma lipit profili üzerine olumlu etkilerine bağlanmaktadır. Menopoz sonrası dönemde ise koroner arter hastalığı görülme sıklığı erkek ve kadınlarda eşitlenir (De Flines, Scheen, 2009; Griffin vd., 2012).

Şekil 2 (b)' deki açlık kan şekeri ve koroner arterlerdeki ciddi daralma (>%50) ile karakterize kalp hastalığı arasındaki ilişkiye bakıldığında, açlık kan şekeri 120 mg/dl' den fazla olan grupta ciddi koroner arter daralma oranı daha fazladır. Diyabet hastalığı koroner kalp hastalığı için önemli bir risk faktörüdür. Diyabeti olan hastalarda kardiyovasküler olay (kalp krizi, göğüs ağrısı vb.) gelişme riski diyabeti olmayanlara göre 2-8 kat daha fazladır. Diyabetin neden olduğu damarsal komplikasyonlar sadece diyabet tanı kriterlerinin karşılandığı bireylerde değil, diyabetin gelişme sürecinde yer alan bozulmuş açlık glikozu safhasındaki bireylerde de görülebilmektedir (Onat vd., 2003).

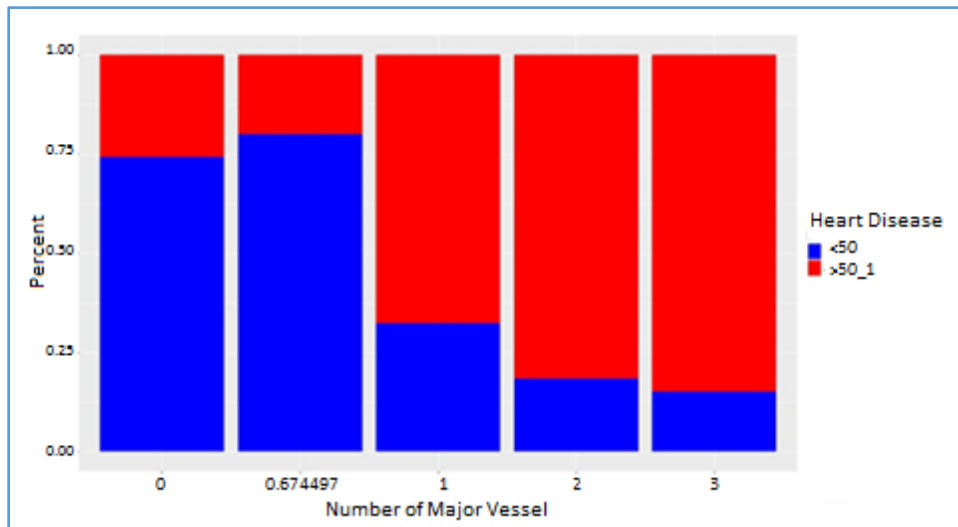


Şekil 3. (a) Göğüs ağrısı tipi ve koroner arterlerdeki daralma (b) Defekt tipi ve koroner arterlerdeki daralma

Şekil 3 (a) göğüs ağrısı tipi ve koroner arterlerdeki ciddi daralma (>%50) ile karakterize kalp hastalığı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Asemptomatik bireylerde koroner arterlerdeki ciddi daralma oranının göğüs ağrısı olan hastalara oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuç asemptomatik hastalar için beklenin aksi yöndedir. Göğüs ağrısı olan 3 grup birlikte değerlendirildiğinde, tipik anjinası olan grupta beklediği gibi koroner arterlerdeki daralma oranı daha fazla olduğu ve non- anjinal grupta ciddi daralma oranının en az olduğu görülmektedir (Griffin vd., 2012).

Şekil 3 (b)' deki Myokard Perfüzyon Sintigrafisinde (MPS) defekt tipi ve koroner arterlerdeki ciddi daralma (>%50) ile karakterize kalp hastalığı arasındaki ilişkiye bakıldığında MPS ile reversible defect tespit edilen grupta ciddi koroner arter hastalığı varlığı diğer iki gruba göre belirgin yüksek bulunmuştur. MPS' de fixed-defect tespit edilen kişi sayısı diğerlerinden az olmakla birlikte bu grupta koroner arter hastalığı oranı yarıdan fazladır. MPS sonucu normal olan grupta koroner arter hastalığı oranı düşüktür (Mann vd., 2014).

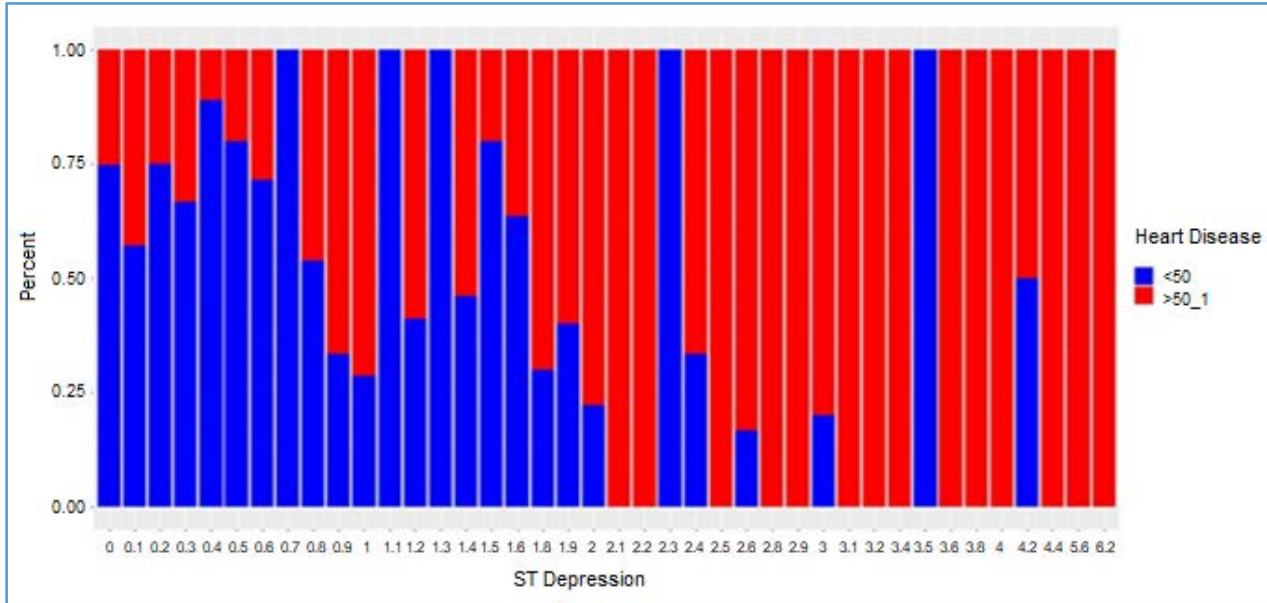
3.2.2. Sayısal Değişkenler için Histogram Analizi



Şekil 4. Koroner kalsifikasyon tespit edilen büyük damar sayısı değişkeninin histogram dağılımı

Şekil 4, Fluoroskopi ile koroner kalsifikasyon tespit edilen büyük damar sayısı değişkeninin histogram dağılımını göstermektedir. Floroskopi ile kalsifikasyon görüntülenen büyük damar sayısı arttıkça, koroner arterlerdeki ciddi daralma oranının da arttığı

görülmektedir. Koroner kalsiyum skorlaması koroner kalsiyumun koroner atherosklerotik plak için belirteç olarak kullanılabilmesi gözlemine dayanır. Çalışmalara göre koroner arter kalsifikasyonunun tamamen yokluğu önemli koroner darlığı olmadığını ve ileride koroner olay riskinin düşük olduğunu gösterir. Erkeklerde ki kalsifikasyon oranı kadınlara göre daha yüksek olduğu bilinmektedir. Herhangi bir yaşta kadınlarda erkeklere göre 5-7 kat daha düşüktür. Genellikle koroner arter kalsifikasyonu kadınlarda erkeklere göre 10 ila 15 yıl sonra gelişmektedir (Erdoğan vd., 2002).



Şekil 5. Koroner kalsifikasyon tespit edilen büyük damar sayısı değişkeninin histogram dağılımı

Şekil 5, ST depresyon değişkeninin histogram dağılımını göstermektedir. İstirahat EKG'sine göre ST depresyonun miktarı arttıkça, koroner arterlerdeki ciddi daralma oranının da arttığı görülmektedir. EKG'nin iskemiye en duyarlı kısmı ST segmentidir. Düşük efor düzeylerinde 2mm ve daha fazla ST depresyonu yaygın koroner arter hastalığı ve kötü prognozu düşündüren egzersiz testi bulgularıdır. Bu durum histogram verileri ile uyumludur (Mann vd., 2014).

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

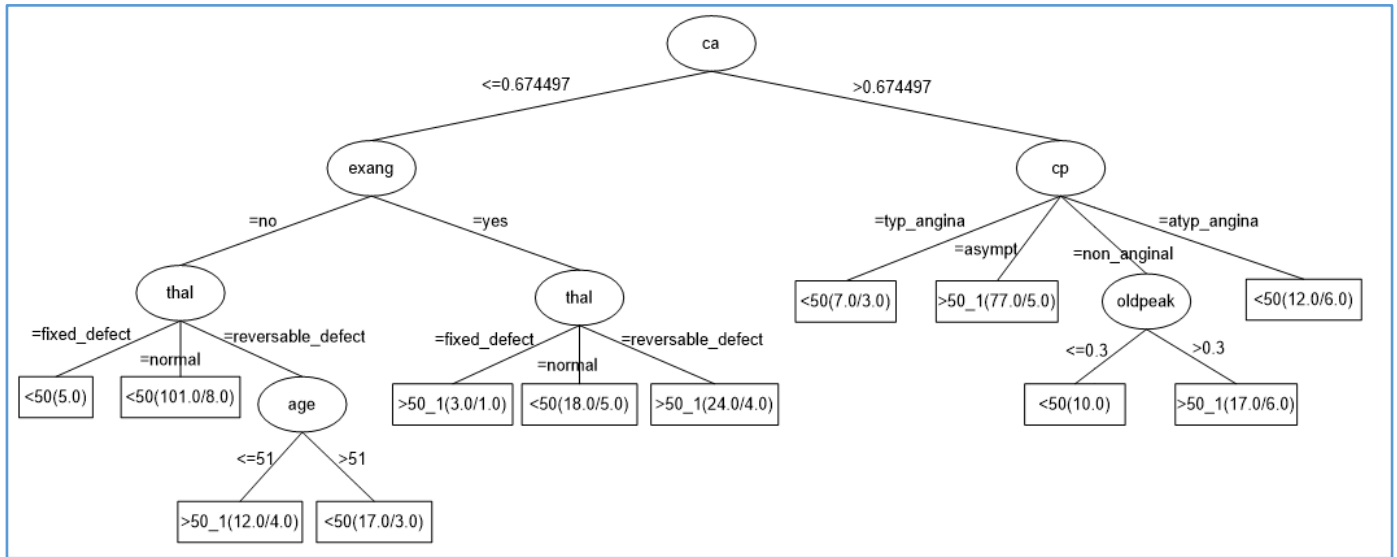
Sınıflandırma yöntemlerinin kıyaslanmasında sık kullanılan ölçülerden biri doğruluk ölçütüdür. Doğruluk ölçütünün gözlemlenmesinde genellikle karışıklık matrisi(confusion matrix) kullanılmaktadır. Karışıklık matrisi bileşenleri yapılan çalışmaya göre anılandırılmaktadır. Bu çalışma kapsamında incelenen kalp hastalığı sınıflandırma işlemi için karışıklık matrisi bileşenleri şu şekilde tanımlanmaktadır;

- **True Pozitif - TP:** Koroner arter hastalığına sahip kişiler koroner arter hastalığı var şeklinde doğru bir biçimde sınıflandırılmıştır.
- **False Pozitif - FP:** Sağlıklı kişiler yanlış bir biçimde koroner arter hastalığı var şeklinde sınıflandırılmıştır.
- **True Negatif - TN:** Sağlıklı kişiler doğru bir biçimde sağlıklı şekilde sınıflandırılmıştır.
- **False Negatif - FN:** Koroner arter hastalığına sahip kişiler yanlış bir biçimde sağlıklı şekilde sınıflandırılmıştır.

Çalışmada; 1R, Naive Bayes, J48 karar ağacı ve yapay sinir ağları olmak üzere 4 farklı sınıflandırma yöntemi üzerinde durulmuştur. Bu yöntemlerin her biri kalp hastalığı veri kümesine uygulanmıştır. Uygulama işlemi Weka kullanılarak 10 folds cross-validation değerine göre yapılmıştır. 1R, Naive Bayes ve Çok Katmanlı YSA doğrudan uygulanırken J48 karar ağacı üzerinde budama ile sadeleştirme ve ilişkili değişkenlerin çıkarılması ile yeniden düzenleme işlemleri yapılmıştır.

4.1. Budanmış J48 Karar Ağacı

Veri kümesi üzerine J48 Karar Ağacı doğrudan uygulandığında yaprak sayısı 32 ve boyutu 51 olan bir ağaç elde edilmiştir. Bu haliyle geniş ve karmaşık bir yapıya sahip olan karar ağacının yorumlanması zordur. Daha basit ve kolay yorumlanan bir karar ağacı elde edebilmek için budama işlemi gerekmektedir. Weka üzerinde Confidence Factor: 0.30 ve minimum number of object (M): 10 değerleri kullanılarak J48 karar ağacı budanmıştır. Bu işlem sonucunda oluşan ağacın yaprak sayısı 12 ve boyutu 19 olmuştur. Elde edilen budanmış J48 ağaç yapısı Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Budanmış J48 Karar Ağacı

4.2. Düzenlenmiş J48 Karar Ağacı

Veri kümesi incelendiğinde “thalach” değişkeni az ve orta düzeyde hem “age” hem de “oldpeak” değişkenleri ile doğrusal ilişkiye sahip gibi görülmektedir (Tablo 2). Bu nedenle “thalach” değişkeni çıkartılarak tekrar analiz yapılmıştır. Buna göre J48 karar ağacında doğru sınıflama oranı biraz artmıştır.

Tablo 2. Sayısal değişkenler arasındaki korelasyonlar

	age	trestbps	chol	thalach	oldpeak
age	1.000	0.279	0.213	-0.399	0.210
trestbps		1.000	0.123	-0.047	0.193
chol			1.00	-0.010	0.054
thalach				1.000	0.344
oldpeak					1.000

4.3. Karşılaştırmalı Analiz

Sınıflandırma algoritmalarının karşılaştırılmasında Doğruluk (Accuracy), TP, FP, Kesinlik (Precision), F-ölçütü (F-measure), ROC ve zaman ölçütleri sıklıkla kullanılmıştır. Bu çalışmada uygulanan sınıflandırma algoritmaları da bu ölçütler açısından değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Sınıflandırma algoritmalarının uygulama sonuçları

Algoritma	Doğruluk (%)	TP	FP	Kesinlik	F-ölçüt	ROC	Zaman (saniye)
1R	71,947	0,719	0,281	0,721	0,720	0,719	0,00
Naive Bayes	82,838	0,828	0,178	0,828	0,828	0,899	0,00
Budanmış J48 Karar Ağacı	77,557	0,776	0,233	0,775	0,775	0,834	0,00
Düzenlenmiş* J48 Karar Ağacı	78,548	0,785	0,223	0,785	0,785	0,837	0,02
Çok katmanlı YSA	83,498	0,835	0,171	0,835	0,835	0,893	0,78

*Age ve slope ile ilişkili thalach çıkartıldıktan sonraki analiz

Tablo 3’ de yer alan uygulama sonuçları incelendiğinde, doğruluk ölçütü açısından en iyi sonuç % 83.498 değeri ile Çok Katmanlı YSA ile elde edilmiştir. Yapay sinir ağı modeli en yüksek doğruluk oranını verse de yorumlama ve uygulama açısından kapalı bir kutu gibidir. Naive Bayes algoritması ise basit olmasına rağmen en iyi doğruluk oranına sahip algoritmalarından biri olmuştur. J48 karar ağacı ise orta düzeyde doğruluk oranına sahip olmasına karşılık uzman hekimler ve araştırmacılara yorumlama imkânı sağlaması açısından önem arz etmektedir.

4. SONUÇ

Veri madenciliği algoritmaları koroner arter hastalığının tanımlanmasında ve risk faktörlerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada koroner arter hastalığı riskinin belirlenmesinde 1R, Budanmış, Budanmamış ve Düzenlenmiş J48 Karar Ağacı, Naive Bayes ve Çok katmanlı YSA sınıflandırma yöntemleri kullanılmıştır. Sınıflandırma algoritmaları; doğruluk, TP, FP, Kesinlik, F-ölçütü, ROC ve zaman açısından karşılaştırılmıştır. Veri madenciliği sınıflandırma algoritmaları doğruluk açısından incelendiğinde, en iyi sonuç % 83.498 doğruluk oranı ile Çok katmanlı YSA sınıflandırma yönteminden elde edilmiştir. Yapay sinir ağı modeli en yüksek doğruluk oranı verse de yorumlama ve uygulama açısından kapalı bir kutu gibidir. Basit olmasına karşın Naive Bayes algoritması en iyi doğruluk oranına sahip algoritmalarından birisidir. J48 karar ağacı ise orta düzeyde doğruluk oranına sahip olmasına karşılık uzman hekimler ve araştırmacılara yorumlama imkânı sunabilmektedir. Bu nedenlerle uygulamalarda hangi modelin tercih edileceği uygulamanın özel durumları da dikkate alınarak belirlenebilir.

Bu çalışmanın sonuçlarının koroner arter hastalığı şüphesi ile kliniğe başvuran hastaların tanı ve tedavi sürecinde ve invaziv prosedür uygulanacak doğru hasta grubunun seçilmesinde kardiyoloji alanında çalışan uzmanların klinik kararlarına rehberlik edeceği düşünülmektedir. Ayrıca, geliştirilen veri madenciliği modeli ile medikal hatalar, istenmeyen uygulama çeşitlilikleri, medikal maliyet azaltılabilmekte, dolayısıyla hasta güvenliği ve yaşam kalitesi artırılmaktadır. Bu çalışmada sınıflandırma algoritmaları veri kümesindeki 14 değişken üzerinde uygulanmıştır. Gelecek çalışmalarda optimizasyon algoritmaları kullanılarak veri kümesindeki değişkenler daha detaylı incelenerek sınıflandırma algoritmaları uygulanabilir. Ayrıca modellerin uygulanmasında TP ve FN oranlarının doğurabileceği sonuçlar da dikkate alınarak risk yönetimi açısından değerlendirmeler yapılabilir. Diğer yandan ileriki çalışmalar için her iki oranı, yani TP ve FN, birlikte optimize edecek algoritmalar geliştirilebilir.

REFERANSLAR

Abdullah, A. S. (2012). A Data Mining Model to Predict and Analyze the Events Related to Coronary Heart Disease using Decision Trees with Particle Swarm Optimization for Feature Selection. *International Journal of Computer Applications*, 55(8).

Alizadehsani, R., Habibi, J., Hosseini, M. J., Mashayekhi, H., Boghrati, R., Ghandeharioun, A., Sani, Z. A. (2013). A Data Mining Approach for Diagnosis of Coronary Artery Disease. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 111(1), 52-61.

Alizadehsani, R., Hosseini, M. J., Sani, Z. A., Ghandeharioun, A., & Boghrati, R. (2012). Diagnosis of Coronary Artery Disease Using Cost-Sensitive Algorithms. In *Data Mining Workshops (ICDMW), 2012 IEEE 12th International Conference on* (pp. 9-16). IEEE.

Anbarasi, M., Anupriya, E., & Iyengar, N. C. S. N. (2010). Enhanced Prediction of Heart Disease with Feature Subset Selection Using Genetic Algorithm. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(10), 5370-5376.

Avşar, A., Önder, Akçı., Beyter, M. E. (2011). Aterosklerozun Patogenezi (Aterogenez). *Türkiye Klinikleri Journal of Cardiology Special Topics*, 4(2), 1-15.

Cardiovascular diseases (CVDs),
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/en/> (Erişim tarihi; Ekim, 2016).

Ceylan, Y., Kaya, Y., & Tuncer, M. (2011). Akut Koroner Sendrom Kliniği ile Başvuran Hastalarda Koroner Arter Hastalığı Risk Faktörleri. *Van Tıp Dergisi*, 18(3), 147-54.

Chen, A. H., Huang, S. Y., Hong, P. S., Cheng, C. H., & Lin, E. J. (2011, September). HDPS: Heart Disease Prediction System. In *Computing in Cardiology, 2011* (pp. 557-560). IEEE.

Çınar, H. ve Arslan, G., 2008. "Veri madenciliği ve CRISP-DM yaklaşımı", XVII. İstatistik Araştırma Sempozyumu, 304-314, Ankara.

De Flines, J., & Scheen, A. J. (2009). Management Of Metabolic Syndrome And Associated Cardiovascular Risk Factors. *Acta Gastro-Enterologica Belgica*, 73(2), 261-266.

El-Bialy, R., Salamay, M. A., Karam, O. H., & Khalifa, M. E. (2015). Feature Analysis of Coronary Artery Heart Disease Data Sets. *Procedia Computer Science*, 65, 459-468.

Erdoğan, N., Altın, L., Altunkan, Ş. (2002). Elektron Beam Tomografi ile Koroner Arterlerdeki Kalsiyum Miktarının Saptanması. *Tanışal ve Girişimsel Radyoloji*, 8, 533-537.

Griffin, B. P., Callahan T.D., Menon, V.(Eds.). (2012). *Manual of Cardiovascular Medicine*. Lippincott Williams & Wilkins.

Mann, D. L., Zipes, D. P., Libby, P., & Bonow, R. O. (2014). *Braunwald's Heart Disease: a Textbook of Cardiovascular Medicine*. Elsevier Health Sciences.

- Ökçün, B., Gürmen, T. (2007). Koroner Anjiyografi Komplikasyonları ve Tedavisi. *Türkiye Klinikleri Journal of Internal Medical Sciences*, 3(42), 48-72.
- Palaniappan, S., & Awang, R. (2008). Intelligent Heart Disease Prediction System Using Data Mining Techniques. In *Computer Systems and Applications, 2008. AICCSA 2008. IEEE/ACS International Conference on* (pp. 108-115). IEEE.
- Pandey, A. K., Pandey, P., & Jaiswal, K. L. (2013). A Heart Disease Prediction Model Using Decision Tree. *IUP Journal of Computer Sciences*, 7(3), 43.
- Shafique, U., Majeed, F., Qaiser, H., & Mustafa, I. U. (2015). Data Mining in Healthcare for Heart Diseases. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 10(4), 1312.
- Sharan M.L, Sathees, K.B. (2016). Analysis of Cardiovascular Heart Disease Prediction Using Data Mining Techniques. *Analysis*, 4(1), 55-58.
- Soni, J., Ansari, U., Sharma, D., Soni, S. (2011). Predictive Data Mining for Medical Diagnosis: An Overview of Heart Disease Prediction. *International Journal of Computer Applications*, 17(8), 43-48.
- Srinivas, K., Rani, B. K., & Govrdhan, A. (2010). Applications of Data Mining Techniques in Healthcare and Prediction of Heart Attacks. *International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE)*, 2(02), 250-255.
- Onat, A., Sansoy, V., Soydan, İ., Tokgözoğlu, L., & Adalet, K. (2003). TEKHARF, Oniki Yıllık İzleme Deneyimine Göre Türk Erişkinlerinde Kalp Sağlığı. *İstanbul Türkiye*, 12-4.
- Verma, L., Srivastava, S., Negi, P. C. (2016). A Hybrid Data Mining Model to Predict Coronary Artery Disease Cases Using Non-Invasive Clinical Data. *Journal of Medical Systems*, 40(7), 1-7.
- Wirth, R., & Hipp, J. (2000). CRISP-DM: Towards a Standard Process Model for Data Mining. In *Proceedings of the 4th International Conference on the Practical Applications of Knowledge Discovery and Data Mining*, 29-39.
- Wong, N. D. (2014). Epidemiological Studies of CHD and the Evolution of Preventive Cardiology. *Nature Reviews. Cardiology*, 11(5), 276.



Perlit Kullanımının Seramik Duvar Karosu Teknik Özelliklerine Etkisi

Effect of Usage of Perlite on Technical Properties of Ceramic Wall Tile

Müge TARHAN^{*1}, Baran TARHAN¹

¹ Uşak Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, Ankara İzmir Yolu 8. km Bir Eylül Kampüsü, Uşak, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 11/12/2017

Kabul/Accepted: 07/01/2018

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Öz

Yapılan çalışmada perlitin duvar karosu teknik özellikleri üzerine etkileri ve duvar karosu bünyesinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla standart duvar karosu bünye kompozisyonunda % 2, 4, 6 oranlarında pegmatit yerine perlit ilave edilerek bünye reçeteleri hazırlanmıştır. Hazırlanan bünyeler 1135°C'de 35 dak. endüstriyel şartlarda pişirilmiştir. Geliştirilen bünyelerin pişme küçülmesi, su emmesi ve renk değerleri (L*, a*, b*) ölçülmüştür. Bünyelerin ısı genleşme katsayısı ve nem genleşme değerleri dilatometre cihazı ile, sinterleme davranışları çift kameralı temassız optik dilatometre ile incelenmiştir. Pişmiş bünyelerin faz analizleri XRD ile belirlenmiştir. Ayrıca, taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile mikroyapıları da incelenmiştir. Sonuç olarak, perlitin duvar karosu bünyelerinde kullanımının teknik özellikleri olumsuz yönde etkilemeden mümkün olabileceği ortaya konmuştur. Ancak perlit ilavesi ile birlikte bünyenin nem genleşme değerinin artma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle perlitin duvar karosu bünyesinde pegmatit yerine % 6 oranına kadar kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“perlit, duvar karosu, nem genleşmesi”

Abstract

In the study, the usability and the effect of perlite on wall tile technical properties were investigated. For this purpose, 2%, 4% and 6% perlite were added to the standard wall tile body composition instead of pegmatite. The representative bodies are fired under industrial fast firing cycle at 1135°C - 35 min. Firing shrinkage, water absorption and colour values (L*, a*, b*) of the bodies were measured. Thermal expansion coefficient and moisture expansion values of the bodies were determined by dilatometer and the sintering behaviors were evaluated using a double beam non-contact optical dilatometer (ODHT). The phase analyses of the fired bodies were achieved using XRD. Microstructural studies were also carried out by SEM. As a result, it has been shown that it's possible to use perlite instead of pegmatite in wall tile bodies without adversely affecting the technical properties. But, it has been found that the moisture expansion value tends to increase with the addition of perlite. For this reason, perlite can be used up to 6 % ratio in wall tile bodies instead of pegmatite.

Key Words

“perlite, wall tile, moisture expansion”

1. GİRİŞ

Seramik duvar karoları diğer kaplama malzemelerine göre yüksek poroziteye ve su emmeye sahip kaplama malzemeleri olarak karakterize edilirler. % 10'un üzerinde su emmeye sahip olan duvar karoları; tek veya çift pişirim yöntemi ile 1100-1150°C sıcaklık aralığında 35-45 dk. lık pişirim sürelerinde üretilmektedir (Amoros vd. (1993), Amoros vd. (2010), Tarhan vd. (2016)) . Seramik duvar karosu bünyeleri kil-kaolen, kalsit ve kuvars hammaddelerinin belirli oranlarda karışımı ile hazırlanmaktadır. Duvar karosu bünyesinde kullanılan kil ve kaolen bünyeye plastiklik sağlarken, CaO kaynağı olarak %10-15 civarında kullanılan kalsit ise kil ve kaolenin dekompozisyonu sonucu oluşan alümina-silikat ile reaksiyona girerek anortit ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) oluşturmaktadır. Kompozisyonda feldispat gibi ergiticiler oldukça az miktarda kullanıldığından pişirim esnasında sinterleşme gerçekleşmez ve duvar karosu karbonatların dekompozisyonu ile bünyede %30'un üzerinde porozite içeren ve dolayısıyla % 10 üzerinde su emme değeri olan bir yapıda oluşmaktadır (Swapan vd. (2005), Escardino vd. (2010)). Oluşan poroz yapıdan dolayı, duvar karosu ürünlerde dikkat edilmesi gereken en önemli teknik özellik nem genleşmesi değeridir. Nem genleşmesinin duvar karolarında ebatların büyümesi ile alakalı olarak % 0,03'ü aşması durumunda sırda oluşan çekme gerilmelerinden dolayı sır çatlamalarını önlemek için sır basma gerilmesi bünye gerilme değerinin altında olacak şekilde üretim yapılmaktadır. Seramik duvar karoları reaksiyona girmemiş CaO, alkali oksitler, demir oksit, titan oksit gibi hammaddelerin oluşturduğu amorf camsı faz ve/veya reaksiyona girmeden kalan amorf aluminasilikattan dolayı nem genleşmesi gösterebilmektedirler. Bu nedenle de bünye kompozisyonlarında feldispat, nefelin gibi ergiticiler oldukça düşük miktarlarda kullanılmaktadır (Almeida vd. (1997), Plesingerova vd. (2002), Zvezdin ve Kir'yanov (2006), Vasic ve Vasic (2011), Tarhan vd. (2016)) .

Perlit minerolojik karakteri bakımından % 90-97'si cam, % 3-10'u feldispat ve biyotit gibi kristalleşmiş mineraller içeren volkanik kayadır. Dünyadaki 6 milyar tonluk perlit rezervinin 4 milyar tonu ülkemizde bulunmaktadır. Günümüzde perlit geliştirilerek inşaat, metalürji, tarım ve filtre endüstrisinde kullanılmakta ve bir kısmı da ihraç edilmektedir. Rezervlerin çok büyük bir kısmı ise değerlendirilememektedir (Taşpınar (1997), Şencan (2010)).

Bu çalışmada Biga yöresinde bulunan perlitin tek pişirim duvar karosu üretiminde kullanılabilirliği ve bünye teknik özellikleri üzerine olan etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda duvar karosu bünye kompozisyonunda bulunan pegmatit yerine farklı oranlarda perlit ilave edilerek bünyenin fiziksel, optik ve minerolojik özellikleri üzerine olan etkileri araştırılmıştır.

1. MATERYAL VE YÖNTEM

1.1. Kullanılan Hammaddeler

Çalışmada kullanılan perlit Biga-Çanakkale yöresinden, killer İstanbul bölgesinden, kaolen, pegmatit ve granitik kayaç Çan-Çanakkale bölgesinden, kalsit Yenice-Çanakkale bölgesinden temin edilmiştir. Hammaddelere ait oksit bileşimleri Çizelge 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Hammaddelerin XRF ile tayin edilmiş kimyasal bileşimleri (% ağı.)

Hammaddeler	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	A.Z.
Kalsit	0,7	0,31	0,04	0,01	54,5	1,06	0,06	0,06	43,12
Kil A	63,4	20,71	2,89	1,19	1,16	0,66	0,21	2,14	7,47
Kil B	57,86	23,97	4,25	1,05	0,68	1,04	0,19	2,09	8,72
Kaolen A	65,41	19,27	4,48	1,12	0,14	0,29	0,27	2,31	6,36
Kaolen B	51,25	30,82	3,18	0,69	0,65	0,49	0,09	0,76	11,85
Pegmatit	70,35	16,73	1,69	0,32	0,42	0,07	2,57	5,1	2,65
Granitik Kayaç	78,5	12,57	0,19	0,37	0,51	0,07	2,42	4,96	0,49
Pişmiş Kırık	62,74	19,38	2,47	0,9	8,63	1,32	0,68	2,58	0,29
Perlit	72,51	13,76	1,28	0,33	1,04	0,38	2,28	5,37	2,70

1.2. Bünye Geliştirme Çalışmaları

Standart duvar karosu bünyesi, kalsit, 2 çeşit kil, 3 çeşit kaolen, pegmatit, granitik kayaç ve duvar karosu pişmiş kırıkta oluşmaktadır ve hammadde içeriği Çizelge 2'de verilmiştir. Çalışmada, Biga-Çanakkale bölgesinden temin edilen perlit, pegmatit yerine % 2, 4, 6 oranlarında kullanılarak bünye reçeteleri hazırlanmış ve perlit ilave oranlarına bağlı olarak sırasıyla MP2, MP4 ve MP6 olarak adlandırılmıştır.

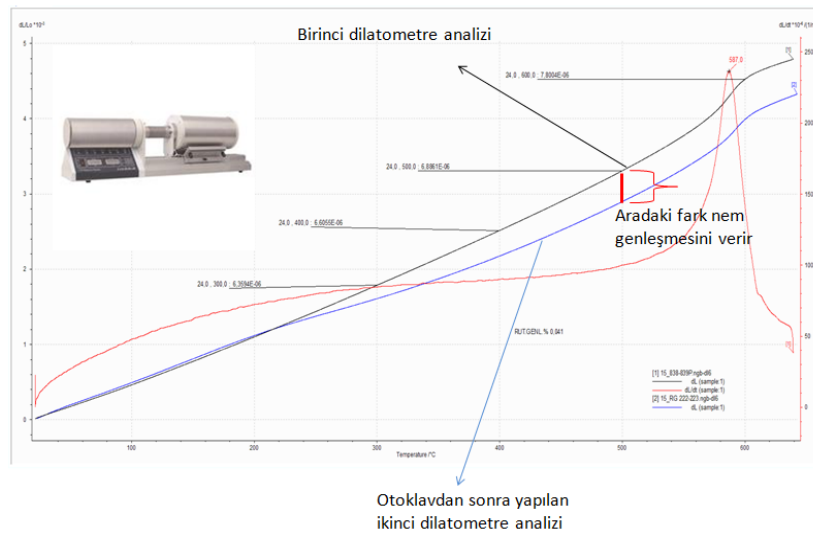
Tablo 2. Duvar karosu reçete kompozisyonları (% ağı.)

	Std	MP2	MP4	MP6
Kalsit	11,5	11,5	11,5	11,5
Kil A+B	42,5	42,5	42,5	42,5
Kaolen A+B	10,5	10,5	10,5	10,5
Pegmatit	8,5	6,5	4,5	2,5
Granitik Kayaç	21	21	21	21
Pişmiş Kırık	6	6	6	6
Perlit	-	2	4	6

Belirlenen bünye reçetelerinde hammaddelerin rutubet değerleri hesaplanarak, reçetede kullanım oranları tespit edilmiş, su ve elektrolit ilavesi ile bilyalı değirmenlerde yaklaşık 1680 g/lit yoğunluk, 63 µm elek üstü bakiyesi % 2-2,5 gelene kadar öğütülmüştür. Bünye çamurlarına akışkanlığı kolaylaştırıcı elektrolit olarak % 0,45 Na₂SiO₃ ve % 0,16 NaTPP kullanılmıştır. Öğütülen karışımın yoğunluk (g/lit), viskozite (akma sn) ve elek bakiye (+63 µm) değerleri ölçülmüştür. Uygun değerler saptandıktan sonra, elde edilen çamur 110°C sıcaklıktaki laboratuvar tipi etüvde kurutulmuş ve granül eldesi için havanda öğütülerek bünye, 500 µm'lik eleklerden elendikten sonra %5-6 rutubete sahip olacak şekilde nemlendirilmiştir. Nemlendirilen toz granül 1 mm'lik eleklerden elendikten sonra rutubetin homojen şekilde dağılması için bir gün süre ile bekletilmiştir. Hazırlanan granüller laboratuvar tipi pres ile 325 kg/cm² basınçla 50x100 mm boyutlarında şekillendirilerek numuneler hazırlanmış, etüvde 1 saat bekletilerek kurumaları sağlanmıştır. Hazırlanan numunelerin pişirimleri Kaleseramik Çanakkale Kalebodur Seramik Fabrikası'nda endüstriyel duvar karosu tek pişirim koşullarına göre 1135°C'de 35 dak. lık pişirim süresinde gerçekleştirilmiştir.

1.3. Karakterizasyon

Hazırlanan numunelerin standartlar dahilinde tüm fiziksel testleri uygulanmış, ortalama değerleri alabilmek amacıyla her bir test için üçer adet numune hazırlanmıştır. Bünye reçetelerinin sinterleme davranışları Misura ODHT HSM 1600/80 (Expert System Solutions, İtalya) marka ve modelde çift kameralı temassız optik dilatometre ile incelenmiştir. Hazırlanan numune karolar pişirildikten sonra yapıda oluşan kristal fazların analizinde X-ışınları kırınımı (XRD) yöntemi kullanılmıştır. XRD ölçümleri X'Pert Pro MPD 30 mA, 40 kV 0,02 Step Size ile 3- 70°2θ arası taranarak tespit edilmiştir. Geliştirilen bünyelerin ısı genleşme katsayıları ve nem genleşmelerinin tespiti için Netzch 402 EP model ve marka dilatometre cihazı kullanılmıştır. Nem genleşmesi ölçümü için öncelikle numunelerin dilatometre ile ısı genleşme katsayıları tespit edilmiş, ardından numuneler otoklavda 6 atü 3,5 saat buhar basıncına maruz bırakılmış ve tekrar dilatometre ile ölçümleri yapılmıştır. Şekil 1'de görüldüğü şekilde, otoklav testi öncesi ve sonrası yapılan dilatometre ölçümlerinde elde edilen eğriler arasındaki fark bünyenin nem genleşmesini vermektedir (Vokac vd. (2009)).

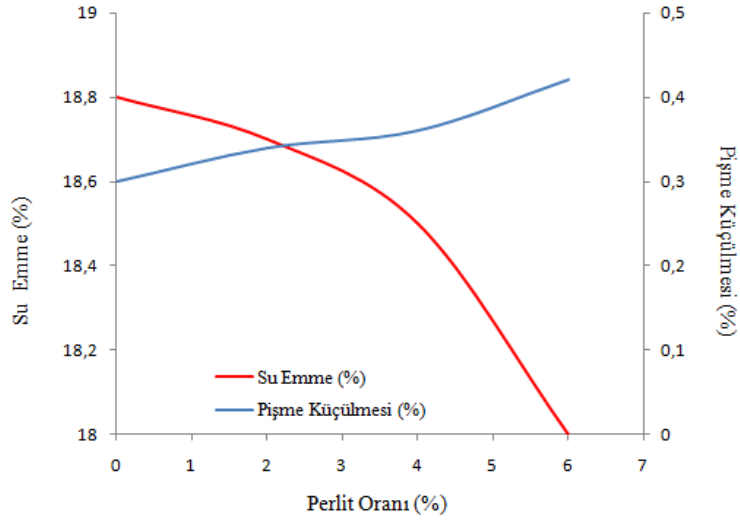
**Şekil 1.** Dilatometre yöntemi ile nem genleşmesi ölçümü.

Mikroyapı analizi için karolar kesit yüzeylerinden parlatılmış ve ayrıca kırık yüzeyleri dağlanmış taramalı elektron mikroskobu ile ikinci elektron görüntüleri alınmıştır. Bütün numuneler yüzey iletkenliği sağlamak amacıyla Sputter Coater marka kaplama cihazında altın-paladyum kaplama işlemine tabi tutulmuştur. Numunelerin mikroyapı analizleri Zeiss Supra 50 VP marka taramalı elektron mikroskobunda(SEM) gerçekleştirilmiştir. İlave olarak numunelerin EDX ile kalitatif kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan nihai ürünler, TS EN 14411 (Grup BIII, E >%10) standart test serisine göre değerlendirilmeye alınmıştır. Numunelerin renk ölçümü (L*, a*, b* renk değerleri) Minolta Konica model renk ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

2. BULGULAR VE TARTIŞMA

2.1. Fiziksel ve Optik Özellikler

Duvar karosu bünyesine yapılan perlit ilavesine bağlı olarak değişen bünye su emme ve pişme küçülmesi değerleri Şekil 2’de verilmiştir. Bünyelerin pişme küçülme değerleri perlit miktarına bağlı olarak artarken su emme değerlerinde bir azalma elde edilmiştir. Su emme değerinin en düşük olduğu % 6 perlit ilaveli bünyenin pişme küçülme değeri beklenildiği şekilde en yüksektir. Bu durum duvar karosu bünyesinde pegmatit yerine perlitin kullanımı ve miktarının artması ile camsız fazın artması dolayısıyla bünye sinterlenmesinin de artması ile açıklanabilir (Taşpınar (1997), Vilches (2002), Cengiz Kara (2008)). Bünyelerin su emme ve pişme küçülme değerleri standartlara uygun olarak elde edilmiştir (TS EN 14411).



Şekil 2. Perlit ilavesine bağlı olarak % su emme ve % pişme küçülmesi değerlerinin değişimi

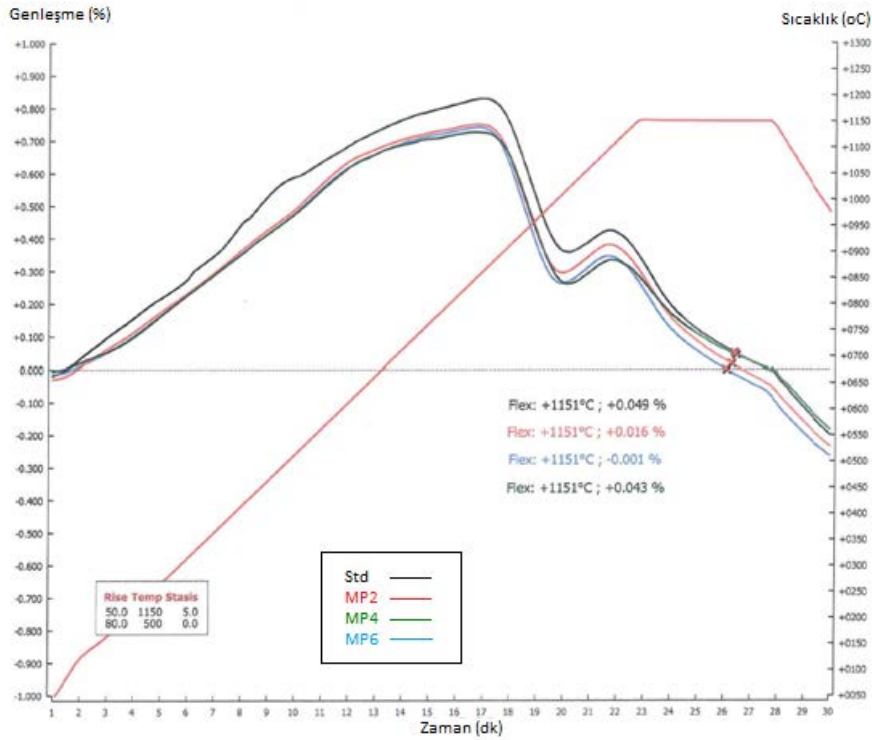
Bünyelere ait fiziksel ve ısıl özellikler Çizelge 3’te verilmiştir. Isıl genleşme katsayısı sonuçlarında perlit miktarına bağlı değişiklik olmazken, bünyelerin nem genleşme değerinin perlit miktarı ile birlikte arttığı görülmektedir. Perlitin en yüksek oranda kullanıldığı (%6) MP6 reçetesinde nem genleşme değeri 0,033 olarak ölçülmüş ve özellikle büyük ebatlı (30x60cm, 25x75cm, 30x90cm vb.) duvar karoları için kritik olarak öngörülen seviyenin üzerine çıktığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte bünyelerin L* değeri perlit bağlı olarak azalma yönündedir. Bu sonuçlar perlit miktarının artmasıyla bünyedeki cam fazın artması ve kristalin faz miktarının azalmasıyla açıklanabilir (Taşpınar (1997)).

Çizelge 3. Çalışılan bünyelerin fiziksel ve ısıl özellikleri

	Std	MP2	MP4	MP6
Isıl Genleşme Katsayısı ($10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) (20-400°C)	69,01	68,45	68,41	68,82
Nem Genleşmesi (%)	0,022	0,0265	0,0285	0,0330
L*	74,68	74,41	74,38	74,11
a*	5,96	6,01	5,88	5,88
b*	19,42	19,02	18,97	19,06

2.2. Pişirim Davranışı

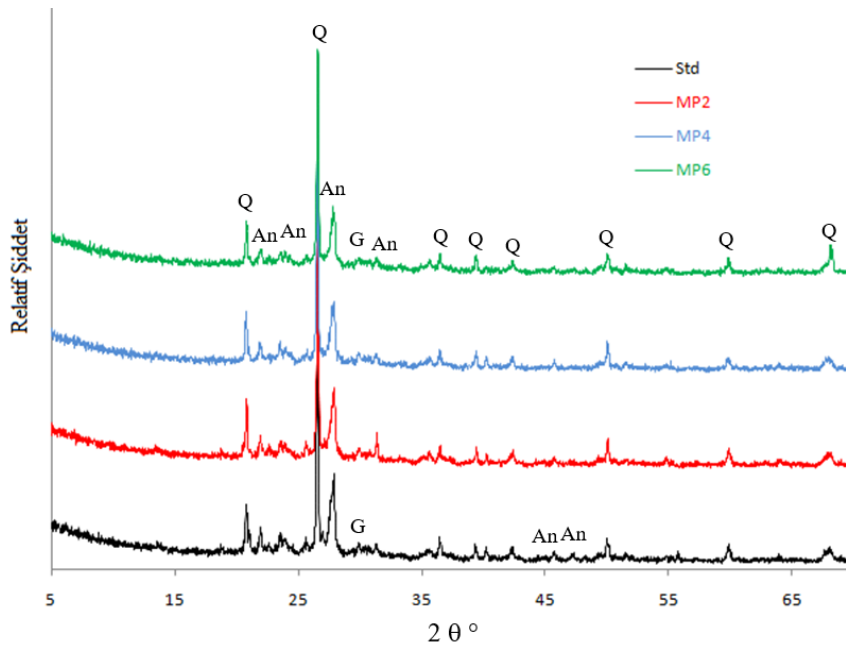
Şekil 3’te standart ve perlit ilaveli bünyelere ait hızlı pişirim davranış eğrileri verilmiştir. Eğriler, zamana karşılık artan sıcaklık ve bünyenin küçülme davranışı ile sinterleme oranını göstermektedir. Temassız optik dilatometre cihazı ile elde edilen bu eğrilerden sinterlemenin en hızlı meydana geldiği sıcaklık değerlerinin standart ve perlit ilaveli tüm bünyeler için 1151°C olduğu belirlenmiştir. Bu açıdan değerlendirildiğinde duvar karosu bünye kompozisyonunda pegmatit yerine yapılan perlit ilavesinin bünyenin sinterlenmesini çok değiştirmedığı tespit edilmiştir. Ayrıca optik dilatometre analiz sonuçlarına göre perlit ilavesi ile birlikte küçülme miktarı artmakta olup, bu da pişme küçülmesi test sonuçlarını doğrular niteliktedir.



Şekil 3. Standart ve perlit ilaveli duvar karosu bünyelerine ait dilatometre eğrileri.

2.3. Faz Analizi

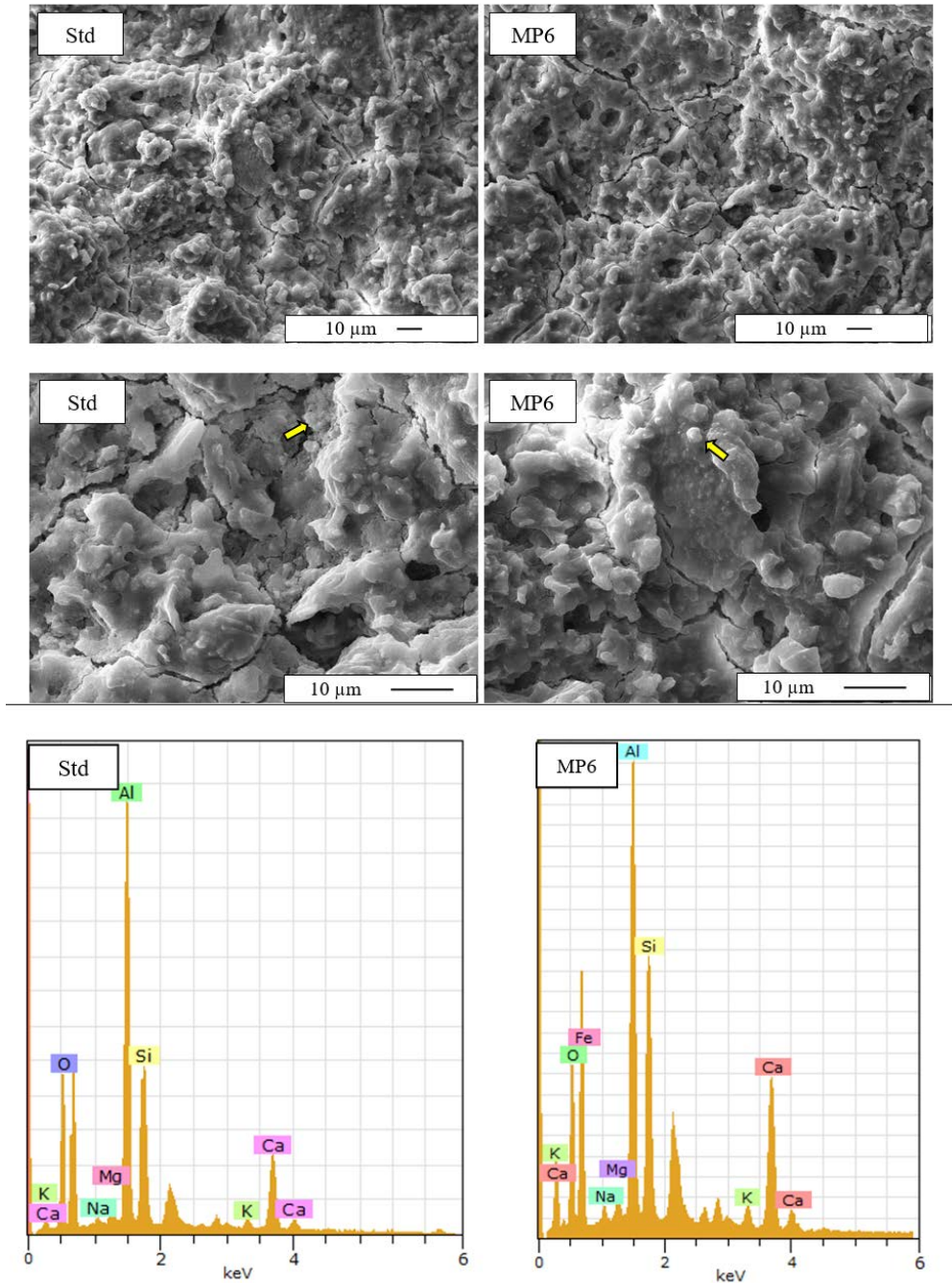
Seramik duvar karosu bünyelerinde genellikle kil, kaolen ve kuvarşın yanı sıra yüksek porozite ve boyutsal kararlılık sağlayan kalsiyum ve magnezyum karbonat ihtiva eden kalsit, talk, vollaştonit ve dolomit gibi hammaddeler kullanılır. Bünyedeki karbonatlar 800-900 °C sıcaklık aralığında bozunarak CO₂ açığa çıkarılırlar. Ve bünye içinde oldukça reaktif faz haline gelirler. CaO, alümina silikatlarla reaksiyona girerek (2CaO.Al₂O₃.SiO₂) gehlenite ve (CaO.Al₂O₃.2SiO₂) anortiti oluşturur (Lach (1978), Montorsi vd. (2006), Swapan vd. (2005), Escardino vd. (2010)). Standart ve deneme bünyelere ait XRD analizleri Şekil 4'te verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre bünyelerin hepsinde önemli miktarda kalıntı kuvarş görülmektedir. Bunun yanı sıra, anortit ve az miktarda gehlenit fazı tespit edilmiştir. Bünyelerde perlitin artmasıyla birlikte anortit fazı ve kuvarş fazında azalma görülmüştür. Özellikle perlit oranının en yüksek olduğu (%6) MP6 bünyesinin standartla kıyaslamalı XRD si incelendiğinde kuvarş ve anortit fazlarının pik şiddetlerindeki azalma net olarak görülmektedir. Bu sonuç perlit miktarının artmasıyla bünyedeki cam fazın artması ve kristalin faz miktarının azalmasıyla açıklanabilir.



Şekil 4. Standart ve deneme bünyelere ait kıyaslamalı temsili XRD analizleri (An: Anortit, Q: Kuvarş, G: Gehlenit)

2.4. Mikroyapı Analizi

Standart ve perlit ilaveli MP6 kodlu bünyenin dağlanmış kırık yüzeylerinden elde edilen ikincil elektron görüntüleri ve EDX analizleri Şekil 5'te verilmiştir. %6 perlit ilaveli bünyenin standart bünyeye göre biraz daha fazla sinterlenmekle birlikte benzer bir mikroyapısının olduğu ve her iki bünyenin ikincil elektron görüntüsünde kristal faz bölgesine yapılan EDX analizi sonucu bünyelerde sinterleme sırasında küresel anortit kristallerinin gelişimi görülmektedir. Literatürde yapılan çeşitli çalışmalarda küresel şekilli kristallerin anortit ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) kompozisyonuna yakın olduğu ifade edilmiştir (Montorsi vd. (2006), Cengiz ve Kara (2008), Tarhan vd. (2016)). İşaret edilen noktalara yapılan EDX analiz sonuçlarına göre söz konusu bölgede oluşan kristaller kalsiyum, alüminyum, oksijen ve silika içermekte olup; mevcut literatürle paralellik arz etmektedir.



Şekil 5. Std ve MP6 kodlu bünyelere ait temsili SEM görüntüleri ve küresel şekilli kristallerden alınan EDX analizleri.

3. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada duvar karosu bünyelerinde pegmatit yerine perlitin kullanılabilirliği ve duvar karosu teknik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Duvar karosu bünyelerinde perlit ilavesi bünye su emme değerini düşürmekte, pişme küçülme değerinde ise artışa neden olmaktadır. Bununla birlikte nihai ürün özelliklerinin TS EN 14411 standartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir. Ancak perlit oranındaki artışla birlikte bünye nem genleşme değeri ise artma eğilimindedir. Seramik karoların nem genleşmesi kaplama

malzemeleri sektörü için oldukça ciddi bir problem olup, servis ömürlerini belirleyen en önemli kalite parametrelerinden biridir. Poroz yapıli seramik karo bünyelerine etki eden nem, nem genleşmesine neden olarak boyutlarda artışa neden olmaktadır. “Gecikmiş çatlak” olarak bilinen bu hatanın riski seramik karonun nem genleşmesinin düşürülmesi ile azaltılabilir (Almeida vd. (1997), Zvezdin ve Kir’yanov (2006)). Bu nedenle duvar karosu bünyelerinde nem genleşme değeri kontrol altında tutulmalıdır. Tüm bu fiziksel ve mikroyapısal özellikler göz önünde bulundurulduğunda duvar karosu bünye kompozisyonlarında pegmatit yerine perlitin kontrollü olarak % 6 oranına kadar kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışmada desteklerinden dolayı Kaleseramik Çanakkale Kalebodur Seramik San. A.Ş.’ye teşekkür ederiz.

4. KAYNAKLAR

Almeida J.V., Ferreira V.M., Corria A.M.S., (1997). Moisture expansion in ceramic building materials. Key Engineering Materials, Vol 132-136, P 2176-2179.

Amorós J.L, Escardino A., Sanchez E., Zaera F., (1993). Dimensional stability in single-fired porous tile. Qualicer, 335-362.

Amorós J.L., Orts M.J., Mestre S., Garcia-Ten J., Feliu C., (2010). Porous single-fired wall tile bodies: Influence of quartz particle size on tile properties. Journal of the European Ceramic Society, (30), 17–28.

Cengiz Ö., Kara A., (2008). Tek pişirim duvar karosu bünyelerinde borik asit ilavesinin sinterleme davranışına etkileri. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 29-35.

Escardino A., García-Ten J., Feliu C., Moreno A., (2010). Calcium carbonate thermal decomposition in white-body wall tile during firing. I. Kinetic study. Journal of the European Ceramic Society, 30, 1989–2001.

Montorsi M., Reginelli M., Rovini A., Settembre D., Siligardi C., Lugli C. (2006). Reactivities of carbonates with illite and kaolinite in monoporous bodies. Ceramic World Review n. 69. 110-120.

Lach V. (1978). Microstructural changes during the firing of wall tile and sanitaryware. Ceramurgia International, Vol. 4. n. 1., 28-37.

Plesingerova B., Klapac M., Kovalcikova M., (2002). Moisture expansion of porous biscuit bodies - reason of glaze cracking. Ceramics-Silikaty 46 (4) 159-165.

Swapan K.D., Kausik D., Nar S., Ritwik S., (2005). Shrinkage and strength behaviour of quartzitic and kaolinitic clays in wall tile compositions. Applied Clay Science, 29, 137– 143.

Şencan, İ. (2010). Perlitli Sır ve Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Tarhan M., Tarhan B., Aydın T., (2016). The Effect of fine fire clay sanitaryware wastes on ceramic wall tiles. Ceramic International, Volume 42, Issue 15, 15, Pages 17110–17115.

Taşpınar, B. (1997). Duvar Karosu Üretiminde Perlit Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

TS EN 14411/Grup BIII (2006), Su Emmesi E> %10 olan Kuru Preslenmiş Seramik Karolar.

Vasic R., Vasic M., (2011). Phenomenon of moisture expansion and its influence on mechanical properties of brick clay products. Ceramic Materials, 63, 1 54-57

Vilches E.S., (2002). Technical considerations on porcelain tile products and their manufacturing process, Qualicer, Volume 1, 57-83.

Vokac M., Klouzkova A., Hanykyr V., Bouska P., (2009). Dilatometric analysis of ceramic roof tiles for determining irreversible moisture expansion. Ceramics – Silikaty, 53 (4), 303-309.

Zvezdin D.F., Kir’yanov A.V., (2006). Moisture expansion of ceramic tiles in double firing. Glass and Ceramics, Vol 63, Issue 1-2, 20-21.



Kırklareli İli Merkez İlçede Yer Alan İlkokul Ve Ortaokul Tesislerinin Mevcut Durumunun Analiz Edilmesi Ve 2026 Yılı İçin Öngörülerde Bulunulması

Analysis of The Current Situation of Primary And Secondary School Facilities In Kırklareli Province Central District And Predictions For The Year 2026

Azem KURU^{*1}, Mete Korhan ÖZKÖK¹, Melih BİRİK¹, Ezgi TOK¹, Hatice Meltem GÜNDOĞDU¹, Göksel DEMİR¹

Kırklareli Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlaması Bölümü, 39100 Kırklareli, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 24/10/2017

Kabul/Accepted: 26/12/2017

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Öz

Araştırmanın birinci aşamasında, Kırklareli ili, merkez ilçe yerleşik kentsel alanında bulunan ilkököl ve ortaokul düzeyindeki eğitim tesislerinin mevcut durumdaki alan, etki yarıçapı ve kapasite durumu sorgulanmıştır. İkinci aşamada İl Milli Eğitim Müdürlüğü ve Türkiye İstatistik Kurumu Edirne Bölge Müdürlüğü'nün sağladığı veriler değerlendirilerek 2026 yılı öğrenci sayısı projeksiyonu hazırlanmış, ilkököl ve ortaokul olmak üzere iki farklı eğitim grubu hedeflenerek öngörülen öğrenci sayısına göre her mahallede ihtiyaç duyulan derslik sayısı belirlenmiştir. Çalışmanın üçüncü aşamasında ise Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği Ek 2'de açıklanan Kentsel, Sosyal ve Teknik Altyapı standartları çerçevesinde yerleşimde bulunan ilkököl ve ortaokul tesislerinin güncel alan yeterliliği ve 2026 yılı için ihtiyaç duyulacak alan miktarı konusunda mahalle bazlı çıkarımlar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Eğitim Tesisleri, Kentsel Donatı, Donatı Yer Seçimi, Kırklareli”

Abstract

In the first phase of the research, the current area, effect radius and capacity status of the primary and secondary school education facilities located in the urban area of Kırklareli province, central district were questioned. In the second stage, the data provided by the Provincial Directorate of National Education and the Turkish Statistical Institute Edirne Regional Directorate were evaluated and 2026 year student number projections were prepared. Two different education groups were targeted; primary and secondary schools. The number of classrooms needed in each district was determined according to the number of students envisaged. In the third phase of the study, neighborhood-based deductions were made for the current field competence of the elementary and secondary schools located in the framework of the Urban, Social and Technical Infrastructure standards described in Annex 2 of the Spatial Plans Construction Regulation and the amount of space needed for 2026 years.

Key Words

“Education Facility, Urban Facility, Site Selection For Urban Facilities, Kırklareli”

1. GİRİŞ

Bu araştırmada Kırklareli ili Merkez ilçede hizmet veren mevcut ilkokul ve ortaokul tesislerinin alan, etki yarıçapı ve kapasite bakımından yeterliliği sorgulanmakta ve 2026 yılı için gerekli olacak alan ve kapasite ihtiyacına dair çıkarımlar yapılmaktadır. Kırklareli İli Milli Eğitim Müdürlüğü'nün 2016 – 2026 planlama döneminde okul yatırımları ile ilgili, mahalle bazlı planlamaya veri oluşturmak üzere hazırlanan çalışma bu araştırma çerçevesinde genişletilmiştir. Kamu-üniversite işbirliği ile yürütülen çalışma kapsamında İl Milli Eğitim Müdürlüğü ve Türkiye İstatistik Kurumu Edirne Bölge Müdürlüğü'nün sağladığı veriler değerlendirilerek 2026 yılı öğrenci sayısı projeksiyonu hazırlanmış, ilkokul ve ortaokul olmak üzere iki farklı eğitim grubu hedeflenerek öngörülen öğrenci sayısına göre her mahallede ihtiyaç duyulan derslik sayısı belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği Ek 2'de açıklanan Kentsel, Sosyal ve Teknik Altyapı standartları çerçevesinde yerleşmede bulunan ilkokul ve ortaokul tesislerinin güncel alan yeterliliği ve 2026 yılı için ihtiyaç duyulacak alan miktarı konusunda mahalle bazlı çıkarımlar yapılmıştır.

2. ARAŞTIRMANIN KAPSAMI VE YÖNTEMİ

Araştırma Kırklareli il merkezi kentsel alanı içerisinde bulunan ve 12 mahalleye hizmet eden ilkokul ve orta öğretim tesislerini içermektedir. Her mahalle için güncel duruma dair tespitler yapılmış ve 2026 yılı için öngörülerde bulunulmuştur. Çalışma beş aşamada ele alınmıştır.

- *Veri temini, tasnifi ve haritalandırması:* Mahallelere göre geçmiş dönemlere ait nüfus verileri ve mevcut okul-derslik sayılarının temini. CBS üzerinde veri girişi yapılarak okulların mekânsal dağılım şemasının hazırlanması.
- *Nüfus projeksiyonlarının hazırlanması:* Öğrenci yaş gruplarına göre 2026 hedefli nüfus projeksiyonlarının hazırlanması ve test edilmesi.
- *Derslik sayılarının belirlenmesi ve değerlendirmeler:* Öngörülen nüfus değişimine göre kentsel alan içerisinde gerekli derslik sayılarının belirlenmesi.
- *İlkokul ve ortaokul tesislerinin yönetmelikte açıklanan standartlar çerçevesinde alan yeterliliğinin sorgulanması:* Kentsel alanın mevcut durumda sahip olduğu eğitim tesis alanlarının hesaplanması ve 2026 yılı için öngörülen nüfus çerçevesinde ihtiyaç duyacağı alan miktarının belirlenmesi.
- *Eğitim tesislerinin etki yarıçapı bakımından yerleşmede dağılımının irdelenmesi:* Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği'nde ifade edilen ilkokul için en fazla 500 metre, ortaokul için en fazla 1000 metre etki alanı standardı göz önünde bulundurularak eğitim tesislerinin erişilebilirliğinin sorgulanması (Mekansal Planlar Yapım Yönetmeliği, Madde 12).

Kırklareli merkezi kentsel alanını sınırları içerisinde yürürlükte olan 1991 imar planı verilerinde eğitim alanları belirlenmiş olmasına rağmen 2026 yılı kentsel gelişme stratejileri ve donatı alanlarını öngören 1/5000 ölçekli Nazım İmar Planı ve 1/1000 ölçekli Uygulama İmar Planı bulunmamaktadır. Bu nedenle çalışma il milli eğitim müdürlüğünün yatırım planlama sürecinde değerlendirmek üzere nüfus artış verileri temel alınarak oluşturulmuştur. Eğitim alanlarının kentsel mekân organizasyonu içerisinde öngörülebilmesi için planlama sürecinde değerlendirilerek kentsel sistemler ile entegrasyonun ve erişilebilirliğinin sağlanmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Çalışmada elde edilen verilerin kentsel planlama sürecinde tüm paydaşlarla birlikte yeniden değerlendirilerek, bütüncül planlama yaklaşımına uygunluğu denetlenmeli ve önerilen derslik sayısının mekânsal dağılımı yeni gelişme alanları ile ilişkilendirilmelidir.

3. VERİ TEMİNİ, TASNİFİ VE HARİTALANDIRMASI

3.1. Mahallelere Göre Nüfus Değişimi

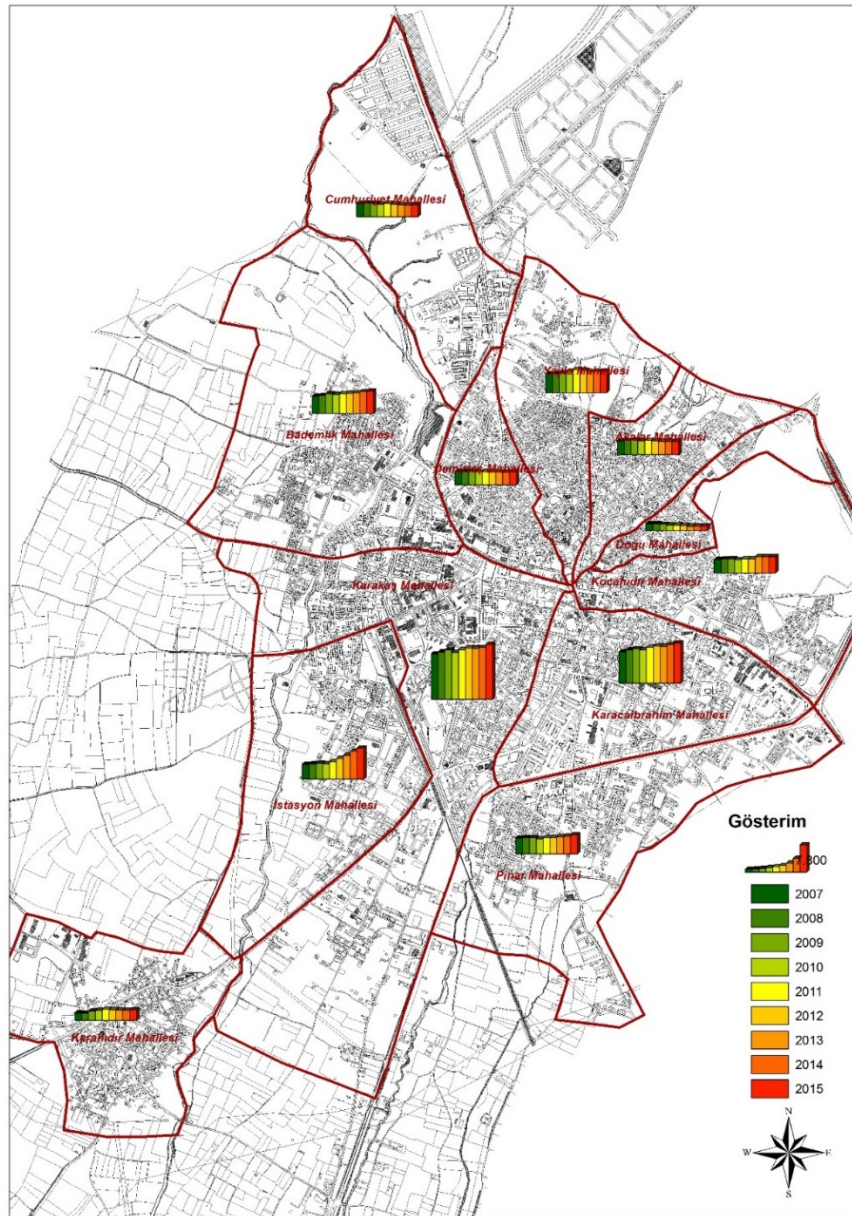
Tablo 1. Mahallelerin Yıllara Göre Nüfus Değişimi (TÜİK ADNKS verileri derlenerek hazırlanmıştır)

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1 Akalar Mahallesi	3917	4030	4090	3861	4037	3963	3700	3687	3728
2 Bademlik Mahallesi	4799	5052	5561	5249	5547	5650	5817	6171	6317
3 Cumhuriyet Mahallesi	3830	3855	3775	3615	3788	3622	3442	3309	3468
4 Demirtaş Mahallesi	3688	3779	3863	3600	3702	3719	3643	3522	3735
5 Doğu Mahallesi	2004	1949	1851	1646	1642	1464	1275	1290	1310

Tablo 2 (devam). Mahallelerin Yıllara Göre Nüfus Değişimi (*TÜİK ADNKS verileri derlenerek hazırlanmıştır*)

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
6 İstasyon Mahallesi	4169	4285	4560	4384	4914	5841	6734	7877	8770
7 Karacaibrahim Mahallesi	8986	9483	9799	9457	10234	10523	10492	11036	11421
8 Karahıdır Mahallesi	2079	2013	2615	2825	3126	3083	2907	2883	2982
9 Karakaş Mahallesi	12868	13409	13985	13333	14032	14558	14525	14724	15554
10 Kocahıdır Mahallesi	3825	4020	4066	3802	4071	4075	4612	4617	4672
11 Pınar Mahallesi	4543	4608	4613	4338	4600	4597	4874	5024	5397
12 Yayla Mahallesi	5262	5397	5487	6042	6533	6265	5983	6021	6163

Kırklareli kentinde nüfus değişimi mahalleler ölçeğinde genel bir değerlendirmeye tabi tutulduğunda İstasyon Mahallesinin önemli ölçüde diğer mahallelerden ayrıldığı gözlemlenmektedir. İstasyon Mahallesi ile birlikte Pınar Mahallesi, Bademlik Mahallesi kentin çeperinde nüfus toplayan diğer mahallelerdir. Yüzölçümü bakımından küçük olan Doğu Mahallesi, Akalar Mahallesi, Cumhuriyet Mahallesi kentteki nüfus kaybeden mahalleler olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 1).

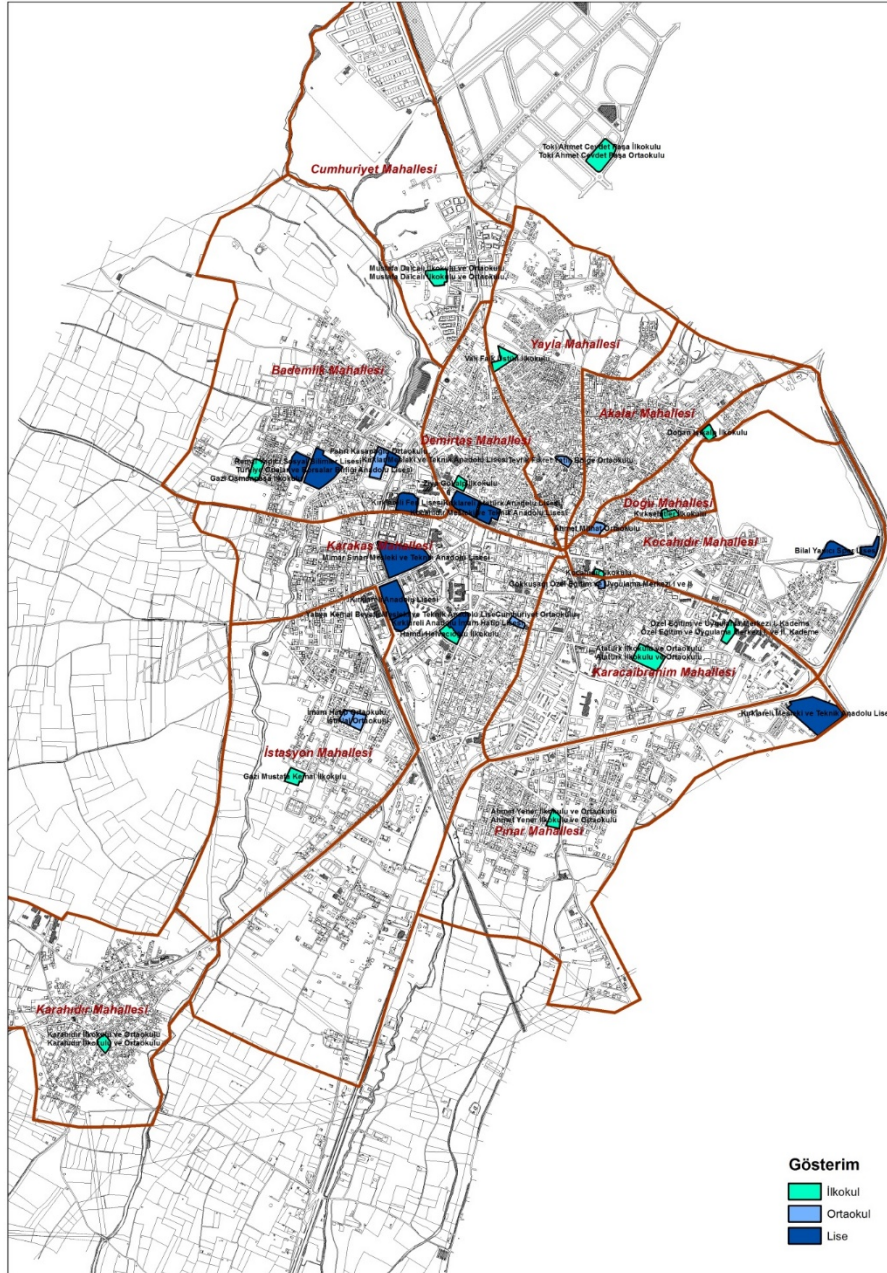
**Şekil 1.** Mahallelerin Yıllara Göre Nüfus Değişimi

3.2. Mahallelere Göre Eğitim Tesislerinin Dağılımı

Kentteki eğitim tesisleri bu çalışma kapsamında, İlkokul ve Ortaokul olmak üzere 2 başlık altında değerlendirilmiştir. Milli Eğitim Bakanlığı'nın internet sitesi ve İl Milli Eğitim Müdürlüğü tarafından sağlanan kaynaklar kullanılarak bu eğitim tesislerinin mahallere göre dağılımı haritalandırılmıştır (Şekil 2).

Kentteki ilkokullar incelendiğinde toplam 13 adet ilkokulun varlığı bilgisine erişilmiştir. Bu okullardan 1'i Cumhuriyet Mahallesi, 1'i Bademlik Mahallesi, 1'i Demirtaş Mahallesi, 1'i Yayla Mahallesi, 2'si Doğu Mahallesi, 1'i Kocahıdır Mahallesi, 2'si Karacaibrahim Mahallesi, 1'i Karakaş Mahallesi, 1'i Pınar Mahallesi, 1'i İstasyon Mahallesi ve 1'i Karahıdır Mahallesi bulunmaktadır. Bu yönüyle kentin en çok nüfusunu barındıran Karacaibrahim Mahallesi haricindeki tüm mahallelerde 1 adet, Karacaibrahim Mahallesi ise 2 adet İlkokul bulunmaktadır.

Kentte toplam 12 adet ortaokul bulunmaktadır. Cumhuriyet Mahallesi, Yayla Mahallesi, Bademlik Mahallesi, Doğu Mahallesi, Pınar Mahallesi, Karakaş Mahallesi, Karahıdır Mahallesi 1'er adet ortaokul bulunurken; Karacaibrahim Mahallesi ve İstasyon Mahallesi 2'şer adet ortaokul bulunmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Merkez İlçe Yerleşik Kentsel Alanında Bulunan Eğitim Tesislerinin Mahallelere Göre Dağılımı

4. NÜFUS PROJEKSİYONLARININ HAZIRLANMASI

İlgili çalışma konusuna yönelik olarak, 2026 yılı için Kırklareli merkez ilçe yerleşik kentsel alanında, mahalle ölçeğinde nüfus projeksiyonları hazırlanabilmesi için IBM SPSS v.23.0 programı kullanılmış, “Eğri Tahmin Analiz (Curve Estimation Analyze)” yöntemi ile zamana bağlı olarak nüfus projeksiyonları hesaplanmıştır.

Eğri Tahmin Analizi, regresyon temelli yöntem olarak bir bağımsız değişken ile bir veya daha fazla bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi incelemek için kullanılmaktadır. Analizde, 11 adet formülden (doğrusal (linear), logaritmik (logaritmik), ters (inverse), karesel (quadratic), kübik (cubic), kuvvet (power), birleşik (compound), S-eğrisi (S-curve), lojistik (logistic), büyüme (growth), üstel (exponential)) en uygunu seçilerek, oluşturulan saçılım diyagramında eğriler çizilerek bağımsız değişkene göre projeksiyonlar/tahminler oluşturulabilmektedir. Eğri tahmin analizinde, araştırma sorusu için en uygun formül; R^2 olarak ifade edilen korelasyon katsayısı ve güvenilirlik düzeyi (signifance level) ölçütleri ile tespit edilmektedir. R^2 değeri, 1.00'a ne kadar yakınsa ve güvenilirlik düzeyi, 0.005'den ne kadar düşükse; ilişki düzeyi ve analiz sonuçlarının güvenilirliği o oranda yükselmektedir (URL-1). Eğri Tahmin Analizinde zamana bağlı analizler de yapılabilmektedir. Zaman seri modelinde ise, bağımlı değişkeni oluşturan her bir verinin eşit dilimlere sahip bir zaman aralığında alınan veriler olduğu kabul edilerek; projekte edilen diğer bir zaman aralığı için tahminler yapılabilmektedir (URL-2). Özellikle nüfus projeksiyonlarında kullanılan zaman seri modelinde, uygunluklarından dolayı genellikle doğrusal (linear), logaritmik (logaritmik), karesel (quadratic), kübik (cubic), büyüme (growth), üstel (exponential)) formülleri kullanılmaktadır.

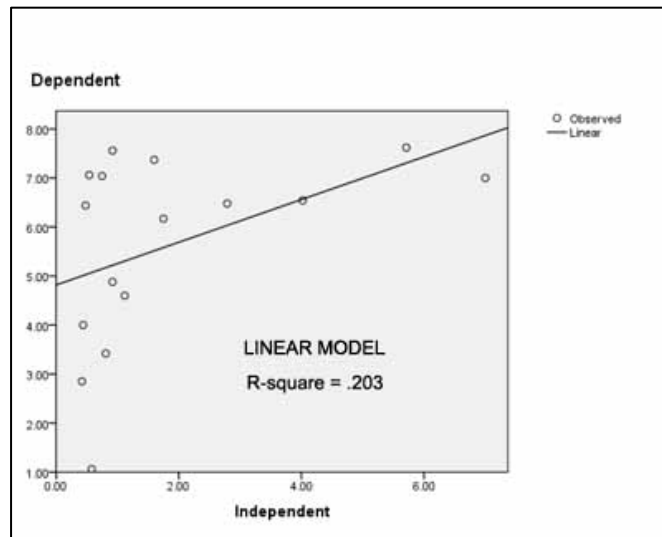
İlgili çalışmada da, doğrusal (linear), logaritmik (logaritmik), karesel (quadratic), kübik (cubic), büyüme (growth), üstel (exponential)) formüller kullanılarak projeksiyonlar hesaplanmıştır.

4.1. Eğri Formüllerinin Tanımı ve Nüfus Projeksiyonu için Seçimi

Analiz sürecinde, bir veya daha fazla eğri tahmin formülü seçebilmektedir. Veride genel olarak doğrusal veya doğrusala yakın bir artış varsa, doğrusal (linear), logaritmik (logaritmik) formül; düzensiz bir artış varsa, karesel (quadratic), kübik (cubic), büyüme (growth), üstel (exponential) formül kullanılabilir. İlgili formül arasındaki en uygun sonuç ise önceki bölümde de aktarıldığı üzere, korelasyon katsayısı ve güvenilirlik düzeyine göre seçilmektedir. İlgili formüllerin tanımları şu şekildedir:

4.2. Doğrusal (Linear) Formül

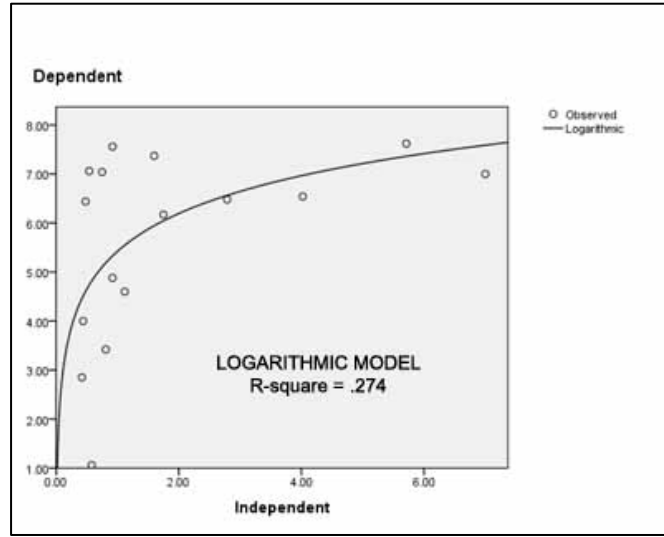
b_0 'ın sabit, b_1 'in x bağımsız değişkeni için regresyon katsayısı olmak üzere $Y = b_0 + (b_1 * X)$ şeklinde ifade edilen ve doğrusal artışın görüldüğü veriler için kullanılan bir formüldür (Şekil 3)



Şekil 3: Doğrusal Formül Saçılım Diyagramı (URL-2)

4.3. Logaritmik (Logaritmik) Formül

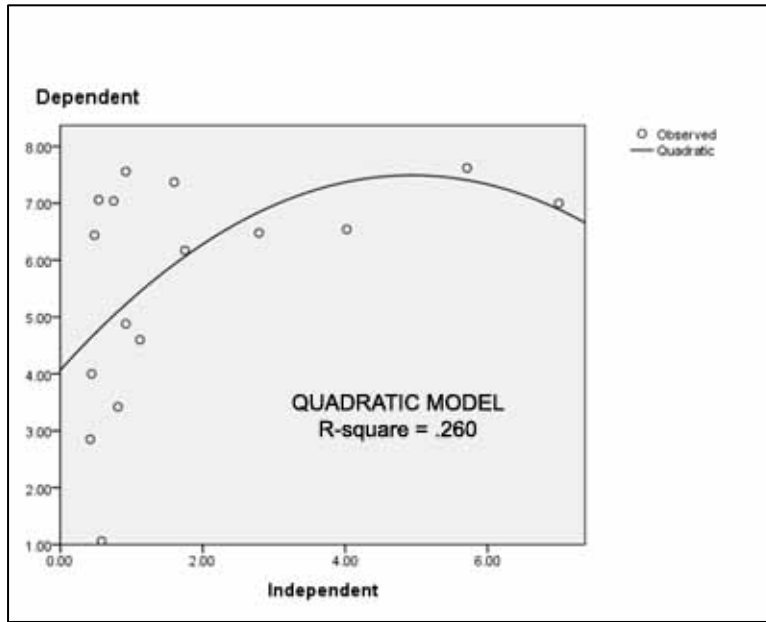
b_0 'ın sabit, b_1 'in x bağımsız değişkeni için regresyon katsayısı olmak üzere, $\ln()$ 'nin doğal logaritma fonksiyonu ele alınan ve $Y = b_0 + (b_1 * \ln(X))$ şeklinde ifade edilen ve doğrusal/doğrusala yakın artışın görüldüğü veriler için kullanılan bir formüldür (Şekil 4).



Şekil 4: Logaritmik Formül Saçılım Diyagramı

4.4. Karesel (Quadratic) Formül

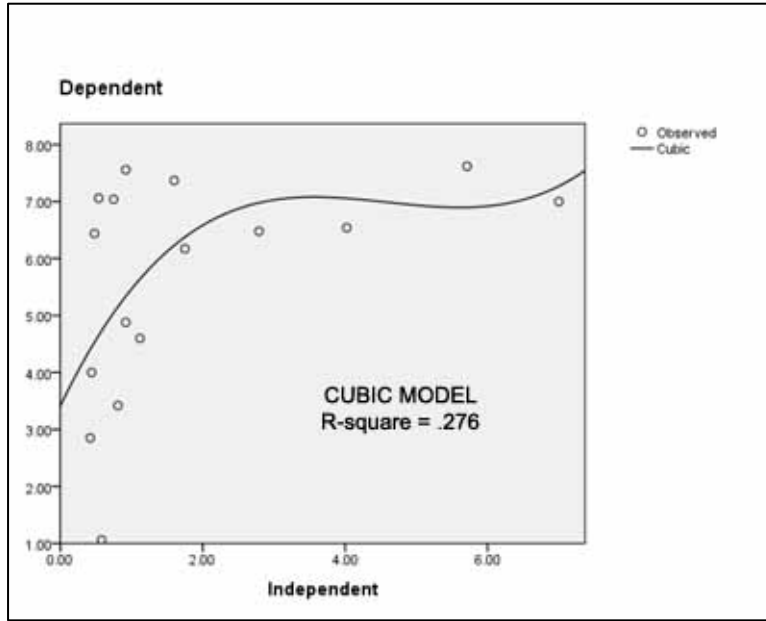
b_0 'ın sabit, b_1 'in x bağımsız değişkeni için regresyon katsayısı olmak üzere, $Y = b_0 + (b_1 * X) + (b_2 * X^{**2})$ şeklinde ifade edilen yükselen veya alçalan bir dizi için kullanılan bir formüldür. B_2 değeri pozitif değere sahipse eğri yukarı, negatifse aşağı yönde gösterilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5: Karesel Formül Saçılım Diyagramı (URL-2)

4.5. Kübik (Cubic) Formül

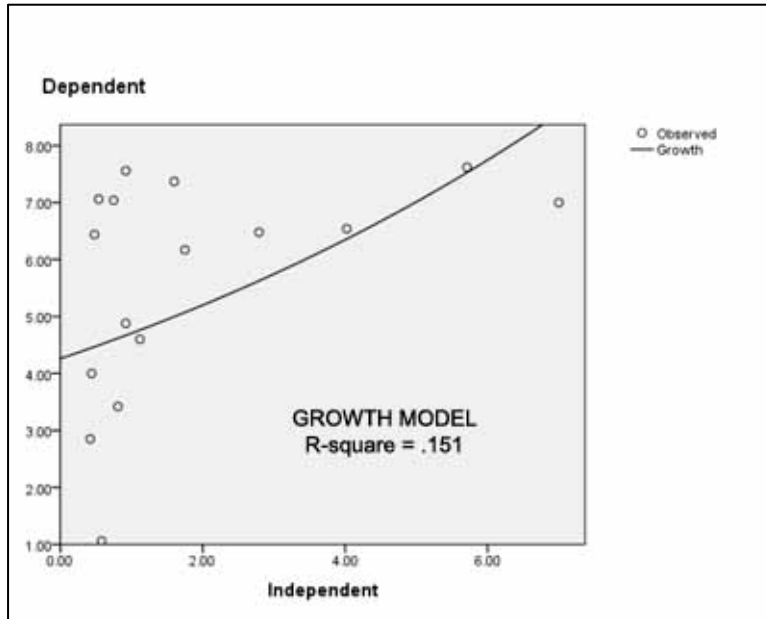
b_0 'ın sabit, b_1 'in x bağımsız değişkeni için regresyon katsayısı olmak üzere, $Y = b_0 + (b_1 * x) + (b_2 * X^{**2}) + (b_3 * X^{**3})$ şeklinde ifade edilen yükselen veya alçalan bir dizi için kullanılan bir formüldür. B_3 değeri pozitif değere sahipse eğri yukarı, negatifse aşağı yönde gösterilmektedir (Şekil 6)



Şekil 6: Kübik Formül Saçılım Diyagramı (URL-2)

4.6. Büyüme (Growth) Formülü

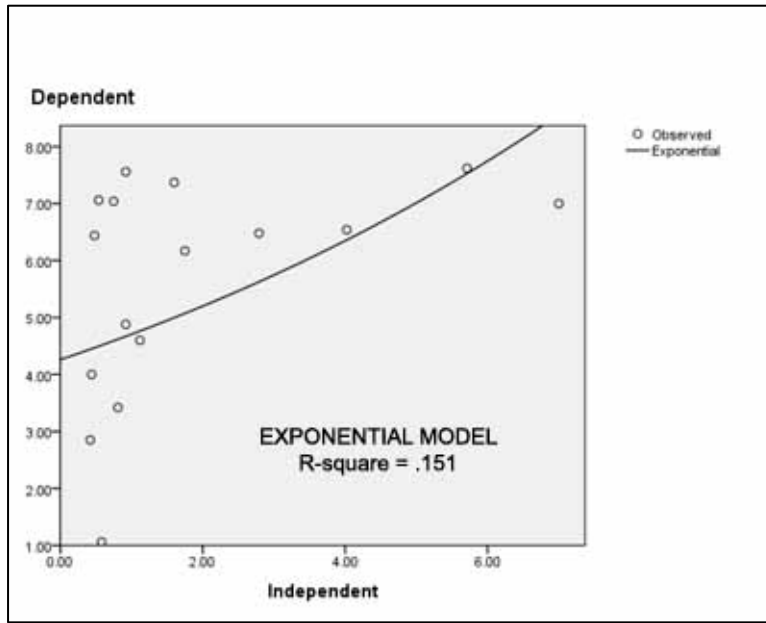
b_0 'ın sabit, b_1 'in x bağımsız değişkeni için regresyon katsayısı olmak üzere, $Y = e^{(b_0 + (b_1 * x))}$ şeklinde ifade edilen bir formüldür. B_1 değeri pozitif değere sahipse eğri yukarı, negatifse aşağı yönde gösterilmektedir (Şekil 7).



Şekil 7: Büyüme Formülü Saçılım Diyagramı (URL-2)

4.7. Üstel (Exponential) Formül

b_0 'ın sabit, b_1 'in x bağımsız değişkeni için regresyon katsayısı olmak üzere, $Y = b_0 * (e^{(b_1 * X)})$ ya da $\ln(Y) = \ln(b_0) + (b_1 * X)$ şeklinde ifade edilen bir formüldür. B_0 değeri pozitif değere sahipse eğri yukarı, negatifse aşağı yönde gösterilmektedir (Şekil 8).



Şekil 8: Üstel Formülü Saçılım Diyagramı (URL-2)

4.8. Çalışmaya Yönelik Nüfus Projeksiyonlarının Oluşturulması

Çalışmada 2026 yılı erimli Kırklareli merkez ilçe, mahalle ölçeğinde, ilkököl (6-9 yaş arası) ve ortaokul (10-13 yaş arası) dönem yaş gruplarına yönelik nüfus projeksiyonlarının hesaplanabilmesi için öncelikli olarak 2026 yılı erimli Kırklareli merkez ilçe yerleşik kentsel alanında ve mahalle ölçekli toplam nüfus hesaplanmıştır. Ana veri olarak, 2007-2015 yılları arası Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi 2016 verileri kullanılmıştır.

1/100.000 ölçekli Trakya Alt Bölgesi Ergene Havzası Revizyon Çevre Düzeni Planı ve 1/25.000 ölçekli Kırklareli Çevre Düzeni Planı'nda 2023 yılı erimli Kırklareli kent merkez nüfus projeksiyon değeri 72.885 kişi, plan hedef nüfusu ise 95.000 kişi olarak belirtilmiştir (1/100000 Ölçekli Trakya Alt Bölgesi Ergene Havzası Çevre Düzeni Plan Raporu, 2009 ve 1/25000 Ölçekli Kırklareli Çevre Düzeni Plan Raporu, 2012). Kırklareli merkez ilçe yerleşik kentsel alanında günümüz nüfusunun ise, TÜİK, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi'nde, 73.500 kişi olduğu görülmektedir. Dolayısı ile plan 2023 yılı erimli nüfus projeksiyon değerinin günümüzde aşıldığı belirlenmiştir. Bu nedenle çalışmada Çevre Düzeni Planı nüfus projeksiyon öngörülerini değerlendirmeye dahil edilmemiştir.

Yukarıda belirtilen veriler kullanılarak hazırlanan 2026 yılı erimli Kırklareli merkez ilçe, mahalle ölçekli nüfus projeksiyon değerleri ve projeksiyonda kullanılan formüller tabloda belirtilmektedir (Tablo 2). Buna göre, 2026 yılı için Kırklareli merkez ilçe nüfusu 89.761 kişi olarak kabul edilmiştir. Bununla beraber, 2016-2026 yılları arası 10 yıllık zaman diliminde Bademlik, Karacaibrahim, Karahıdır, Karakaş, Kocahıdır, Pınar, Yayla ve İstasyon Mahallelerinde nüfusun artacağı; Akalar, Cumhuriyet, Demirtaş, Doğu Mahallelerinde ise nüfusun azalacağı belirlenmiştir. En yüksek artışın ise 5702 kişi artış ile İstasyon, 3912 kişi artış ile Karacaibrahim ve 3515 kişi artış ile Karakaş Mahallelerinde olacağı belirlenmiştir (Tablo 2).

Ayrıca yukarıda belirtilen veriler kullanılarak hazırlanan 2026 yılı erimli Kırklareli merkez ilçe, mahalle ölçekli yaş grup nüfus projeksiyon değerleri ve projeksiyonda kullanılan formüller tabloda belirtilmektedir (Tablo 3). 2026 yılı için Kırklareli merkez ilçe yerleşik kentsel alanında toplam ilkököl yaş grubundaki nüfusun 481 kişi artarak 3720 kişi, ortaokul yaş grubundaki nüfusun 116 kişi artarak 3275 kişi olacağı belirlenmiştir.

İlkokul yaş grubunun; Bademlik, Karacaibrahim, Karakaş, Yayla ve İstasyon Mahallelerinde artacağı; Akalar, Cumhuriyet, Demirtaş, Doğu, Karahıdır, Kocahıdır, Pınar Mahallelerinde ise azalacağı belirlenmiştir. Ortaokul yaş grubunun; Karacaibrahim ve İstasyon Mahallelerinde artacağı; Akalar, Bademlik, Cumhuriyet, Demirtaş, Doğu, Karakaş, Karahıdır, Kocahıdır, Pınar, Yayla Mahallelerinde ise azalacağı belirlenmiştir. Lise yaş grubunun ise; Akalar, Bademlik, Karacaibrahim, Karakaş, Pınar ve İstasyon Mahallelerinde artacağı; Cumhuriyet, Doğu, Demirtaş, Karahıdır, Kocahıdır, Yayla Mahallelerinde ise azalacağı belirlenmiştir (Tablo 4). Doğu ve Demirtaş Mahallelerinde ise, 2026 yılına gelindiğinde ilkököl, ortaokul, lise nüfusunun negatif değerlere düşeceği belirlenmiş bu nedenle Doğu ve Demirtaş Mahallelerinde negatif değere düşmeden önceki ilk değer ele alınmıştır.

Tablo 2. 2026 Yılı Erimli Kırklareli Merkez İlçe, Mahalle Nüfus Tablosu

İL	İLÇE	BELEDİYE	MAHALLE	YILLAR	NÜFUS
KIRKLARELİ	MERKEZ	KIRKLARELİ	AKALAR	2015	3728
				2026	3313
			BADEMLİK	Formül	Büyüme (Growth)
				2015	6317
			CUMHURİYET	2026	8159
				Formül	Doğrusal (Lienar)
			DEMİRTAŞ	2015	3468
				2026	2697
			DOĞU	Formül	Doğrusal (Lienar)
				2015	3735
			İSTASYON	2026	3470
				Formül	Doğrusal (Lienar)
			KARACAİBRAHİM	2015	1310
				2026	1203
			KARAHIDIR	Formül	Kübik (Cubic)
				2015	8770
			KARAKAŞ	2026	14472
				Formül	Doğrusal (Lienar)
			KOCAHIDIR	2015	11421
				2026	15333
			PINAR	Formül	Büyüme (Growth)
				2015	2982
			YAYLA	2026	3512
				Formül	Logaritmik (Logaritmik)
Toplam (2015)	2015	15554			
	2026	19069			
Toplam (2026)	Formül	Büyüme (Growth)			
	2015	4672			
Toplam (2015)	2026	5831			
	Formül	Doğrusal (Lienar)			
Toplam (2026)	2015	5397			
	2026	6093			
Toplam (2015)	Formül	Doğrusal (Lienar)			
	2015	6163			
Toplam (2026)	2026	6609			
	Formül	Logaritmik (Logaritmik)			
Toplam (2015)				73517	
Toplam (2026)				89761	

Tablo 3. 2026 Yılı Erimli Kırklareli Merkez İlçe, Mahalle Yaş Grupları Tablosu (TÜİK ADNKS verileri derlenerek hazırlanmıştır.)

İL	İLÇE	MAHALLE	YILLAR	İlkokul	Ortaokul	Lise	Toplam
				6-9 Yaş	10-13 Yaş	14-17 Yaş	
KIRKLARELİ	MERKEZ	AKALAR	2015	181	152	205	538
			2026	135	121	222	478
			Test Türü	Logaritmik (Logaritmik)	Logaritmik (Logaritmik)	Doğrusal (Linear)	
		BADEMLİK	2015	241	268	276	785
			2026	310	184	325	819
			Test Türü	Doğrusal (Linear)	Büyüme (Growth)	Logaritmik (Logaritmik)	
		CUMHURİYET	2015	146	128	180	454
			2026	111	100	136	347
			Test Türü	Logaritmik (Logaritmik)	Logaritmik (Logaritmik)	Logaritmik (Logaritmik)	
		DEMİRTAŞ	2015	120	98	183	401
			2026	80	78	175	333
			Test Türü	Logaritmik (Logaritmik)	Logaritmik (Logaritmik)	Logaritmik (Logaritmik)	
		DOĞU	2015	34	62	52	148
			2026	20	25	30	75
			Test Türü	Logaritmik (Logaritmik)	Logaritmik (Logaritmik)	Logaritmik (Logaritmik)	
		İSTASYON	2015	431	407	457	1295
			2026	889	834	895	2618
			Test Türü	Doğrusal (Linear)	Doğrusal (Linear)	Doğrusal (Linear)	
		KARACA İBRAHİM	2015	592	622	558	1772
			2026	688	822	629	2139
			Test Türü	Logaritmik (Logaritmik)	Doğrusal (Linear)	Büyüme (Growth)	
		KARAHIDİR	2015	46	44	87	177
			2026	20	25	69	114
			Test Türü	Logaritmik (Logaritmik)	Logaritmik (Logaritmik)	Doğrusal (Linear)	
KARAKAŞ	2015	708	665	791	2164		
	2026	762	562	802	2126		
	Test Türü	Doğrusal (Linear)	Büyüme (Growth)	Doğrusal (Linear)			

Tablo 3 (devam). 2026 Yılı Erimli Kırklareli Merkez İlçe, Mahalle Yaş Grupları Tablosu (TÜİK ADNKS verileri derlenerek hazırlanmıştır.)

	KOCAHIDIR	2015	141	182	248	571
		2026	95	110	214	419
		Test Türü	Logaritmik (Logaritmik)	Büyüme (Growth)	Logaritmik (Logaritmik)	
	PINAR	2015	219	196	279	694
		2026	164	127	298	589
		Test Türü	Logaritmik (Logaritmik)	Büyüme (Growth)	Büyüme (Growth)	
	YAYLA	2015	380	335	400	1115
		2026	446	287	367	1100
		Test Türü	Doğrusal (Linear)	Büyüme (Growth)	Doğrusal (Linear)	
Toplam (2015)		3239	3159	3716	10114	
Toplam (2026)		3720	3275	4162	11157	

Tablo 4: 2016-2026 Yılları Arası Kırklareli Merkez İlçe, Mahalle Yaş Grupları Nüfus Artış/Azalış Tablosu (TÜİK ADNKS verileri derlenerek hazırlanmıştır.)

İL	İLÇE	MAHALLE	İlkokul	Ortaokul	Lise
			6-9 Yaş	10-13 Yaş	14-17 Yaş
KIRKLARELİ	MERKEZ	AKALAR	Azalma	Azalma	Artma
		BADEMLİK	Artma	Azalma	Artma
		CUMHURİYET	Azalma	Azalma	Azalma
		DEMİRTAŞ	Azalma	Azalma	Azalma
		DOĞU	Azalma	Azalma	Azalma
		İSTASYON	Artma	Artma	Artma
		KARACAİBRAHİM	Artma	Artma	Artma
		KARAHIDIR	Azalma	Azalma	Azalma
		KARAKAŞ	Artma	Azalma	Artma
		KOCAHIDIR	Azalma	Azalma	Azalma
		PINAR	Azalma	Azalma	Artma
		YAYLA	Artma	Azalma	Azalma

5. DERSLİK SAYILARININ BELİRLENMESİ VE DEĞERLENDİRMELER

2026 projeksiyon yılı için Kırklareli merkez ilçe yerleşik kentsel alanı genelinde, ilkokul için yaklaşık 247 adet, ortaokul için yaklaşık 164 adet, lise için yaklaşık 168 adet dersliğe ihtiyaç duyulmaktadır.

2016-2026 Kırklareli merkez ilçe yerleşik kentsel alan, derslik sayısı projeksiyonu yapılırken; derslik başına düşen öğrenci sayısı ilkokul için 15 kişi, ortaokul için 20 kişi, lise için 25 kişi olarak alınmıştır. Buna göre, ilkokul, ortaokul ve lise çağ nüfusu artış gösteren mahallelerin derslik durumları Tablo 5'de değerlendirilmiştir.

Kırklareli merkez ilçe, mahalleleri bazında, ilkokul çağ nüfusu artış gösteren; Bademlik Mahallesinde yaklaşık 21 adet, İstasyon Mahallesinde yaklaşık 59 adet, Karacaibrahim Mahallesinde yaklaşık 46 adet, Karakaş Mahallesinde yaklaşık 50 adet, Yayla Mahallesinde yaklaşık 30 adet dersliğe ihtiyaç duyulmaktadır. Ortaokul çağ nüfusu artış gösteren; İstasyon Mahallesinde yaklaşık 42 adet, Karacaibrahim Mahallesinde yaklaşık 41 adet dersliğe ihtiyaç duyulmaktadır. Lise çağ nüfusu artış gösteren; Akalar Mahallesinde yaklaşık 9 adet, Bademlik Mahallesinde yaklaşık 13 adet, İstasyon Mahallesinde yaklaşık 36 adet, Karacaibrahim Mahallesinde yaklaşık 25 adet, Karakaş Mahallesinde yaklaşık 32 adet, Pınar Mahallesinde yaklaşık 12 adet dersliğe ihtiyaç duyulmaktadır.

Tablo 5: 2015 Yılı Mevcut Öğrenci Sayıları İle 2026 Yılı Projeksiyon Öğrenci Sayılarının Mahallere Göre Dağılımı ve 2026 Yılı İçin Öngörülen Derslik Sayıları

	İLKOKUL			ORTAOKUL			LİSE		
	2015	2026	2026	2015	2026	2026	2015	2026	2026
KIRKLARELİ İLÇE MERKEZİ MAHALLELERİ	Öğrenci Sayısı	Öğrenci Sayısı	Derslik Sayısı	Öğrenci Sayısı	Öğrenci Sayısı	Derslik Sayısı	Öğrenci Sayısı	Öğrenci Sayısı	Derslik Sayısı
	(kişi)	(kişi)	(adet)	(kişi)	(kişi)	(adet)	(kişi)	(kişi)	(adet)
			Derslik 15 kişi			Derslik 20 kişi			Derslik 25 kişi
Akalar	181	135	9,0	152	121	6,1	202	222	8,9
Bademlik	241	310	20,7	268	184	9,2	276	325	13,0
Cumhuriyet	146	111	7,4	128	100	5,0	180	136	5,4
Demirtaş	120	80	5,3	98	78	3,9	183	175	7,0
Doğu	34	20	1,3	62	25	1,3	52	30	1,2
İstasyon	431	889	59,3	407	834	41,7	457	895	35,8
Karacaibrahim	592	688	45,9	622	822	41,1	558	629	25,2
Karahıdır	46	20	1,3	44	25	1,3	87	96	3,8
Karakaş	708	752	50,1	665	562	28,1	791	802	32,1
Kocahıdır	141	95	6,3	182	110	5,5	248	214	8,6
Pınar	219	164	10,9	196	127	6,4	279	298	11,9
Yayla	380	446	29,7	335	287	14,4	400	367	14,7
Toplam			247,3			163,8			167,6

6. İLKOKUL VE ORTAOKUL TESİSLERİNİN YÖNETMELİKTE AÇIKLANAN STANDARTLAR ÇERÇEVESİNDE ALAN YETERLİLİĞİNİN SORGULANMASI

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği Ek 2’de açıklanan Kentsel, Sosyal ve Teknik Altyapı standartları incelendiğinde kentsel donatı standartları belirlenirken yerleşimler nüfusları bakımından; 0-75.000, 75.001-150.000, 150.001-500.000 ve 500.001 ve üstü olmak üzere 4 gruba ayrılmaktadır (Mekansal Planlar Yapım Yönetmeliği Ek 2). Kırklareli Merkez ilçe 2015 nüfusu 73.517 olması itibarıyla birinci grup kentsel donatı standartlarını sağlaması gerekmektedir. İlkokul ve ortaokul için 1,50 m2/kişi olan bu standart dikkate alındığında her mahalle için elde edilen sonuç tablo 6 ve tablo 7’de görülmektedir. Kentin 2026 yılı nüfusu yapılan projeksiyonda 89.761 olarak karşımıza çıkmaktadır. 2026 yılı itibarıyla 75.000 kişi sınırını aşan kent kentsel donatı bakımından ikinci grup standartları sağlaması gerekmektedir. İkinci grup standartlarda ilkokul ve ortaokul için kişi başı 1,60 m2 gerekliliği belirtilmiştir. Mahallelerin 2026 yılı için beklenen nüfus projeksiyonuna göre yapılan hesaplamalar tablo 6 ve tablo 7’de görülmektedir.

Tablo 6: İlkokul Alan Büyüklüklerine Dair Hesaplamalar

İlkokul	Mevcut Alan Büyüklüğü (m2)	Mevcut Olması Gereken(m2) (kişi x 1,5)	2026 Yılı Olması Gereken(m2) (kişi x 1,6)	
Akalar Mahallesi	-	5592	5300	
Bademlik Mahallesi	Gazi Osmanpaşa İlkokulu	4308	9475	13054
Cumhuriyet Mahallesi	Mustafa Dalcalı İlkokulu	1971	5202	4315
Demirtaş Mahallesi	Ziya Gökalp İlkokulu	2731	5602	5552
Doğu Mahallesi	Kırkşehitler İlkokulu Doğanışıkalp İlkokulu	5588	1965	1924
İstasyon Mahallesi	Gazi Mustafa Kemal İlkokulu	4645	13155	23155
Karacaibrahim Mahallesi	Atatürk İlkokulu	5416	17131	24532
Karahıdır Mahallesi	Karahıdır İlkokulu	1625	4473	5619
Karakaş Mahallesi	Hamdi Helvacıoğlu İlkokulu	4366	23331	30510
Kocahıdır Mahallesi	Kocahıdır İlkokulu	1247	7008	9329
Pınar Mahallesi	Ahmet Yener İlkokulu	1860	8095	9748
Yayla Mahallesi	Vali Faik Üstün İlkokulu	5726	9244	10574
Kırklareli Merkez Toplam		39483	110273	143612

Yerleşmedeki ilkokul birimlerinin mahalle bazında alan yeterliliği değerlendirildiğinde mevcut durumda Doğu Mahallesi'nin gerekli standartların üzerinde ilkokul tesis alanına sahip olduğu ancak diğer tüm mahallelerde alan standartları sağlanmadığı dikkat çekmektedir. Genel toplama bakıldığında ise yine alan bakımından kentin gerekli standartların oldukça gerisinde bir tablo çizdiği görülmektedir.

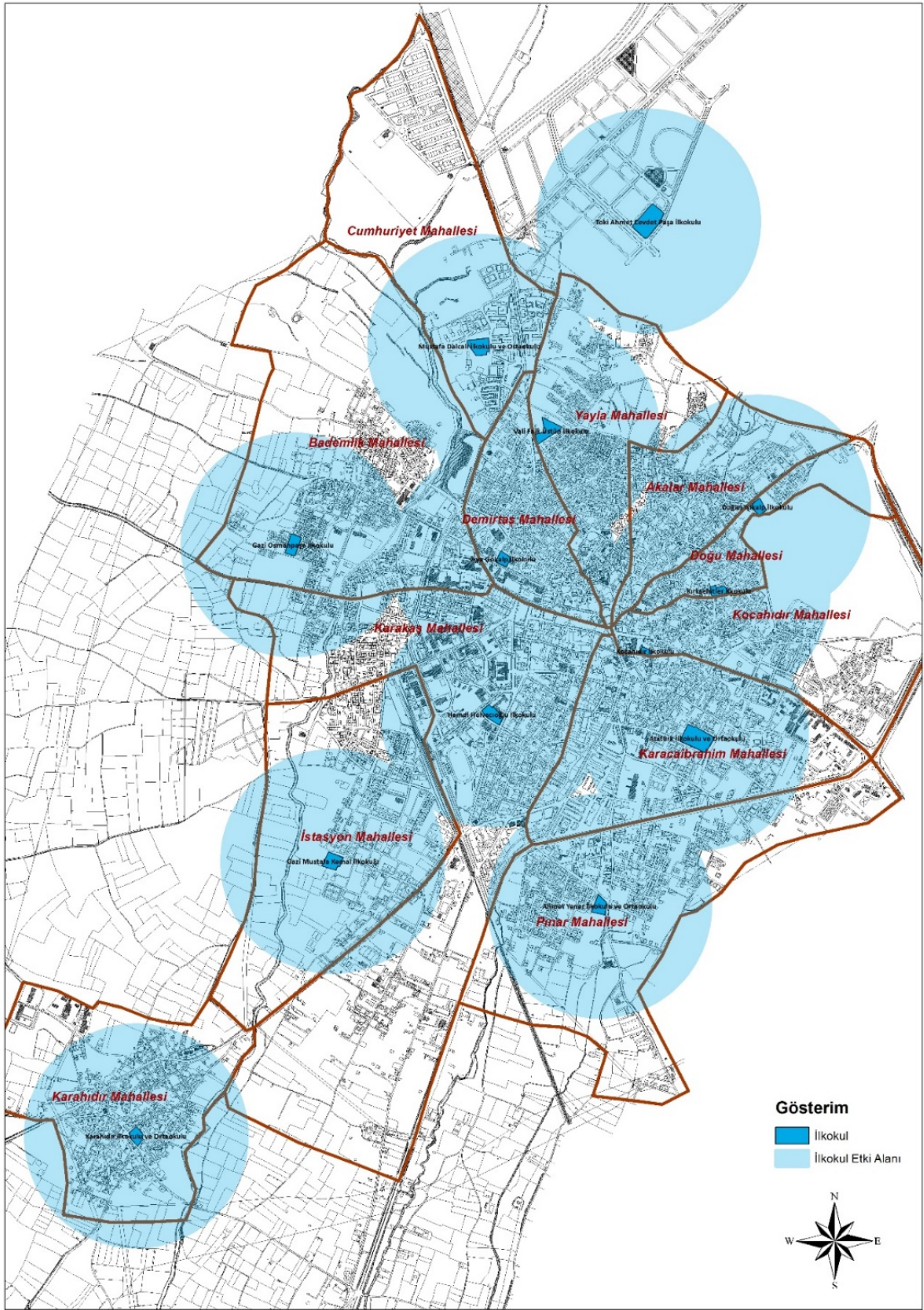
Tablo 7: Ortaokul Alan Büyüklüklerine Dair Hesaplamalar

	Ortaokul	Mevcut Alan Büyüklüğü (m2)	Mevcut Olması Gereken(m2) (kişi x 1,5)	2026 Yılı Olması Gereken(m2) (kişi x 1,6)
Akalar Mahallesi	-		5592	5300
Bademlik Mahallesi	Fahri Kasapoğlu Ortaokulu	7674	9475	13054
Cumhuriyet Mahallesi	Mustafa Dalcalı Ortaokulu	1971	5202	4315
Demirtaş Mahallesi	-		5602	5552
Doğu Mahallesi	Ahmet Mithat Ortaokulu	3063	1965	1924
İstasyon Mahallesi	İmam Hatip Orta Okulu	7116	13155	23155
	İstiklal Ortaokulu			
Karacaibrahim Mahallesi	Atatürk Ortaokulu	5416	17131	24532
Karahıdır Mahallesi	Karahıdır Ortaokulu	1625	4473	5619
Karakaş Mahallesi	Cumhuriyet Ortaokulu	2244	23331	30510
Kocahıdır Mahallesi	-		7008	9329
Pınar Mahallesi	Ahmet Yener Ortaokulu	1860	8095	9748
Yayla Mahallesi	Tevfik Fikret Yatılı Bölge Ortaokulu	2131	9244	10574
Kırklareli Toplam		33100	110273	143612

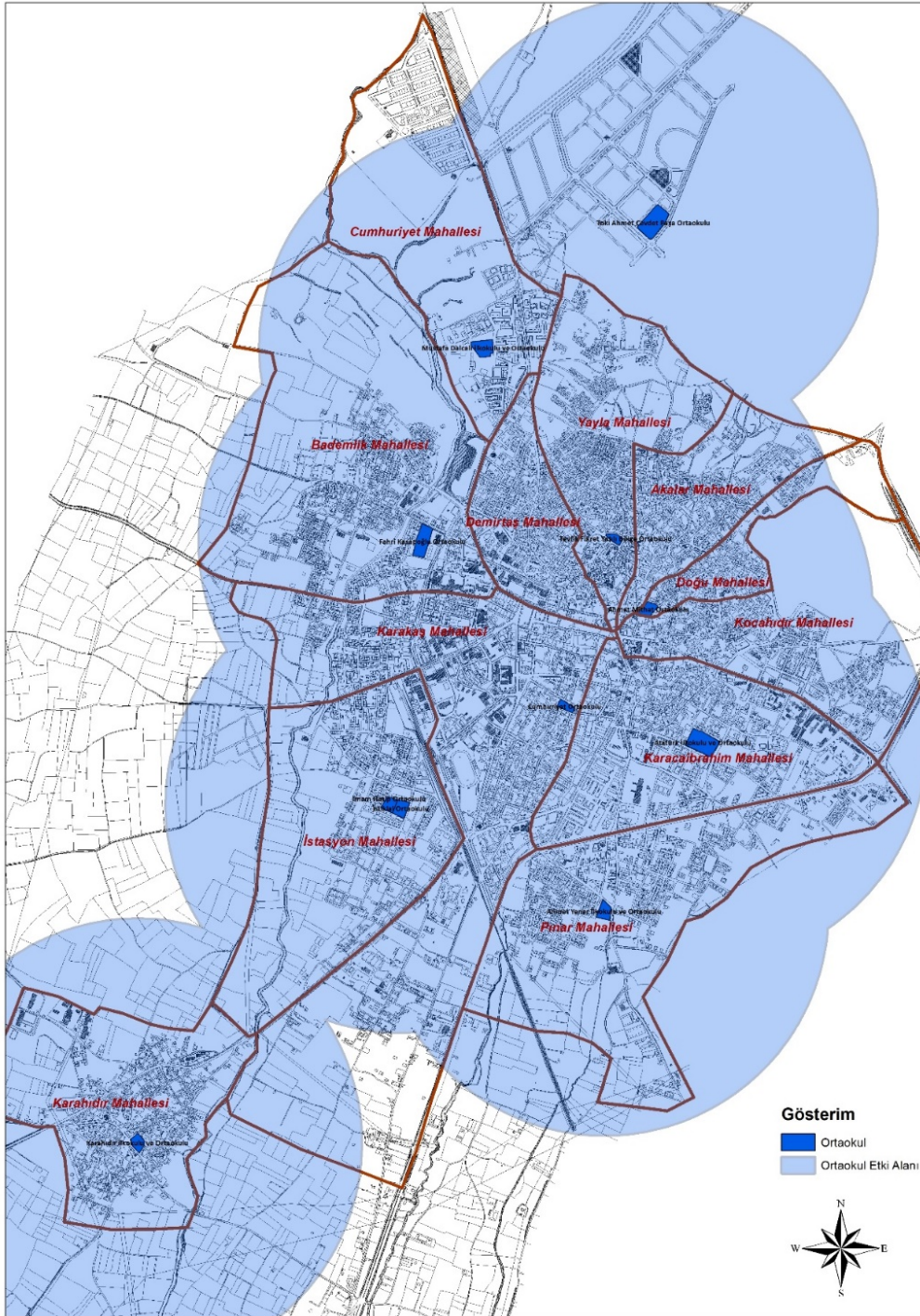
Yerleşmedeki ortaokul birimlerinin mahalle bazında alan yeterliliği değerlendirildiğinde mevcut durumda Doğu Mahallesi'nin gerekli standartların üzerinde ortaokul tesis alanına sahip olduğu ancak diğer tüm mahallelerde alan standartları sağlanmadığı görülmektedir. Yerleşmenin genel ortaokul alanları toplamına bakıldığında ise ilkokul alanlarına benzer şekilde gerekli standartların oldukça gerisinde kaldığı tespiti yapılabilmektedir.

7. EĞİTİM TESİSLERİNİN ETKİ YARIÇAPI BAKIMINDAN YERLEŞMEDE DAĞILIMININ İRDELENMESİ

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği Madde 12'de ilkokul ve ortaokul birimlerinin yürüme mesafesi dikkate alınarak yerleşimde yer seçilmesi gerekliliği vurgulanmaktadır. Yürüme mesafesi ilkokul birimleri için en fazla 500 metre, ortaokul birimleri için en fazla 1000 metre şeklinde tanımlanmaktadır (Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği, Madde 12). Bu doğrultuda Kırklareli Merkez ilçe ilkokul ve ortaokul birimlerinin alanda dağılımı incelendiğinde kentin her iki eğitim birimi için de yürünebilir mesafede olduğu görülmektedir. Ortaokullara kentin tamamından 1000 metre yürüme mesafesinde erişmek mümkünken, ilkokullarda kentin çok az bir kısmı 500 metrelik yürüme mesafesi dışında kalmaktadır (Şekil 9,10).



Şekil 9: İlkokul Tesisleri 500 Metre Yürüme Mesafeleri



Şekil 10: Ortaokul Tesisleri 1000 Metre Yürüme Mesafeleri

8. SONUÇ

Bu araştırmada, Kırklareli ili, merkez ilçe yerleşik kentsel alanında ilkökul ve ortaokul düzeyindeki eğitim tesisleri için derslik ihtiyacına, alansal yeterliliğe ve yürüme mesafesine yönelik değerlendirmeler yapılmıştır. Kırklareli İli Milli Eğitim Müdürlüğü'nün 2016 – 2026 planlama döneminde okul yatırımları ile ilgili, mahalle bazlı istatistik verileri oluşturulmuştur. Buna göre; öncelikli olarak veri temini, tasnifi ve değerlendirmeye yönelik haritalandırmalar yapılmış, nüfus verilerinin “Eğri Tahmin Analiz (Curve Estimation Analyse)” yöntemi ile zamana bağlı olarak 2026 yılı erimli projeksiyonları hazırlanmıştır. Öngörülen nüfus değişimine göre kentsel alan içerisinde gerekli derslik sayıları belirlenmiştir. Daha sonraki aşamada Yönetmelik eklerinde açıklanan donatı standartları çerçevesinde yerleşmedeki eğitim tesislerinin alansal yeterliliği sorgulanmıştır. Son aşamada ise yine Yönetmelikte açıklanan yürüme mesafeleri dikkate alınarak ilkökul ve ortaokul düzeyindeki eğitim birimlerinin yürüme mesafesinde olup olmadığı tespiti yapılmıştır.

Çalışma sonucunda 2026 yılı için her mahallenin ihtiyaç duyacağı derslik sayıları belirlenmiş, kentteki ilkokul ve ortaokul eğitim tesislerinin yönetmelikte belirtilen alan standartlarını sağlamakta yetersiz kaldığı ancak mekânsal dağılım konusunda yürüme mesafesi standartlarını sağladığı saptanmıştır.

Eğitim yapılarının yer seçiminde; ilk ve ortaokulların, mahallelere göre dağılımını öngören değerler üzerinden yine mahalle sınırları içerisinde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bununla beraber eğitim tesisleriyle birlikte kentteki nüfus yoğunluklarının dağılımı, kentsel donatıların niceliksel ve niteliksel yer seçimi dikkate alınarak bütüncül bir çalışma yapılması gerekmektedir. Bu bakımdan, hazırlanan bu çalışma fizibilite niteliği taşımakta olup yapılacak ve/veya yapılmakta olan kentsel planlarla bütünleşme ve tüm paydaşlarla iş birliği hedefi güden planlama yaklaşımı esas alınmalıdır.

REFERANSLAR

Aysu, E., Ökten, A., Ünal, Y., Görgülü, Z., Dinçer, Y., Karahasanoğlu, İ., Tavşanoğlu, S. (1984). Kırklareli Kentsel Yapı Araştırması (Kent Monografisi). Yıldız Teknik Üniversitesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü Yayını, İstanbul.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) (2009). 1/100000 Ölçekli Trakya Alt Bölgesi Ergene Havzası Çevre Düzeni Plan Raporu, Ankara.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) (2012). 1/25000 Ölçekli Kırklareli Çevre Düzeni Plan Raporu, Ankara.

Landau, S., Everitt, B. (2004). A Handbook of Statistical Analyses using SPSS. Chapman&Hall/CRC, New York.

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi. (1991). Kırklareli Analitik Etüt Raporu. MSGÜ, ŞBP, İstanbul.

İnternet Kaynakları

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK/Edirne Bölge Müdürlüğü). Temel İstatistik Veritabanları.<http://www.tuik.gov.tr/PreTabloArama.do?araType=vt&metod=search>, Erişim Tarihi: 20.09.2016

URL-1,

http://www.ibm.com/support/knowledgecenter/tr/SSEP7J_10.2.0/com.ibm.swg.ba.cognos.ug_cr_rptstd.10.2.0.doc/t_id_task_curvest.html#id_task_curvest, Erişim Tarihi: 20.09.2016

URL-2, <http://blog.csdn.net/babyfacer/article/details/5308993>, Erişim Tarihi: 20.09.2016



2B Video ve Derinlik Haritası Temelli 3B Videolarda Yapısal Karmaşıklık Tabanlı Video Kalite Değerlendirmesi

Color Plus Depth Map Based 3D Video Quality Assessment Based on Structural Complexity

Mustafa Yasin ERTEN, Gökçe NUR YILMAZ

Kırıkkale Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 20/11/2017

Kabul/Accepted: 05/01/2017

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Öz

Günümüz teknolojilerindeki gelişmeler, yüksek bant genişliğine sahip haberleşme kanallarının varlığı ve büyük video servis sağlayıcılarının tüketici piyasasına girmesi 3 Boyutlu (3B) video teknolojilerinin hızlı gelişim göstermesine neden olmuştur. 3B video teknolojilerine geri bildirim oluşturabilmesi ve bu gelişime destek olması dolayısı ile 3B Video Kalite Değerlendirmesi (VKD) günümüzde 3B video servis sağlayıcıları için oldukça bir ihtiyaç haline gelmiştir. Literatürde zaman alıcı ve maliyetli öznel testlerin yerini alabilecek, verimli, güvenilir ve yaygın olarak kullanılan nesnel bir 3B VKD metriği bulunmadığından 3B VKD yerine kullanılan 2 Boyutlu (2B) VKD metriklerinin çoğu Tam Referanslı (TR) ya da Azaltılmış Referanslı (AR) metriklerdir. Bu metriklerin hem gerçek zamanlı kalite ölçümü gerçekleştirmelerindeki eksiklikten hem de 3B videoların iletimi için yüksek bant genişliğine ihtiyaç duyulmasından ötürü bu yöntemlerin verimli olmadığı anlaşılmıştır. Dolayısıyla orijinal videodan ek bir bilgi gerekmeden alıcı tarafta sadece sıkıştırılmış 3B videoyu kullanarak değerlendirme yapan referanssız bir 3B VKD metriğinin kullanılması elzem olmuştur. Bu çalışmada, IGS ile oldukça bağlantılı olan, 3B videolardaki objelerin kenar bilgileri kullanılarak oluşturulan Yapısal Karmaşıklık (YK) temelli bir Referanssız 3B VKD metriği geliştirilmiştir. Geliştirilen bu metrik kullanılarak elde edilen verimli sonuçlar metriğin 3B video servislerinin geliştirilmesine büyük katkı sağlayabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler

“3B video, video kalite değerlendirmesi, yapısal karmaşıklık”

Abstract

3-Dimensional (3D) video technologies present rapid improvement due the development of today's technologies, the presence of the communication channels having high bandwidth capacities, and the entrance of the powerful video service providers into the consumer electronics market. 3D Video Quality Assessment (VQA) becomes a must for the 3D video service providers via feedback it provides to the 3D video technologies and its support to this improvement. There is currently lack of an efficient, reliable, and commonly utilized objective 3D VQA metric that is preferable than the time-consuming and costly subjective tests. The 2-Dimensional (2D) VQA metrics used instead of the 3D VQA metrics to fulfill this lack are mostly Full Reference (FR) metrics or Reduced Reference (RR) metrics. These metrics are considered inefficient due to their insufficiency at online quality evaluation and requirement of high bandwidth capacity during the 3D video transmission. Therefore, there becomes a need for a No Reference (NR) 3D VQA metric that does not require any information related to the original video but only uses the compressed 3D video for the assessment. In this study, a NR 3D VQA metric which is based on Structural Complexity (SC) formed using edge information of the objects existing in a 3D video is developed. The efficient results obtained using the proposed metric prove that tremendous support can be provided to improve the 3D video services using the proposed metric.

Key Words

“3B video, video quality assessment, structural complexity”

1. GİRİŞ

Tasarlanan modern 3 Boyutlu (3B) sistem ve teknolojilerindeki ana amaç izleyicilere tatmin edici görsel deneyim kazandırmaktır. Bu deneyimi 3B Video Kalite Değerlendirme (VKD) yöntemleri ile güvenilir bir şekilde ölçmek, bu sistemlerin ve teknolojilerin gelişimi açısından oldukça önemlidir. Literatürde 3B VKD için, gerçek gözlemcileri kullanan öznel testler ve bilgisayar programları destekli matematiksel olarak ölçüm yapan nesnel metrikler bulunmaktadır. Öznel testler, bu testler sırasında gözlemcilerin görsel algılarını kalite değerlendirmesine etkili şekilde aktarabilmesi ve literatürde 3B VKD için yeterince güvenilir nesnel bir metriğin bulunmaması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Fakat öznel testlerin test platformunun kurulmasındaki, izleyici seçimindeki ve uzun değerlendirme sürelerindeki zorluklar sebebiyle teknolojinin gelişmesine ve ticari bir ürün gelişimine negatif etkileri vardır. Bu nedenle güvenilir nesnel 3B VKD metriklerin geliştirilmesi oldukça önem arz etmektedir (Huynh-Thu vd., 2012) (Yılmaz vd., 2017) (Yılmaz vd., 2015).

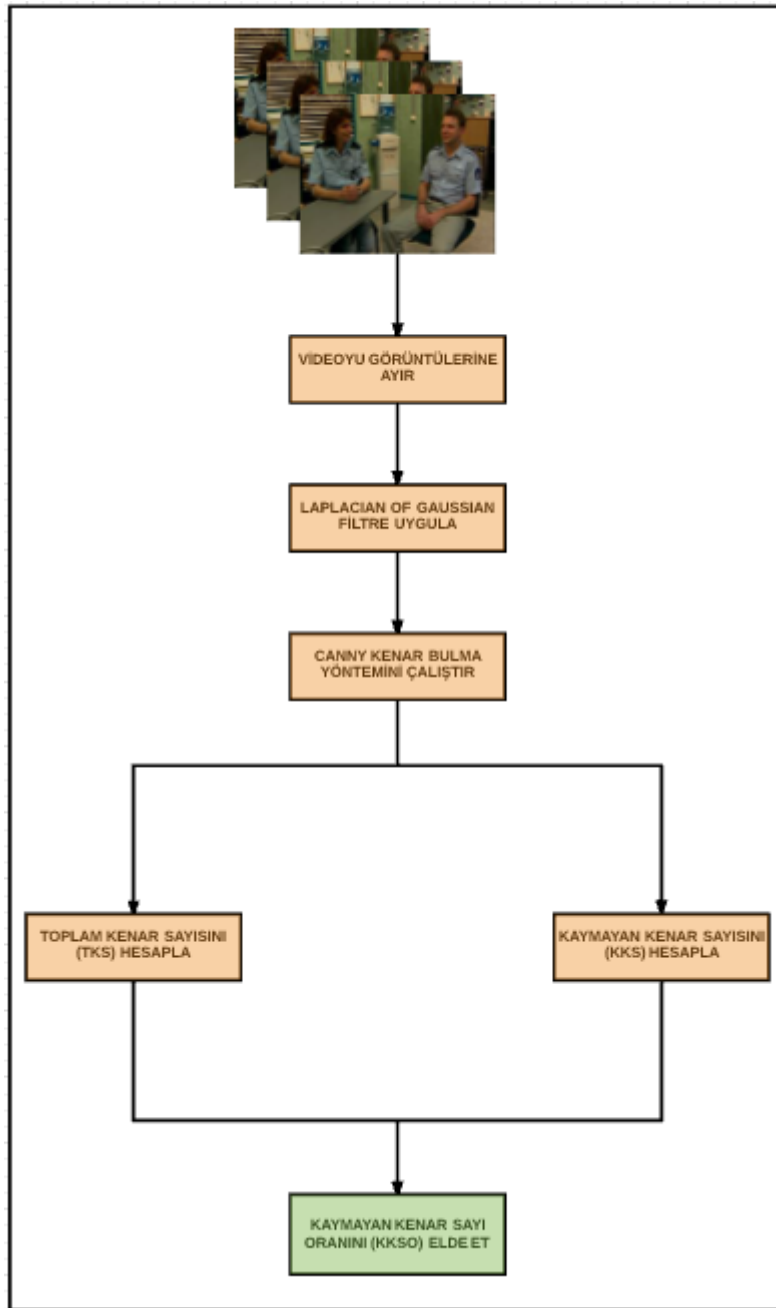
Nesnel 3B VKD metrikleri Tam Referanslı (TR), Azaltılmış Referanslı (AR)'lı ve referanssız metrikler olmak üzere üçe ayrılmaktadır. TR metrikler 3B VKD için kullanıcı tarafında orijinal videoya ihtiyaç duymaktadırlar. AR metrikler ise orijinal videodan çıkarılan bilgi ile 3B VKD gerçekleştirmektedirler. Bunların yanı sıra, referanssız metrikler ise orijinal video ile ilgili hiçbir bilgiye ihtiyaç duymadan 3B VKD'yi gerçekleştirmektedirler. Dolayısı ile referanssız metrikler özellikle online video iletiminde gayet verimlidirler (Yılmaz vd., 2017) (Yılmaz vd., 2015). Bu bilgiler ışığında bu çalışmada 3B VKD için referanssız metrik türü temel alınmıştır.

Video görsel deneyimi; kenar, arka plan ve özyapı gibi videonun yerel özelliklerine fazlasıyla bağlıdır. Bu özelliklerden kenar bilgisi genellikle resmin birçok özelliğini taşımaktadır ve literatürde gerçekleştirilen çalışmalar video kenar bilgilerinin videonun Yapısal Karmaşıklık (YK) ile yüksek uyumluluk gösterdiğini belirtmişlerdir (Fu vd., 2008) (Martini vd., 2012). Bu bilgiler ışığında bu çalışmada, 3B video görüntülerindeki objelerin kenar bilgileri ile bağlantılı YK özelliğine dayanan ve dolayısı ile İGS ile yüksek uyuma sahip bir metrik geliştirilmiştir. Bu metrik Yapısal Karmaşıklık Algoritması (YKA) olarak adlandırılmıştır. 2 Boyutlu (2B) video + Derinlik Haritası (DH) temelli 3B videonun diğer gösterim şekillerine göre avantajları (De Silva vd., 2012) dolayısı ile YKA geliştirilirken bu gösterim şekli kullanılmıştır.

Bu makale dört bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde kenar bilgisi çıkarımı tabanlı YKA tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde algoritma sonucu elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Dördüncü bölümde ise gelecekte yapılabilecek çalışmalar irdelenmiştir.

2. YAPISAL KARMAŞIKLIK ALGORİTMASI

Tasarlanan YKA'nın blok diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere YKA algoritma tasarımının ilk adımında 2B videolar görüntülere ayrılmıştır. Gürültünün video kalitesinin ve dolayısı ile videonun YK' sının ölçümünün düşmesinde en önemli faktör olduğu öngörüsü ile önerilen YKA'yı tasarlarken ki ikinci adımımız 2B videoları gürültüden ayırmaktır. Şekil 1'den de gözlemlenebileceği gibi, tasarlanan algoritmada, gürültüden ayırım için, 2B video görüntülerinin düşük frekanslı bileşenlerini filtreleyen ve yüksek frekanslı ve yapısal bilgileri barındıran bileşenlerini geçiren Laplacian of Gaussian (LoG) filtre kullanılmıştır (De Silva vd., 2012). Bu filtrenin tercih edilme sebebi daha sonra hakkında detaylı bilgi vereceğimiz kenar bulma algoritması (Canny algoritması) ile uyumlu çalışmasıdır (Fu vd, 2008).



Şekil 1: YKA'nın blok diyagramı

LoG filtre görüntünün ikinci dereceden uzamsal türevini hesaplar. Bu türev görüntüde sabit piksel yoğunluğunun olduğu alanlarda yani yoğunluk gradyanının sıfır olduğu yerlerde LoG sonucu sıfır olduğu anlamına gelir. Yoğunlukta değişikliğin olduğu durumlarda ise LoG sonucu görüntünün karanlık bölümlerinde pozitif, aydınlık olduğu bölümlerde ise negatiftir. Denklem(1)'de LoG filtrenin formülasyonu gösterilmiştir (Huynh-Thu vd., 2012):

$$LoG(i, j) = \frac{1}{\pi\sigma^4} \left[1 - \frac{i^2 + j^2}{2\sigma^2} \right] e^{-\frac{i^2 + j^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

Burada, $LoG(i, j)$ i ve j piksel koordinatlarındaki LoG filtre cevabını, σ ise Gauss dağılımının standart sapmasını göstermektedir. Denklem (1)' deki $LoG(i, j)$ daha sonra her bir görüntüye aşağıdaki denklemden verilen konvolüsyon işlemi yolu ile uygulanmıştır:

$$\beta_i = LoG(i, j) * R(i, j) \quad (2)$$

Burada, β_i LoG filtresi uygulanan görüntüleri, $R(i, j)$ ise video boyunca bulunan her bir görüntüyü ifade etmektedir.

YKA tasarımının üçüncü aşaması olarak LoG operatörüyle filtrelenen görüntülerin Canny kenar bulma algoritması yardımıyla kenar bilgileri çıkarılmıştır. Video görüntülerindeki nesnelerin sınırlarını karakterize eden kenar bilgisi, renkli özyapı dizisinin yapısal özelliğini temsil etmektedir. Canny kenar bulma algoritması, video görüntülerindeki kenar bilgisini temsil eden pikselleri bastırmadan bulan ve bu bulunan piksellere 1 değeri atayan diğerlerine ise 0 değeri atayan bir algoritmadır (JVSM). YKA tasarımı için, her bir ∂_i görüntüsünde atanan piksel değerleri toplanmıştır ve tüm videoya genişletilmiştir. Bu genişletilmiş toplam değeri Toplam Kenar Sayısı (TKS) olarak ifade edilmiştir. Denklem (3)'te TKS hesabının matematiksel ifadesi belirtilmektedir:

$$TKS = \sum_{i=1}^{GS} \sum_{k=1}^{M \times N} \partial_{i,k} \quad (3)$$

Burada, $\partial_{i,k}$ her bir görüntüdeki 1 değeri atanan pikselleri belirtmektedir. $M \times N$ görüntünün genişlikxyüksekliğini ifade etmektedir. GS görüntü sayısını ifade etmektedir dolayısı ile ∂_i 'lerin sayısına işaret etmektedir. YKA tasarımının dördüncü aşamasında, görüntünün orijinal kenar pozisyonlarını koruyan kenar bilgilerinin sayısının VKD için kritik öneme sahip olduğu öngörüsü ile birbirini takip eden görüntülerin Kaymayan Kenar Sayısı (KKS) şu şekilde bulunmuştur:

$$KKS = \sum_{i=2}^{GS} \sum_{k=1}^{M \times N} (\partial_{i,k} \cap \partial_{i-1,k}) \quad (4)$$

YKA tasarımının son aşamasında ise, KKS değerleri TKS değerleri ile normalize edilerek Kaymayan Kenar Sayısı Oranı (KKSO) elde edilmiştir:

$$KKSO = \frac{KKS}{TKS} \quad (5)$$

KKSO, YKA algoritması sonucu elde edilen değerdir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

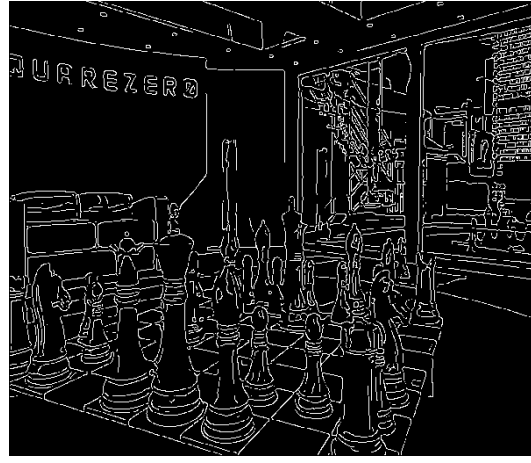
Bölüm 2'de bahsedilen YKA algoritmasının ilk iki adımı (LoG filtre ve Canny algoritması) kullanılarak, 2B video+DH bazlı orijinal (kodlanmamış) Chess, Interview, ve Windmill videolarının 2B videolarının ilk ve son görüntülerinin kenarlarının çıkarılmış hali Şekil 2 de resmedilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, Chess videosunun diğer videolara göre daha belirgin ve çok kenara sahiptir.

Bu çalışmadaki her bir videonun (Chess, Interview, ve Windmill) kodlanmalarında kullanılan bit oranlarına (768, 1024 ve 1536 kbps) göre ayrı ayrı hesaplanan KKSO değerleri Şekil 3'te tüm görüntüler için ayrı ayrı ve Şekil 4'te hepsi için birlikte gösterilmektedir. Bu videoları bu bit oranlarında kodlarken JSVM 9.13.1 kodek kullanılmıştır.

Şekil 3 ve 4 incelendiğinde, Chess videosu KKSO değeri en yüksek videodur. Fakat bit rate değişimi bu video içi diğerlerine kıyasla daha az KKSO değişimi göstermektedir. Yine şekilden gözlemleneceği üzere, Interview videosunda ise bit rate oranı arttıkça KKSO değerlerinde yaklaşık aynı oranda artış yaşanmaktadır. Windmill videosu için KKSO değerlerinde 768 kbps ve 1024 kbps değerleri arasında ufak bir yükseliş yaşanırken 1024 kbps ve 1536 kbps değerleri arasında bir önceki değerine yaklaşık beş katı bir yükseliş gözlemlenmiştir.



(a)



(b)



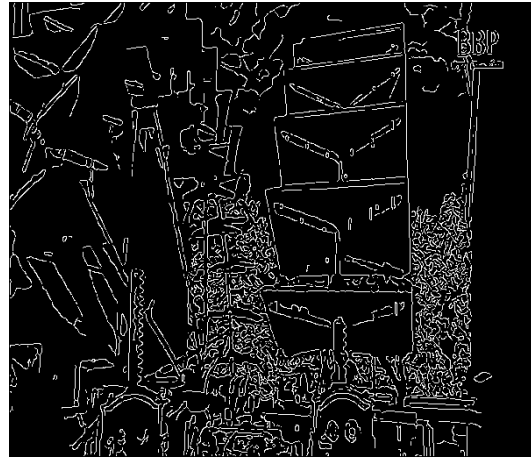
(c)



(d)

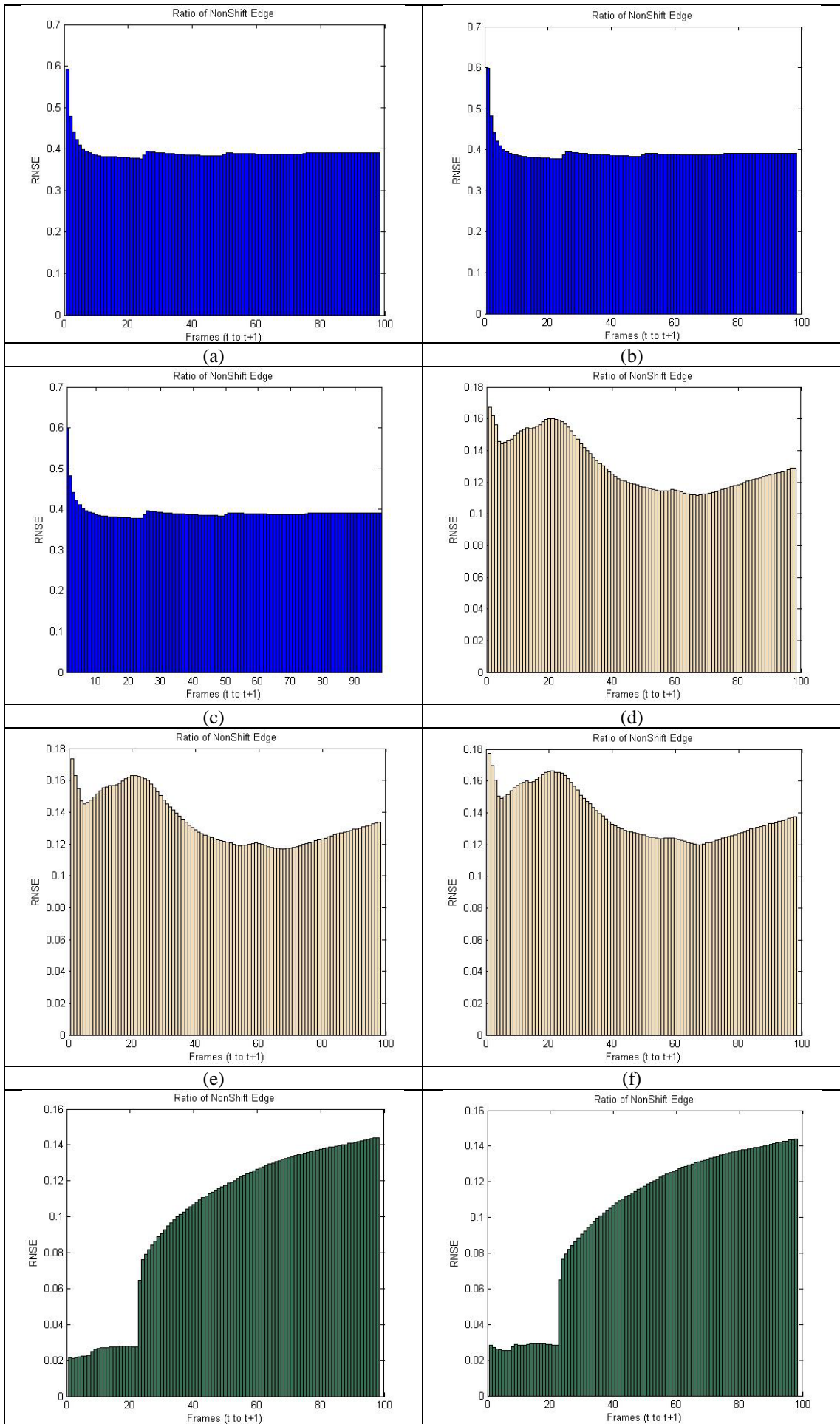


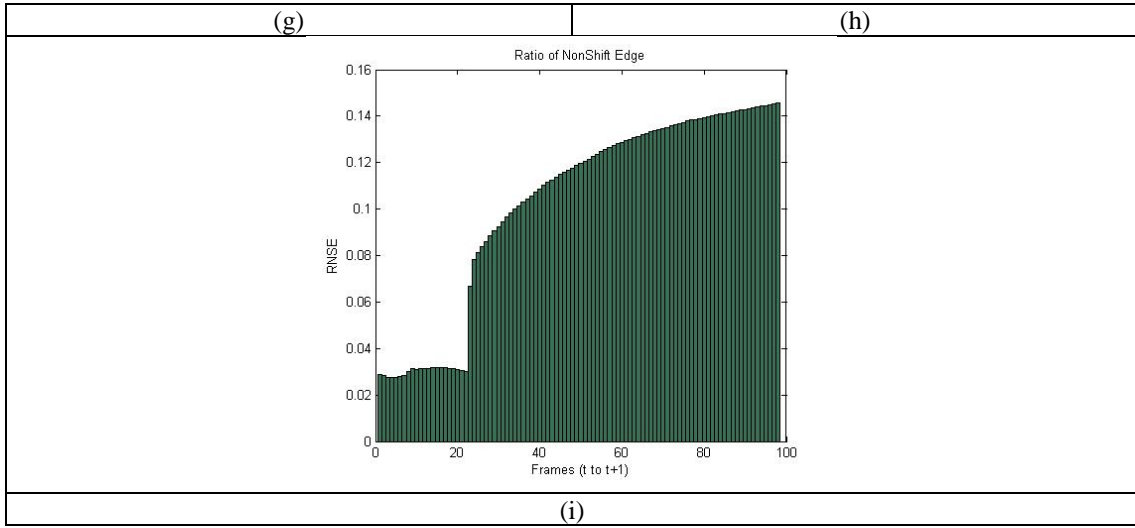
(e)



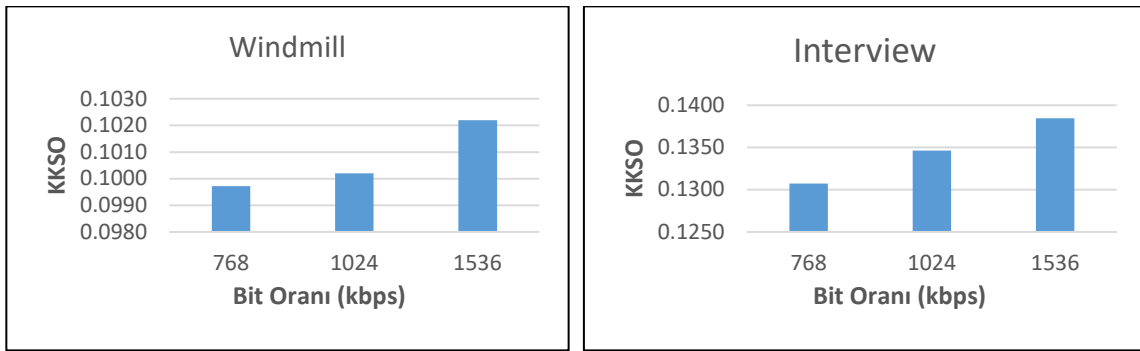
(f)

Şekil 2: (a) (b) Chess, (c) (d) Interview ve (e) (f) Windmill videolarının kenar bilgileri çıkarılmış ilk ve son görüntüleri



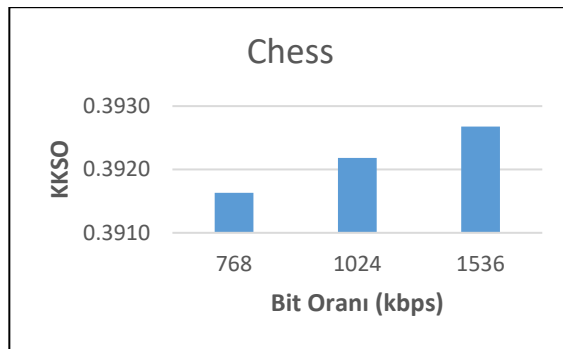


Şekil 3: (a)Chess@768 kbit/s, (b)Chess@1024 kbit/s, (c)Chess@1536 kbit/s, (d)Interview@768 kbit/s, (e)Interview@1024 kbit/s, (f)Interview@1536 kbit/s, (g)Windmill@768 kbit/s, (h)Windmill@1024 kbit/s, (i)Windmill@1536 kbit/s için KKSO eğrileri



(a)

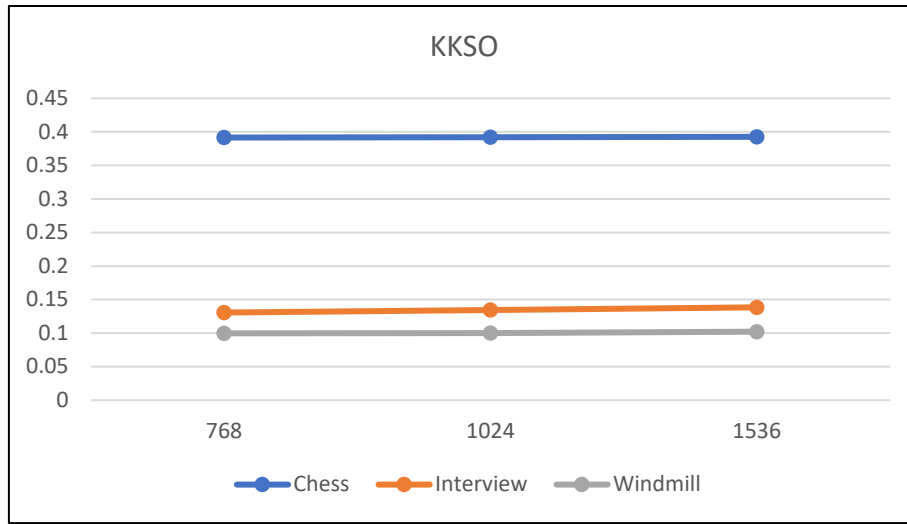
(b)



(c)

Şekil 4: Farklı bit oranlarında kodlanan (a) Windmill, (b) Interview (c) Chess videolarının KKSO değerleri

Şekil 5'te tüm videoların kodlama parametreleri için (768, 1024 ve 1536 kbps) hesaplanmış KKSO değerleri kolay karşılaştırılabilir amaçla bir arada verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, en fazla KKSO değeri tüm kodlama parametreleri için Chess videosuna (0,39) aittir. Interview ve Windmill videoları ise sırasıyla 0,13 ve 0,10 KKSO değerlerine sahiptir. Bu çıkarımlar Şekil 2'deki gözlemlerle paraleldir.



Şekil 5:Farklı bit oranlarında kodlanan Windmill, Interview ve Chess videolarının KKSO değerlerinin karşılaştırılması

5. VARGILAR VE GELECEKTEKİ ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, 2B+DH temelli 3B videoların 2B kısımlarının VKD'si için YK tabanlı bir referanssız metrik geliştirilmiştir. Metrik kullanılarak elde edilen sonuçlar metriğin İGS'ye hitap etmedeki verimliliğini göstermiştir. Bundan sonraki çalışmalarda daha fazla parametre analiz edilip geliştirilerek İGS'nin algısına daha da yakın referanssız 3B VKD yapan bir metrik geliştirilmesi hedeflenmektedir.

REFERANSLAR

D.V.S.X. De Silva, G. Nur, E. Ekmekcioglu, and A. Kondo, "QoE of 3D Media Delivery Systems," Media Networks: Architectures, Applications, and Standards, CRC Press Taylor and Francis Group, May 2012.

G. Nur Yilmaz, "A Depth Perception Evaluation Metric for Immersive 3D Video Services," 3DTV-Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video, 7-9 June 2017.

G. Nur Yilmaz, "A No Reference Depth Perception Assessment Metric for 3D Video," Multimedia Tools and Applications, vol. 74, pp. 6937-6950, Sep. 2015.

JSVM 9.13.1. CVS Server [Online]. Available Telnet: garcon.ient.rwth aachen.de:/cvs/jvt

Maria G.Martini, Chaminda T.E.R. Hewage, BarbaraVillarini, "Image Quality Assessment based on Edge Preservation", Signal PProcessing: Image Communication, vol. 27, pp.875-882, September 2012.

Maria G.Martini, Chaminda T.E.R. Hewage, BarbaraVillarini, Image quality assessment based on edge preservation, Brajesh Patel, Neelam Patel, Motion Detection based on multi frame video under Surveillance System, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering 2 (1), January 2012.

Q. Huynh-Thu, P. Le Callet, and M. Barkowsky, "Video Quality Assessment: From 2D to 3D Challenges and Future Trends," 17th IEEE International Conference on Image Processing, Hong Kong, 26-29 Sep. 2010.

Wei Fu; Xiaodong Gu; Yuanyuan Wang, "Image Quality Assessment Using Edge and Contrast Similarity," IEEE International Joint Conference on Neural Networks, 1-8 June 2008.



Chemical Analysis of Wet Deposition Sequential Samples at Istanbul, Turkey

Ilker ORUC¹, Bulent Oktay AKKOYUNLU^{2,*}, Murat DOGRUEL³, Mete TAYANC⁴

¹ Vocational College of Technical Sciences, Kırklareli University, Kırklareli, 39100, TURKEY

² Department of Physics, Marmara University, Goztepe, Istanbul, 34722, TURKEY

³ Department of Electrical and Electronics Engineering, Marmara University, Goztepe, Istanbul, 34722, TURKEY

⁴ Department of Environmental Engineering, Marmara University, Goztepe, 34722, Istanbul, TURKEY

Başvuru/Received: 30/09/2017

Kabul/Accepted: 24/11/2017

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Abstract

In this study, the relations between wet deposition fluxes of major ions, concentrations and rain intensity in the precipitation events occurring on a) November 10th, 2007 and b) December 05th, 2007 are presented. The variations on the ion concentrations were investigated during the rain events. The concentrations of all ions drastically decreased to minimum levels in the first sub sequential events for each the rain events. Some ions had a significant decrease in concentrations in comparison with other ions, because they have higher concentration in the atmosphere as much as they exist in the large atmospheric particles which are being sourced from in the soil or sea. The strongest relation between the wet deposition flux and the rain intensity were found for Ca²⁺ and SO₄²⁻ among the all the ions sampled on November 10th, 2007. It was found that K⁺ and NO₃⁻ concentrations sampled on December 05th, 2007 had a positive correlation with rain intensity; on the other hand, other ions had a negative correlation. Positive correlations were found between wet deposition flux and the rain intensity for all ions in each rain events.

Keywords

“Scavenging processes, wet deposition flux, rain intensity,”

1. INTRODUCTION

Pollutants are abolished from the air by precipitation in two ways; namely, rainout and washout. As soon as the concentration of atmospheric particles is at peak, the result of washout during a precipitation process is predicted to be observed on the former samples gathered, and collision and coalescence process begins to abolish atmospheric particles (Akkoyunlu and Tayanç, 2008). Cerón et al. (2005) states that the pH of precipitation is formerly acidic due to the rainout occurrences of acidic material in the clouds; but then, during the downward passage of raindrops from the base of cloud, washout processes of alkaline materials in the atmosphere, bring about the swift neutralization of precipitation acidity. Since rainfall proceeds in time, washout of alkaline particles is completed; after that, precipitation acidity goes up again by cause of input because of rainout processes. Akkoyunlu et al. (2003) claim that in general, ions behaved in the same manner during the rainstorm; began with high concentrations, decreased abruptly, then showed a slight increase for a while and increased in an abrupt manner with the passage of the cold front. The chemical components in the rainout process due to the immense elimination of the washout can be explicated by the final phase of a precipitation process (Akkoyunlu and Tayanç, 2008). Sequential sampling permits the analysis of the variability of the chemical formation along precipitation events and the evaluation of contaminant elimination processes (Pelicho et al., 2006).

The aim of this study is to investigate the variation of the major ions and to analyze the wet deposition fluxes of these major ions in line with the rain intensity and concentrations in two rainfall events. This work was partially presented at 11th International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM2011) where it was delivered as an oral presentation (Akkoyunlu et al., 2011).

2. MATERIAL AND METHODS

This study aims to identify the relations between wet deposition fluxes of major ions, concentrations and rain intensity in the two rainfall. The samples were collected in Goztepe, situated on the Asian part of Istanbul (Figure 1). Istanbul is the most crowded metropolitan settlement in Turkey, with approximately 15 million dwellers in this mega city.

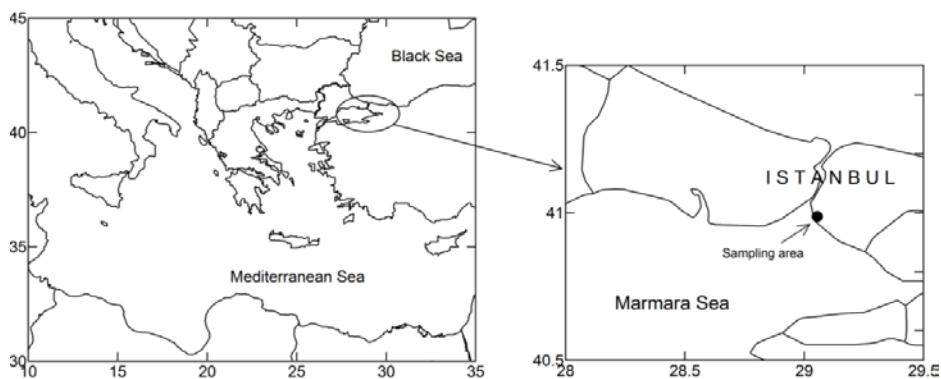


Fig. 1. Sampling Site: Goztepe

Wet deposition flux for major ions in a rainfall event was calculated as follows

$$W_i = C_i P \tag{1}$$

Where W_i is wet deposition flux for the i th major ions ($\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$), C_i is the concentration of the i th major ions in rainwater (mg L^{-1}), and P is the matching rain intensity (mm h^{-1}).

An automatic sequential rain sampler, which was created and put under production as part of the project financed both by Marmara University Scientific Research Center and The Scientific and Technological Research Council of Turkey, was devised to collect the samples (Akkoyunlu et al., 2008; Akkoyunlu et al., 2011; Akkoyunlu et al., 2013). Sequential sampler device is of a polyethylene funnel of 0.28 m^2 with round area and 12 polyethylene cups of 200 cm^3 volume positioned on a sampler body. After the construction of the sampling device, it is tested; the funnel of the device was made to expose distilled water until all cups were filled up to approximately 20 ml, and it was seen the rain sampler instrument causes no pollution in the water. Then, for all ions, these blank samples were evaluated. In the presence of online satellite images, sequential samplings were executed for each precipitation event. The rain sampler instrument was installed at a place where it could gather precipitation samples shortly before the arrival of a low pressure system. The funnel and caps which were devised for sub-event sampling were rinsed with distilled water, then soaked in a bath (5% nitric acid), after that with distilled water rinsed once again, and dried before installations. Caps were separated from the sequential rain sampler body and transferred to the laboratory after precipitation sampling. Before chemical analysis, samples were filtered and kept in pre-cleaned polyethylene bottles in the fridge at $4 \text{ }^\circ\text{C}$.

For the two rain events, thirty six sequential precipitation samples were gathered in the aggregate. Concentration of the main cations (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , and Mg^{2+}) were measured by atomic absorption spectrophotometer (Hitachi-180-80) and concentration of the main anions (Cl^- , NO_3^- , and SO_4^{2-}) were measured by ion chromatography (Dionex model 4001).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. ANALYSIS OF CHEMICAL SPECIES IN SEQUENTIAL SAMPLES

This study presents the relations between wet deposition fluxes of major ions, concentrations and rain intensity in the two rainfall events which occurred on a) November 10th, 2007 and b) December 05th, 2007. The NOAA HYSPLIT Trajectory Model was applied for air mass back trajectory analyses of two precipitation events (Draxler and Rolph, 2012). Air mass back-trajectories for every precipitation event at the heights of 1500 m, 2000 m and 3000 m were run. The back-trajectories were determined every 6 h intervals with a 24 h period. All precipitation events which have marine sources were connected to the air masses from the Middle Mediterranean Sea. They have similar low pressure system trajectories reaching Istanbul by passing through South Greece and Aegean Sea. The air parcels at the heights of 1500 m, 2000 m, and 3000 m in lower troposphere located around middle Mediterranean region came to the sampling side. The air parcel at the altitude of 3000 m came to the sampling side from the south of Italy without changing its height (Figure 2).

The first storm, which arrived to Istanbul on November 10th, 2007, was characterized by a warm frontal passage with significantly low sea level pressure value decreasing to 989 mb and temperature rising from 5°C to 13°C during the precipitation period. The second low pressure system reached to Istanbul on December 05th, 2007. The pressure just before the rain event was 1010 mb which rapidly decreased to 1004 mb accompanied by the start of the precipitation. The air temperature increased from 6°C to 15°C during the initial period of the storm. After the passage of the center of the cyclone, pressure slightly increased to 1006 mb at the end of the precipitation period and temperature showed a sudden and a strong decrease to 8°C.

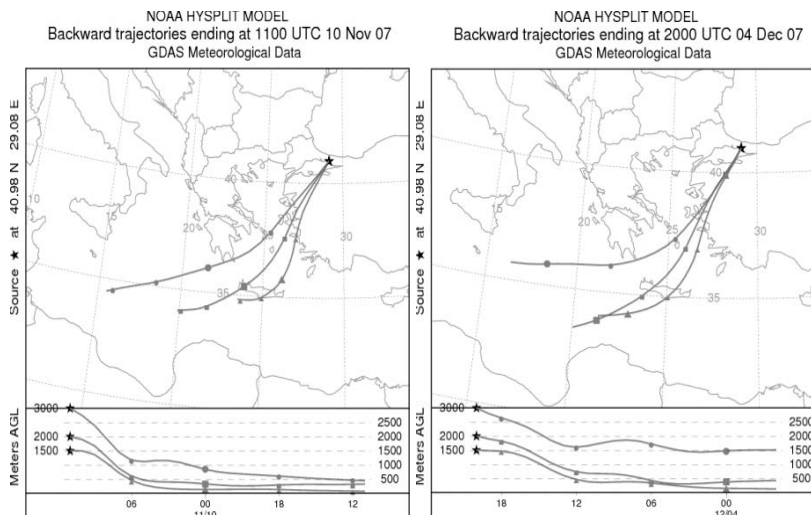


Figure 2. NOAA Hysplit Model Backward Trajectories.

Twenty one sequential samples were collected during the storm occurring on November 10th, 2007. Precipitation continued for 38.53 h with several dry intervals in between. Average rainfall intensity was determined as 0.35 mm h⁻¹. In the first sample, high concentrations of ions were found (Figure 3). The concentrations values were calculated for the ions as follows Cl^- (72.95 mg L⁻¹), K^+ (56.20 mg L⁻¹), Ca^{2+} (15.82 mg L⁻¹), SO_4^{2-} (7.14 mg L⁻¹), Na^+ (3.99 mg L⁻¹), NO_3^- (2.37 mg L⁻¹), and Mg^{2+} (1.25 mg L⁻¹) in this period. For overall precipitation event, average values of these ions were 17.40, 3.50, 6.66, 6.86, 6.36, 1.67, and 1.08 mg L⁻¹ and mean wet deposition flux of these ions were calculated as 2.84, 0.24, 2.22, 2.72, 1.49, 0.43, and 0.24 mg m⁻² h⁻¹, respectively. Over the progressing time, during the storm concentrations of contaminants in the atmosphere were reduced by scavenging, hence giving way to less and less measured concentration of all chemical species in the rainwater. Until the end of the third sequential event, the decrease of concentration of all ions carried on.

An increase in the overall concentrations were found in the last sub sequential events. There could be three possible reasons for this situation. First, the increase of rain intensity in the last stage might have influenced the scavenging affect on the aerosols that relate to the cross sectional area of the rain drops, so for this reason the increase in the concentrations were absorbed in this stage. Secondly, the change in the synoptic systems at the upper atmosphere influenced the concentrations because of change of the global sources that are the sea and earth crust. The more the increase of Na^+ and Mg^{2+} as compared to other ions, which have sea as their main source, raises the possibility of it being the second reason. Third, a specific local source contaminate the rain-water during the last stage of the event, because concentrations of all the ions increased simultaneously, but the probability of the occurrence of this situation is low as compared to others.

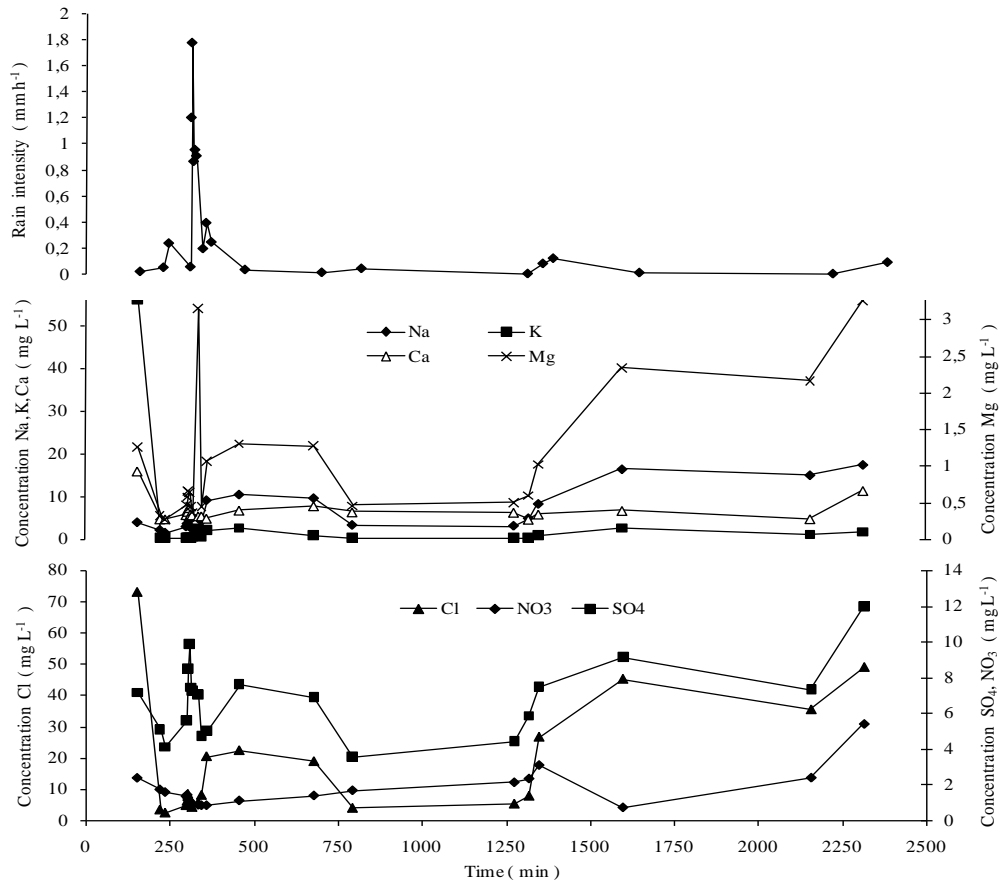


Figure 3. Variation of rain intensity and concentration of major ions with time during the rain event of November 10th, 2007.

A second cyclone occurred in Istanbul on December 05th, 2007. Precipitation lasted 7.5 hours and fifteen samples were gathered during the storm. Average rainfall intensity was calculated as 0.27 mm h⁻¹. Mean concentrations of SO₄²⁻, Ca²⁺, Cl⁻, NO₃⁻, Na⁺, K⁺, and Mg²⁺ were determined as 2.93, 2.57, 2.05, 1.45, 0.58, 0.36, and 0.25 mg L⁻¹ and mean wet deposition flux of these ions were calculated as 0.75, 0.64, 0.53, 0.37, 0.14, 0.12, and 0.06 mg m⁻² h⁻¹, respectively. The highest concentrations were found in the first sample for all ions. Swift decline of concentrations of all ions occurred during the first stage of rain event. The time period of this decrease is 122.5 min and 4.27 mm depth of rain took place (Figure 4). Mean concentration of these ions in this period were calculated as 8.67, 5.85, 7.26, 2.97, 2.96, 0.53, and 0.95 mg L⁻¹, respectively. Because of these results above, it can be claimed that the below-cloud scavenging effect was more dominant in the initial period of the rain event than rainout effect.

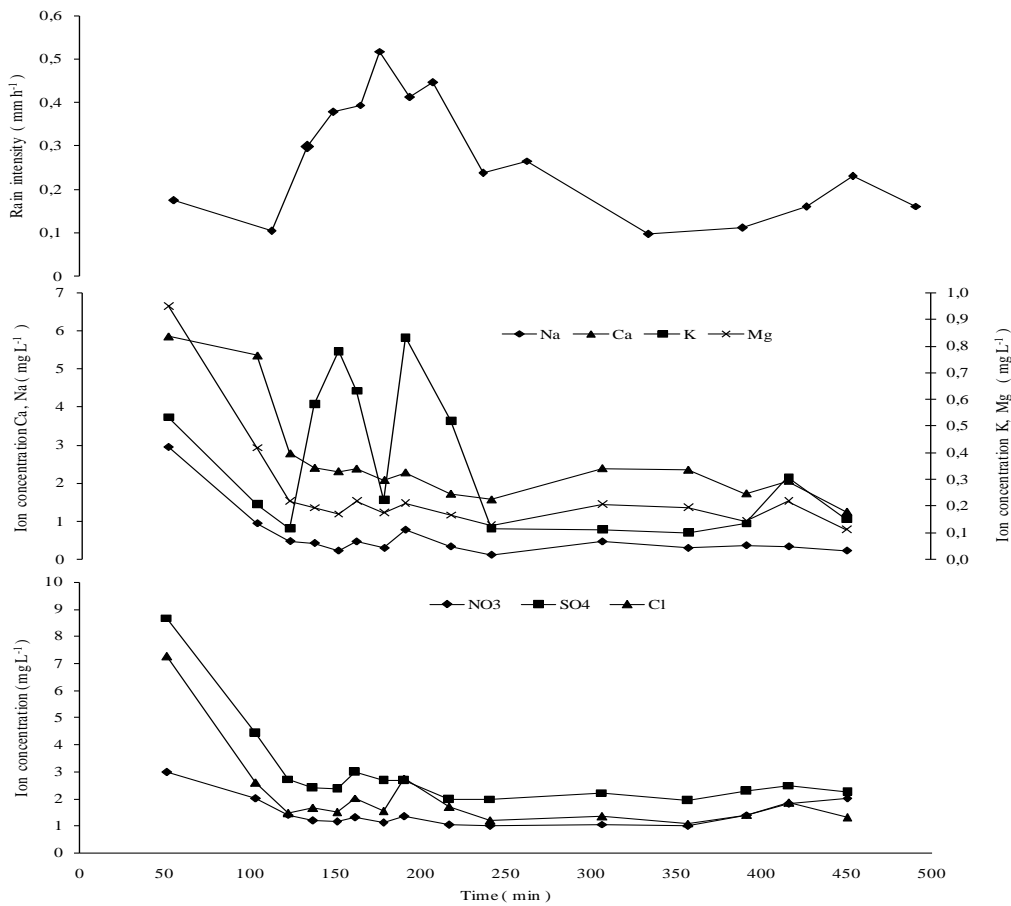


Figure 4. Variation of rain intensity and concentration of major ions with time during the rain event for December 05th, 2007.

3.2. DETERMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE ELEMENTS OF THE WET DEPOSITION

Ion concentration and rain intensity are two factors playing a crucial role in the determination of wet deposition flux. We investigated relationships between the concentration of the elements in the wet deposition with wet deposition flux and rain intensity via estimating Pearson correlation coefficients as illustrated in Table 1. Luo (2001) found rain intensities had strong correlations with wet-deposition fluxes. Nonetheless, the correlation of the wet-deposition fluxes with the concentrations for the elements in insoluble materials and soluble chemical species is weak. In this study, we found very strong relationship between the wet deposition flux and the rain intensity for all ions except K^+ sampled on November 10th, 2007. The negative or weak correlation between major ions concentration and rain intensity for all rain events except for K^+ and NO_3^- sampled on December 05th, 2007 was found (Table 1). The same results were emerged by (Ames et al., 1987; Durana et al., 1992; Gatz and Dingle, 1971).

Table 1. Correlation coefficients between the elements of the wet deposition.

Correlation Variables		Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-
November 10 th , 2007	Ion Concentration-Rain Intensity	0.32	-	0.05	0.32	-	0.22	-
	Wet Deposition Flux-Rain Intensity	0.94	0.04	0.99	0.89	0.96	0.99	0.91
	Wet Deposition Flux-Ion Concentration	0.14	0.79	-	0.04	-	0.32	-
December 05 th , 2007	Ion Concentration-Rain Intensity	-0.18	0.68	-	-	0.60	-	-
	Wet Deposition Flux-Rain Intensity	0.33	0.84	0.80	0.50	0.84	0.74	0.65
	Wet Deposition Flux-Ion Concentration	0.84	0.94	0.35	0.72	0.24	0.54	0.68

4. SUMMARY AND CONCLUSIONS

Sequential rain samples were gathered in two rain events for the purpose of investigation wet deposition fluxes of the major ions, variation of ion concentrations and the rain intensity. A firm accord between rain intensity and wet deposition flux was observed for all ions except for K^+ in the sequential samples gathered on November 10th, 2007. In the rain event occurring on December 05th, 2007, the strongest correlation between wet deposition flux and ion concentration was found in K^+ . Contrary to results observed in the rain event sampled on December 05th, 2007, negative correlations were found between the wet deposition flux and ion concentration for most of the ions which were sampled on November 10th, 2007.

Decrease rate of ions concentration in the first stage of the rain events depends on two main reasons aside from the change of the atmospheric conditions; first, the amount of particular matters in the atmosphere and second, scavenging coefficients which depends on the size of these particles. These two situations were observed in both rain events. K^+ and Cl^- concentrations were showed maximum decrease rate in the initial stage of the rain event occurred on November 10th, 2007. The main sources of these ions are sea and soil and these ions mostly exist on the large particles. However, SO_4^{2-} that exists in the small particles and has anthropogenic source has showed maximum decrease in the initial stage of the rain event occurred on December 05th, 2007.

The concentrations of all ions increased in the last sub sequential event in the rain event occurred on November 10th, 2007. Three reasons for this can be suggested which are; the increase of rain intensity in the last stages, the change of the synoptic systems in the upper atmosphere and specific local sources contaminate the rain-water during the last stage of the event.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was funded by Marmara University Scientific Research Center (BAPKO, project no FEN-BGS-120707-0153) and TUBITAK (project no 109R022).

REFERENCES

- Akkoyunlu, B.O., Tayanç M., & Karaca M. (2003). Study of bulk and sub-event wet deposition in Gebze, Turkey. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus*, 3(5-6):141-155. Doi:10.1023/A:1026057229263
- Akkoyunlu, B.O., & Tayanç, M. (2008). Four storms with sub-events: sampling and analysis. *Environment International*, 34(5): 606-612. Doi: 10.1016/j.envint.2007.12.019
- Akkoyunlu, B.O., Tayanc, M., Dogruel, M., & Oruc, I. (2008). Design and manufacture of an automatic sequential rain sampler: Testing with sub-events. *SGEM 2008: 8th International Scientific Conference on Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection*, June 16-20, Sofia- Bulgaria, Volume 1, 637-643. ISBN: 954-918181-2
- Akkoyunlu, B.O., Oruc, I., & Tayanc, M. (2011). The chemistry of wet deposition flux in Istanbul, Turkey. *11th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, (SGEM 2011)*, 20-25 June, Albena-Bulgaria, Volume II, 1255-1262. Doi: 10.5593/SGEM2011/S17.119
- Akkoyunlu, B.O., Dogruel, M., Tayanc, M., & Oruc, I. (2013). Design and construction of a computer controlled automatic sequential rain sampler. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 27(3): 3890-3895. Doi: 10.5504/BBEQ.2013.0016
- Ames, D.L., Roberts, L.E., & Webb, A.H. (1987). An automatic rain gauge for continuous, real time determination of rainwater chemistry. *Atmospheric Environment*, 21(9), 1947-1955. Doi.org/10.1016/0004-6981(87)90155-7
- Cerón R.M., Cerón J.G., Córdova A.V., Zavala J., & Muriel M. (2005). Chemical Composition of Precipitation at Coastal and Marine Sampling Sites in Mexico. *Global NEST Journal*, 7(2): 212-221.
- Draxler R.R., & Rolph G.D. (2012). HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD. (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>)
- Durana, N., Casado, H., Ezcurra, A., Garcia, C., Lacaux, J.P., & Dinh, P.V. (1992). Experimental study of the scavenging process by means of a sequential precipitation collector, preliminary results. *Atmospheric Environment, Part A. General Topics*. 26 (13): 2437-2443. Doi.org/10.1016/0960-1686(92)90373-S
- Gatz, D.F., & Dingle, A.N. (1971). Trace substances in rainwater: concentration variations during convective rains, and their interpretation. *Tellus*, 23(1): 14-27. Doi.org/10.3402/tellusa.v23i1.10286

Luo W. (2001). Wet-deposition fluxes of soluble chemical species and the elements in insoluble materials. *Atmospheric Environment*, 35(16): 2963-2967. Doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00484-2

Pelicho A.F., Martins L.D., Nomi S.N., & Solci M.C. (2006). Integrated and sequential bulk and wet-only samplings of atmospheric precipitation in Londrina, South Brazil (1998–2002). *Atmospheric Environment*, 40(35): 6827-6835. Doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.05.075



Kayseri-Sahabiye Medresesi 3-Boyutlu Modelleme Çalışması ve Animasyonu

3-Dimensional Study of Modelling And Animation of Kayseri-Sahabiye Madrasa

Murat YAKAR¹, Engin KOCAMAN*²

¹Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü 42250 Konya

²Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu,
Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü 42250 Konya

Başvuru/Received: 03/03/2017

Kabul/Accepted: 27/09/2017

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Öz

Tarihi eser ve belgelerin korunması, tüm insanlığın ortak sorunudur. Çeşitli afetler nedeniyle veya bakımsızlık ve ilgisizlik sebebiyle büyük ölçüde tahrip olan veya ortadan kalkan bu eserlerin kayıt altına alınması büyük önem arz etmektedir. “Kültürel miras” olarak adlandırılan bu eserlerin belgelendirilmesinde çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Günümüzde, bu konuda yaygın bir şekilde kullanılan yöntem ise sayısal yersel fotogrametri dir.

Kayseri-Sahabiye Medresesi 1267 yılında Selçuklu vezirlerinden Sahip Ata Fahrettin Ali tarafından yaptırılmıştır. Medresenin fotogrametrik ölçümleri sayısal yersel fotogrametri yöntemiyle yapılmıştır. Bu metot sayesinde röleve çalışmaları fazla maliyet gerektirmeden ve kısa zamanda halledilebilmektedir. Tarihi ve kültürel miraslar sayısal ortamda arşivlenebilmekte ve üç boyutlu modelleri elde edilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler

“Kültürel Miras, Sahabiye Medresesi, Kayseri, Fotogrametri, Belgeleme,”

Abstract

The preservation of historical artifacts and documents is a common problem of all humankind. It is of great importance to record these artifacts which have been majorly damaged or disappeared due to various disasters or due to lack of care and indifference. Various techniques are used in documenting these artifacts called “cultural heritage”. The method widely used today in this regard is digital terrestrial photogrammetry.

The Kayseri-Sahabiye Madrasa was built in 1267 by Ata Fahrettin Ali, the vizier of the Seljuks. Photogrammetric measurements of the madrasa were performed using digital terrestrial photogrammetry method. With this method, rolevel studies can be done in a short time without heavy cost. Historical and cultural heritages can be archived digitally, and three dimensional models can be obtained.

Key Words

“Cultural Heritage, Sahabiye Madrasa, Kayseri, Photogrammetry, Documentation.”

1. GİRİŞ

Uygarlıkların beşiği olarak çok zengin bir kültürel ve tarihi mirasa sahip olan ülkemizde, yurdun çeşitli bölgelerine yayılmış çok sayıda eser mevcuttur. Kayseri ilimiz de, tarihi ve kültürel eserlerin çokça bulunduğu önemli merkezlerimizden biridir. Bu eserlerden önemli bir kısmını da dinsel ve kültürel eserler oluşturmaktadır. 2009 yılsonu verilerine göre Kayseri'deki tescilli yapıların sayısı 829 olup, bunların 320 tanesi dinsel ve kültürel yapılardır (KTB, 2005). Bir kısmı tamamen yok olan, bir kısmı da yok olaya yüz tutan bu eserlerin belgelenmesi, korunması ve gerektiğinde restore edilmeleri, kültürel mirasın gelecek nesillere iletilmesinde büyük önem arz etmektedir.

Tarihi ve kültürel eserlerin tamamen yok olmasının önüne geçmek için, bütün ülkelerin belgeleme çalışmalarına gereken önemi vermeleri gerekmektedir. (Georgopoulos ve Ionnidis 2004) bir kültürel mirasın belgelenmesini ; “Tarihi veya kültürel bir yapının belirlenen üç boyutlu bir uzayda mevcut durumunun, yeni boyutunun, şeklinin ve konumunun belirlenmesi için gerekli olan ölçme, değerlendirme, kayıt ve sunum işlemleridir“ şeklinde tarif etmiştir. Tarihi ve kültürel mirasların belgelenmesi çalışmalarında kullanılan çeşitli belgeleme yöntemleri vardır (Böhler ve Heinz, 1999). Bu yöntemler; klasik elle gerçekleştirilen belgeleme yöntemi, topoğrafik yöntemler, fotogrametrik yöntemler ve tarama yöntemleridir (Böhler ve Heinz, 1999; Scherer, 2002).

Tarihi ve kültürel eserlerin üç boyutlu modellenmesi ve görüntülenmesi işlemi, bu eserlerin belgelenmesi çalışmalarının en karmaşık işlemleridir(Külür, 2005). Sayısal yersel fotogrametri yöntemi, bu işle uğraşanlara karmaşık problemlerin çözümünde büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Sayısal yersel fotogrametri yöntemi bilinen kullanım alanlarının dışında; yapıların tarihi ve arkeolojik değerlerinin belirlenmesinde, yapı cephelerinin ölçekli çizimlerinin yapılmasında, kentsel koruma planlarının hazırlanması ve uygulamasında, çatlaklıklar, anormallikler, bozulma analizleri, zarar değerlendirmesi ve deformasyon belirleme çalışmalarında, restorasyon öncesi ve sonrasında yapıların durum kontrolünde ve mimari çalışmalarda belirlenen koordinatlar yardımıyla bir yapının sayısal olarak elde edilmesinde de yoğun olarak kullanılmaktadır (Yılmaz vd, 2000; Sienz vd, 2000). Bu çalışmada da, Kayseri - Sahabiye Medresesi'ne ait belgeleme çalışması sayısal yersel fotogrametrik yöntemle yapılmıştır. Çalışma sonucunda Sahabiye Medresesi'nin dış cephelerine ait çizimleri ve üç boyutlu modelleri elde edilmiştir.

2. SAHABİYE MEDRESESİ'NİN KONUMU

Sahabiye Medresesi, Kayseri Cumhuriyet meydanında bulunmaktadır. Orta Anadolu'nun önemli bir sanayi ve ticaret merkezi olan Kayseri, tabii güzellikleri yanı sıra oldukça zengin tarihi ve kültürel eserlere de sahiptir. Selçuklular zamanında önemli ilim merkezlerinden biri olan Sahabiye Medresesi Kayseri merkezdedir. Kayseri'deki ayakta kalan yapılardan biri olan medrese, Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından onarılmış ve bir kitapevine kiralanmıştır.

3. SAHABİYE MEDRESESİ

Devrinin en önemli ilim merkezlerinden biri olan, Kayseri Cumhuriyet meydanında bulunan Sahabiye Medresesi, 1267 yılında Selçuklu vezirlerinden Sahip Ata Fahreddin Ali tarafından, yanındaki çeşme ile birlikte yaptırılmıştır. Daha çok “Sahabiye” olarak anılan medrese, “Sahip Ata Medresesi” olarak da bilinmektedir.

Ön yüzü orta boy bir kervansaray görünümünde olan Sahabiye Medresesi, kitle halinde dışarıya taşan taç kapısı ile göz kamaştırır (Şekil 1). Taç kapısının dışarıya ve avluya bakan her iki cephesindeki taş süslemeleri ile Anadolu'daki Selçuklu taş işçiliğinin en önemli örneklerinden biridir. Sahabiye Medresesi, dikdörtgen planlı, açık avlulu, tek katlı, orta avlu etrafında sıralanmış medrese odalarından meydana gelen 41,40 x 30m ölçülerinde bir alana oturmuş bir yapıdır. Ön cephenin iki ucunda daire şeklinde destek duvarı bulunan medrese, genel yapısı itibarıyla; avlu, tonozla örtülü büyük eyvan, koni bingilere oturtulmuş bir kubbe ile örtülü dört köşe salon, tonozla örtülü oda yan eyvanlar, hücreler ve çeşitli odalardan meydana gelmiştir. Medrese, yapıldığı günden bu yana birçok tamirat geçirmiştir. Bugün Kitapçılar çarşısı olarak kullanılan yapı tamamen kesme taş blok halinde yapılmıştır. Uzun yıllar medrese olarak hizmet vermiştir.



Şekil 1. Sahabiye Medresesi

4. FOTOGRAMETRİK ÇALIŞMALAR

Fotogrametrinin temel özelliği, ölçmelerin doğrudan obje üzerinde yapılması yerine, objenin fotoğrafik izdüşümü üzerinde yapılmasıdır. Ölçme işleminin doğrudan doğruya cisim üzerinde değil, çekilen resimlerden elde edilen cismin üç boyutlu modeli üzerinde yapılması, fotogrametri bilimine çok çeşitli alanlarda kullanılabilme imkanı sağlamıştır (Kocaman 1997).

Tarihi ve kültürel mirasların fotogrametrik yöntemle belgelenmesi çalışmaları; bir kısmı arazide, bir kısmı da büroda olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Arazi çalışmalarında; objenin tanımlanacağı koordinat sistemi belirlenmekte, obje üzerindeki kontrol noktaları ölçülmekte ve objeye ait uygun resimler çekilmektedir. Büro çalışmalarında ise kamera kalibrasyonu, resimlerin bilgisayara aktarılması ve fotogrametrik yazılımlarla değerlendirme ve çizim işlemleri yapılmaktadır.

4.1. Arazi Çalışmaları

Medrese çevresinde, poligon noktalarının nerelere atılacağını tespit için istikşaf çalışması yapıldı. Daha sonra Medrese çevresinde uygun bir poligon ağı oluşturuldu. Poligon noktalarına Jeodezik ölçme aleti Topcon GPT 3007 kurularak gerekli ölçümler yapıldı (Şekil 2). Arazi çalışması sonucu elde edilen veriler bilgisayar ortamında değerlendirilerek poligon hesabı yapıldı. Poligon noktalarının koordinatlandırılması için mevzi koordinat sistemi oluşturuldu. Bu koordinat sistemi, daha sonra her poligon noktasında GPS ölçüsü yapılarak ülke koordinat sistemine dönüştürüldü.



Şekil 2. Topcon 3007 totalstation aleti

Fotogrametrik esaslar da dikkate alınarak çekilmiş resimlerin dengelenebilmesi, çekildikleri konuma getirilip gerekli değerlendirmelerin yapılabilmesi için, obje üzerinde koordinatları (X,Y,Z) bilinen kontrol noktası dediğimiz noktalara ihtiyaç vardır (Tüdeş 1998). Bunun için, resimler üzerinde rahatça görülebilecek ve ölçü yapılabilecek ayrıntı noktalarına (pencere kenarı veya alımı kolaylaştırması açısından obje yüzeylerine) 10x10 cm boyutlarında uygun renk ve biçimde hazırlanmış işaret plakaları yerleştirildi (Yakar vd, 2009). Yüzeyin %60'ını kapsayacak çoklukta noktalara okuma yapıldı. Yüzeyin büyüklüğüne göre nokta sayısının 7-15 arasında olmasına dikkat edildi. Okumalar Topcon GPT 3007 jeodezik ölçme aleti ile yapıldı. Bütün yüzeyler için ölçüler tekrarlandı. Alımı yapılmış noktalar, Natcad programında koordinatları belirlenmiş poligonlara dayandırılarak koordinatlandırıldı. Daha sonra Canon A11s digital kamerası ile medresenin tüm cephelerinin resimleri, farklı konumlardan ve bindirmeli (%60-70) olarak çekildi (Şekil 3).

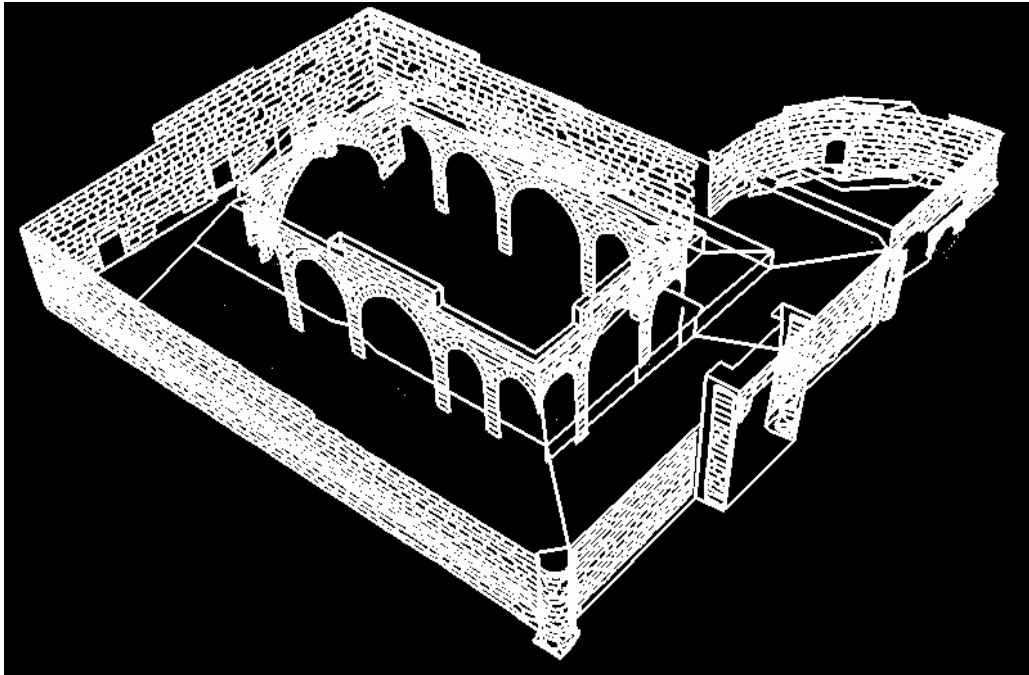


Şekil 3. Canon A11s digital fotoğraf makinası

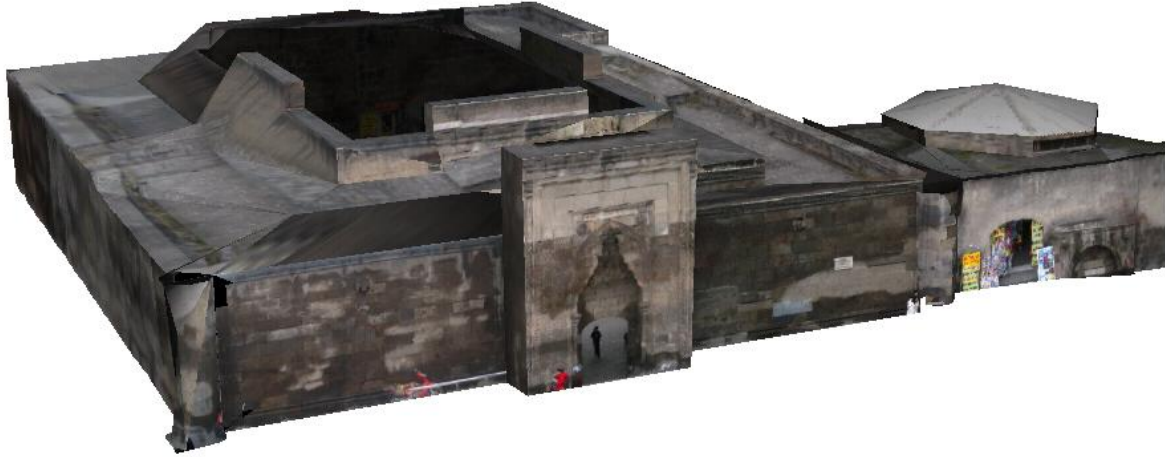
4.2. Fotogrametrik Çalışmalar

Objelere ait resimlerin değerlendirilmesi ve sonuç ürünlerin elde edilmesi için kullanılan, çeşitli firmalar tarafından geliştirilmiş fotogrametrik yazılımlar olup, bu çalışmada photo Modeller fotogrametrik yazılımı kullanıldı. Photo Modeller yazılım programı Windows tabanlı Eos System tarafından geliştirilmiştir. Bu yazılım; sayısal görüntülerden bir objenin üç boyutlu modelinin elde edilmesi ve metrik ölçülerinin yapılması için kullanılmaktadır. Bu yazılımda üç boyutlu model; noktalar, köşeler ve/veya eğrilerin bir setinden oluşmaktadır.

Dokusal veriler ve cepheler veya yüzeyler gerçek katı modeli oluşturmak için temel çerçeve modele daha sonra ilave edilebilmektedir. Yazılımın özelliğinden ötürü, mesafe ölçmeleri ve diğer metrik işlemler kolaylıkla yapılabilmektedir. Üç boyutlu modeller dxf veya diğer iyi bilinen formatlarda bilgisayar destekli (CAD) ortamlara aktarılabilir. (Şekil 4,5)



Şekil 4. Sahabiye Medresesi wireframe modeli



Şekil 5. Sahabiye Medresesi doku kaplanmış 3 boyutlu modeli

5. SONUÇLAR

Günümüzün en önemli konularından biri de tarihi ve kültürel mirasa ait eserlerin korunması, onarılması ve gelecek nesillere aktarılmasıdır. Bir çoğu tamamen yok olma tehlikesi ile karşı karşıya olan bu eserlerin korunması, insanlık tarihi bakımından da çok önemli bir konudur. Bunların gerek korunması, gerekse restore edilebilmeleri için belgeleme çalışmalarının yapılması ve sayısal bir kültürel miras arşivinin oluşturulması gerekmektedir.

Elektronik ve bilgisayardaki hızlı gelişmeler fotogrametriyi de oldukça etkilemiş ve sayısal yersel fotogrametri yöntemi kültürel mirasların belgelenmesi çalışmalarında sıkça kullanılan bir yöntem olmuştur. Bu yöntem sayesinde tarihi ve kültürel mirasa ait eserlerin istenilen ölçekte çizimleri yapılabilmekte, çerçeve ve üç boyutlu modelleri oluşturulabilmektedir. Bu üç boyutlu modellerin üzerine doku verileri de ilave edilerek üç boyutlu fotomodeller elde edilebilmektedir. Fotogrametrik yöntemlerle elde edilen veriler dayanıklıdır ve değiştirilemez. Dolayısıyla bu veriler, restorasyon çalışmaları ve objelerde oluşabilecek bozulmaların takibinde referans veriler olarak rahatça kullanılabilir.

Birçok büyük medeniyete beşiklik etmiş, binlerce tarihi ve kültürel eseri barındıran ülkemizde birçok eser, doğal afetler nedeniyle veya bakımsızlık ve ilgisizlik nedeniyle yok olma tehlikesi ile karşı karşıyadır. Bu eserlerin korunmasında büyük yararlar sağlayacak belgeleme çalışmaları fotogrametrik yöntemlerle kısa zamanda ve ekonomik olarak gerçekleştirilebilir. Bu belgeleme çalışmalarında kullanılan sayısal yersel fotogrametri yöntemi, sadece matematiksel denklemleri ve objelere ait resimleri kullanmaktadır. Diğer yöntemlerde var olan ölçme riski, fotogrametrik yöntemde yoktur. Hızlı olması, hassas bir şekilde yapılabilmesi gibi özellikler, fotogrametrik yöntemin tarihi ve kültürel mirasın belgelenmesi çalışmalarında ve üç boyutlu modelleme çalışmalarında rahatlıkla kullanılabilir bir yöntem olduğunu göstermektedir.

REFERANSLAR

- W. Böhler, G. Heinz (1999). Documentation, surveying, photogrammetry, XVII CIPA Symposium. Recife, Olinda.Brazil.
- A. Georgopoulos, G. Ionnidis (2004). Photogrammetric and surveying methods for the geometric recording of archaeological monuments, archaeological surveys, FIG Working Week 2004 Athens, Greece, May 22-27.
- E.Kocaman (1997). Yersel Fotogrametride Yer Kontrol Noktalarının Dağılışı, S.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,Cilt 2, Sayı 1, 31-39, Konya.
- KTB (2009). Kültür ve Turizm Bakanlığı web sitesi.
- S.Külür, F. Yılmaztürk (2005). 3D-reconstruction of small historical objects to exhibit in virtual museum by means of digital photogrammetry, CIPA 2005 XX. International Cooperation to Save the World's Cultural Heritage, 26 Sep.-01 Oct. Torino, Italy.

- M. Scherer (2002). About the synthesis of different methods in surveying, XVIII International Symposium of CIPA, Posdam, Germany.
- J. Siens, I.Szarvasy, E. Hinton, M.L. Andrade (2000). Copputational modelling of 3D objects by using fitting techniques and subsequent mesh generation, *Computers and Structures* 78, 397- 413.
- T. Tüdeş (1998). Yer Fotogrametrisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, KTÜ Basımevi, Trabzon.
- M.Yakar, H. M. Yılmaz, F. Yıldız, M. Zeybek, H. Şentürk, H. Çelik (2009). Silifke-Mersin Bölgesinde Roma Dönemi Eserlerinin 3-Boyutlu Modelleme Çalışması ve Animasyonu, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 11-15 Mayıs, Ankara.
- H. M. Yılmaz, H. Karabörk, M. Yakar (2000). Yersel Fotogrametrinin Kullanım Alanları, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 4, 18-28.



Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bölümlerin Veri Zarflama Analizi ile Karşılaştırmalı Etkinlik Ölçümü

Activity Analysis of Sakarya University Engineering Faculty Departments with Data Envelopment Analysis

Gültekin ÇAĞILI*, Gökçe BAHADIR¹

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya/Türkiye

Başvuru/Received: 19/12/2017

Kabul/Accepted: 14/01/2018

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Öz

Bu durum bizi doğrudan başarı derecesini ve kârlılık durumunu gösteren verimlilik, etkinlik, performans kavramlarına yönlendirir. Bu nedenle önem kazanan etkinlik stratejileri geliştirme süreci, rasyonel bir durum analizi ile başlar. Araştırılan birim veya birimler içerisinde hangilerinin etkin olduğu belirlenmeli, etkin olmayan birimler için ise yapılabilecekler tespit edilmelidir. Bu amaçlar doğrultusunda Veri Zarflama Analizi (VZA) yaygın kullanılan, parametrik olmayan bir yöntemdir. Bu çalışmanın temel hedefi olan Sakarya Üniversitesi (SAÜ) Mühendislik Fakültesi Bölümlerinin, sahip oldukları kaynakları ne derece etkin kullandıklarının ölçümü, bölümlerin sergiledikleri performans açısından karşılaştırılması ve bu sayede başarısız olan bölümler için gerekli iyileştirmelerin tespitine VZA yöntemi ile ulaşılmıştır. Öncelikle SAÜ Mühendislik Fakültesi bünyesinde bulunan ölçüm yapılmak istenen bölümler belirlenmiş, sonrasında etkinlik ölçümünü en iyi yansıtabilecek değişkenler seçilmiş ve ilgili veriler derlenmiştir. Çalışmada modeller VZA'da en çok kullanılan girdi odaklı Charnes Choper Rhodes (CCR) ve Banker Charnes Cooper (BCC) yöntemlerine göre kurulmuş, çözüm aşamasında VZA'nın özel yazılımlarından olan DEAP (Data Development Analysis Solver) yazılımı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Etkinlik, Veri Zarflama Analizi, Charnes Choper Rhodes (CCR) Yöntemi, Banker Charnes Cooper (BCC) Yöntemi”

Abstract

The way to stand at the competitive environment that we are in is through the use of physical sources in the most rational way. This situation leads us directly to the terms of efficiency and performance which show the degree of success and profitability. The efficiency strategy development process which gains importance for this reason starts with a rational situation analysis. The effective ones of units which are researched and what can be done for the noneffective ones should be retained. In line with these objectives, Data Envelopment Analyse (DEA) is a commonly used and nonparametric method. With the help of DEA, the measurement of effectiveness of the sources that Sakarya University (SAU) Engineering Faculty Departments' have which is the main purpose of this study, comparison of departments according to their effectiveness and thus, the determination of the necessary improvements for unsuccessful departments were achieved. Primarily, the departments of SAU which were desired to make measurements were determined, then, the parameters that reflect the effectiveness measurement the best were chosen and the related datas were compiled. Models at this study were set up according to Charnes Choper Rhodes (CCR) and Banker Charnes Cooper (BCC) methods which are most commonly used input driven ones and Data Development Analysis Solver (DEAP) which is one of the special softwares of DEA was used at the solution phase.

Key Words

“Efficiency, Data Envelopment Analysis, Charnes Choper Rhodes (CCR) Method, Banker Charnes Cooper (BCC) Method”

1. GİRİŞ

Herhangi bir firmanın mevcut durumunu görmesine ve bu sayede kendisine bir yol haritası çıkarmasına doğrudan yardımcı olan strateji belirleme süreci etkinlik ölçümü ile başlar. Ölçüm yapılmadan geliştirme sürecine başlamak anlamlı değildir. Geliştirilmesi gereken konu üzerinde nokta atışı yapmak ise zaman kaybının ve yerinde saymanın büyük ölçüde önüne geçmektedir.

Bir kurumun hedeflediği sonuçlara ulaşırken gerçekleştirdiği faaliyetlerde, mevcut kaynaklarını ne derece etkin kullandığının ve sorumlu olduğu hizmetleri yerine getirirken verimli olup olmadığının değerlendirilmesinde etkinlik ölçümünün önemi konusunda yaygın görüş birliği mevcuttur.

Eğitim kurumlarının bireye bilimsel, mesleki bilgi aktarımı ve arzu ettiği statüyü kazandırmak dışında ruhsal ve sosyal yönden sağlıklı bireyler yetiştirmek; ekonomi, hukuk, siyaset, sosyoloji, din, psikoloji gibi konularda donatma yükümlülüğü de bulunmaktadır. Bu yüzden eğitim kurumlarının içinde bulunduğu topluma karşı sorumlulukları ağırdır ve verimliliklerini sürekli olarak maksimum düzeyde tutmak zorundadırlar.

Temelleri 1970 yılına dayanan SAÜ Mühendislik Fakültesi, profesyonel akademik kadrosu ve 8000'e yakın öğrenci sayısı ile Türkiye'nin en büyük fakülteleri arasında bulunmaktadır. Araştırma, geliştirme ve eğitim-öğretim altyapısını sürekli güncel tutmayı vizyon edinmiş fakülte bölümleri için, verimlilik büyük önem arz etmektedir (Mf.sakarya, 2017).

Bu çalışmanın amacı SAÜ Mühendislik Fakültesi Bölümlerinin sahip oldukları kaynakları ne derece etkin kullandıklarını ölçmek, bölümleri sergiledikleri performans açısından karşılaştırmak ve başarısız olan bölümler için iyileştirmeler belirlemektir.

Makalenin ikinci bölümünde, çalışmada kullanılan teknik hakkında bilgi verilmiş, üçüncü bölümünde yapılan uygulama ve kullanılan modeller anlatılmış, son bölümde ise SAÜ Mühendislik Fakültesi bünyesinde bulunan bölümlerin etkinlikleri VZA yöntemi ile hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

2. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

“VZA aynı tür girdi-çıkıtı bileşimlerini kullanan benzer nitelikli ekonomik karar birimlerinin, karşılaştırmalı olarak etkinliklerinin ölçülmesi amacıyla geliştirilmiş parametrik olmayan bir yöntemdir (Yolalan, 1993).”

VZA'nın temelini Farrell'in 'The Measurement of Productivite Efficiency' adlı makalesinde yer alan 'etkin sınır' kavramı oluşturmaktadır (Farrell, 1957). Ancak VZA'yı duyuran ilk çalışma 1978 yılında European Journal of Operations Research'de yayınlanmıştır (Charnes vd., 1978).

“VZA yönteminin kullanımı Edwardo'nun Carneige Mellon University's School of Urban and Public Affairs'de ki araştırma tezi ile başlamaktadır. W.W.Cooper danışmanlığında Edwardo, okullardaki avantajlı öğrenciler için 'Programme Follow Through' adlı eğitim programını analiz etmektedir. Çalışma, bu programa katılan ve katılmayan okul gruplarının performanslarını karşılaştırmayı içermektedir. Bu programda, 'kendine güveni yükselen dezavantajlı çocuk' olarak belirlenen çıktı değişkeni ve 'annenin çocuğuna kitap okurken harcadığı zaman' olarak belirlenen girdi değişkeni ile okulların dönemsel olarak performansları tespit edilmektedir. Okullardaki bu göreceli teknik etkinliği, fiyatları göz ardı ederek çoklu girdi ve çıktılarla tahmin etme isteği CCR (Charnes, Cooper, Rhodes) formülasyonu olarak bilinen VZA orantısal formülasyonunu ortaya çıkarmaktadır (Karahana vd., 2011).”

Yöntem, Karar Verme Birimlerindeki (KVB) etkinlik miktarını net bir şekilde tanımlayabilmektedir. Bu durumdan yöntemin en önemli özelliği olarak bahsetmek doğru olacaktır. Çünkü bu yönüyle yöntem araştırmacıyı etkin olamayan KVB'lerde yapılması gerekenlere yönlendirir. Girdi ve çıktı için hedef değerler alınırken, verimi sağlamak adına ne kadar girdinin azaltılacağını veya ne kadar çıktının artırılacağını hesaplamada kullanılır (Jakobczak, 2015)

Ölçümü için farklı yöntemler geliştirilen verimliliğin en temel formülü Çıktı/Girdi olarak tanımlanır. Formülün yorumu, çıktı miktarı girdi miktarından ne derece büyük olursa o kadar etkin bir durumdan bahsedildiği şeklindedir, ancak çoğu zaman yeterli değildir. Gerçek ve karmaşık bir problemi tek girdi ve tek çıktıya indirgeyerek çözümlenmeye çalışmak bizi sonucun doğruluğundan hayli uzaklaştırır. Bu yüzden yaygın olarak tercih edilen VZA, çok sayıda girdi-çıkıtıyı analiz edebilecek yetenektedir. Yöntemin bir diğer önemli avantajı ise girdi ve çıktılarının farklı birimlere sahip olabilesidir.

Her KVB için ayrı doğrusal programlama modelinin çözümü gerektiğinden, büyük boyutlu problemlerin VZA ile çözümünün hesaplaması açısından zaman alıcı olması ise yöntemin zayıf yönleri arasında gösterilebilir (Sarı, 2015) .

3. SAKARYA ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BÖLÜMLERİNDE VZA İLE ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ UYGULAMASI

SAÜ Mühendislik Fakültesi bünyesinde bulunan 8 adet bölüm etkinlik ölçümü için belirlenmiştir. Bölümler A, B, C, D, E, F, G ve H ile etiketlenmiştir.

Bölümlerin performansını değerlendirmek amacıyla uygulamada 3 girdi ve 2 çıktı değişkeni kullanılmıştır. Girdi değişkenleri: akademik personel sayısı, idari personel sayısı ve eğitim maliyetleri; çıktı değişkenleri: toplam yayın sayısı ve öğrenci sayısı olarak belirlenmiştir.

Girdi ve çıktılar, teknik olarak mümkün ve anlamlı, girdilerin istenen çıktıyı karşılayabilecek yeterlilikte olmasına dikkat edilerek belirlenmiştir (Emrouznejad vd., 2015).

Tablo 1'de Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi bölümlerinin belirlenen girdi ve çıktı değişkenlerine ait veriler derlenmiştir.

Tablo 1. SAÜ Mühendislik Fakültesi Bölümleri Girdi-Çıktı Değerleri

BÖLÜM	ÇIKTI DEĞİŞKENLERİ		GİRDİ DEĞİŞKENLERİ		
	TOPLAM YAYIN	ÖĞRENCİ SAYISI	EĞİTİM MALİYETLERİ	AKADEMİK PERSONEL	İDARİ PERSONEL
1-A	942	1480	10.090.392,78 ₺	45	1
2-B	1728	1386	11.153.567,73 ₺	47	3
3-C	605	1782	11.141.631,11 ₺	58	2
4-D	242	387	9.185.644,84 ₺	20	1
5-E	546	1126	10.631.687,69 ₺	42	2
6-F	817	1379	10.859.186,83 ₺	37	6
7-G	264	1062	9.585.209,88 ₺	27	1
8-H	189	372	8.493.264,10 ₺	16	1

3.1 Uygulamada kullanılan VZA modelleri

VZA girdiye ve çıktıya yönelik olmak üzere iki şekilde kullanılabilir. Girdiye yönelik VZA modelleri; belirlenen çıktı bileşimini etkili bir şekilde üretebilmek için kullanılması gereken optimum girdi bileşimini, çıktıya yönelik VZA modelleri ise; belirlenen girdi bileşimi kullanılarak elde edilebilecek maksimum çıktı bileşimini araştırır (Atan vd., 2002). VZA modellerinde ortak amaç bazı KVB'lerin etkinlik sınırını oluşturmasıyla etkin ve etkin olmayan KVB'lerin tespit edilmesidir.

Hesaplamalar sonucunda her bir KVB için 0 ile 1 arasında bir etkinlik değerine ulaşılır. Etkinlik değeri 1 olan karar verme birimleri etkin KVB olarak etkinlik sınırını belirlerler. Etkinlik değeri 0 ile 1 arasında yer alanlar ise etkin olmayan KVB olarak ifade edilir. Etkin olmayan KVB'lerin etkinlik değerleri, etkinlik sınırına olan uzaklıkları ile ifade edilir. Etkin olmayan KVB'lerin 1 değerinden sapsması, birimlerin etkisizlik ölçülerini verir (Bakırcı, 2006).

Yapılan çalışmada girdiye yönelik CCR ve BCC analizleri kullanılmıştır.

3.1.1 Girdiye yönelik CCR matematiksel model

Model:
$$\max \sum_{r=1}^s u_{rk} \cdot y_{rk} \quad (1)$$

Kısıtlar:
$$\sum_{i=1}^m v_{ik} \cdot x_{ik} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{r=1}^s u_{rk} \cdot y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{ik} \cdot x_{ij} \leq 0 \quad (3)$$

$$u_{rk} \geq 0 \quad ; \quad r = 1, \dots, s \quad (4)$$

$$v_{ik} \geq 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, m \quad (5)$$

3.1.2 Girdiye yönelik BCC matematiksel model

Model:
$$\max \sum_{r=1}^s u_{rk} \cdot y_{rk} + b_0 \quad (6)$$

Kısıtlar:
$$\sum_{i=1}^m v_{ik} \cdot x_{ik} = 1 \quad (7)$$

$$\sum_{r=1}^s u_{rk} \cdot y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{ik} \cdot x_{ij} + b_0 \leq 0 \quad (8)$$

$$u_{rk} \geq 0 \quad ; \quad r = 1, \dots, s \quad (9)$$

$$v_{ik} \geq 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, m \quad (10)$$

Burada;

s: elde edilen çıktı sayısı,

m: kullanılan girdi sayısı,

k: etkinliği ölçülen karar verme birimi,

j: karar verme birimi seti, $j = 1, \dots, n$

r: tüm çıktuların seti, $r = 1, \dots, s$

i: tüm girdilerin seti, $i = 1, \dots, m$

urk: k karar verme biriminin r'inci çıktı miktarının ağırlığı,

vik: k karar verme biriminin i'inci girdi miktarının ağırlığıdır.

Yrk: etkinliği ölçülen k karar birimine ait r'inci çıktı miktarı,

Yrj: j karar verme birimi tarafından üretilen r'inci çıktı miktarı,

Xik: etkinliği ölçülen k karar birimine ait i'inci girdi miktarı,

Xij: j karar verme birimi tarafından kullanılan i'inci girdi miktarı,

olarak temsil edilmektedir.

Girdiye yönelik CCR ve Girdiye yönelik BCC modelleri arasındaki tek fark BCC modeline yeni bir b_0 değişkeni eklenmiş olmasıdır.

$b_0 = 0 \rightarrow$ Ölçeğe göre sabit getirili çıktı miktarını,

$b_0 > 0 \rightarrow$ Ölçeğe göre azalan getirili çıktı miktarını,

$b_0 < 0 \rightarrow$ Ölçeğe göre artan getirili çıktı miktarını göstermektedir.

Modellerde görüldüğü gibi, etkinliği hesaplanmak istenilen KVB nin, çıktılarının ağırlıklı ortalamasının maksimum yapılması amaçlanmıştır. Modeller etkinliği hesaplanmak istenilen KVB nin girdilerinin ağırlıklı ortalamasını 1 ile kısıtlamıştır. Bütün KVB ler için çıktıların ağırlıklı ortalamasının girdilerin ağırlıklı ortalamasından küçük olması kısıtı ise etkinliğin %100 ü geçmemesini sağlamıştır. 4, 5, 9, 10 ile belirtilmiş denklemler ise kullanılacak girdi ve çıktı ağırlıklarının negatif olmamasını sağlayan kısıt denklemleridir.

4. VZA UYGULAMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

4.1 Girdiye yönelik CCR modeline göre VZA sonuçları

Çalışmanın bu bölümünde SAÜ Mühendislik Fakültesi bünyesinde bulunan bölümler gerekli veriler derlendikten sonra belirlenen girdi ve çıktılar kullanılarak CCR modeli ile CRS varsayımı altında analiz edilmiştir.

4.1.1 CCR etkinlik analizi

Tablo 2. CCR modeline göre etkinlik skoru ve referans kümeleri

	A	B	C	D	E	F	G	H
Etkinlik Skoru	1	1	1	0,554	0,778	1	1	0,637
Referans Kümesi	1*	0*	0*	2,7,6	6,7,1	3*	3*	7,2,6

*Etkin Bölümler

VZA CCR modeline göre Tablo 2' de belirtilen analiz sonuçlarında SAÜ Mühendislik Fakültesi Bölümlerinden A, B, C, F ve G Bölümleri girdileri çıktılarına dönüştürmede diğer bölümlere kıyasla %100 etkindir. Bu bölümler etkinlik sınırını oluşturmaktadırlar. Etkin olmayan bölümler karşılaştırıldığında ise en düşük etkinliğin D bölümüne ait olduğu görülmektedir. Bölümlerin ortalama etkinlik skoru %87 olarak saptanmıştır.

4.1.2 CCR analizi girdi-çıktı hedefleri

Tablo 3. CCR analizine göre belirlenen hedefler

BÖLÜMLE R	TOPLAM YAYIN	ÖĞRENCİ SAYISI	EĞİTİM MALİYETLERİ	AKADEMİK PERSONEL	İDARİ PERSONEL
1-A	0	0	0	0	0
2-B	0	0	0	0	0
3-C	0	0	0	0	0
4-D	0	0	-0,636	-0,446	-0,446
5-E	0,174	0	-0,222	-0,222	-0,223
6-F	0	0	0	0	0
7-G	0	0	0	0	0
8-H	0	0	-0,621	-0,363	-0,363

VZA CCR modelinde Tablo 3’de belirtilen girdi-çıkıtı hedeflerine bakıldığında etkin olmayan bölümlerin girdilerini %22 ile %64 arasında azaltmaları gerekmektedir. Örneğin D bölümü daha etkin bir performans sergileyebilmek için eğitim maliyetleri girdilerini %64 oranında azaltması gerekirken, E nin %22 oranında azaltması yeterli olacaktır. Benzer şekilde E bölümü daha etkin bir performans için çıkıtı değişkenlerinden olan toplam yayın sayısını %17,4 oranında arttırması gerekmektedir.

Analiz sonuçlarında %100 etkin olan bölümler için herhangi bir girdi-çıkıtı hedefi belirtilmediği görülmektedir.

Tablo 3’te listelenen girdi-çıkıtı hedeflerine göre iyileştirilmesi gereken girdi-çıkıtı değişkenleri için hesaplanan iyileştirme oranları bir sonraki aşamada Tablo 4’ deki gibi hesaplanmıştır.

4.1.3 Sakarya üniversitesi CCR analizi ortalama iyileştirme oranları

Tablo 4. Ccr analiz sonucu ortalama iyileştirme oranları

TOPLAM YAYIN	ÖĞRENCİ SAYISI	EĞİTİM MALİYETLERİ	AKADEMİK PERSONEL	İDARİ PERSONEL
0,058	0	-0,493	-0,344	-0,344

VZA CCR modeline göre Tablo 4’de belirtilen analiz sonuçlarında SAÜ Mühendislik Fakültesi bölümleri etkin bir performans için ortalama olarak eğitim maliyetlerini %49,3, akademik personel sayısını %34,4, idari personel sayısını %34,4 oranında azaltmalıdır. Çıkıtı değişkenlerinden olan toplam yayın sayısını ise % 5 oranında arttırmalıdır.

4.2. Girdiye yönelik BCC modeline göre VZA sonuçları

Çalışmanın bu bölümünde SAÜ Mühendislik Fakültesi bünyesinde bulunan bölümler gerekli veriler derlendikten sonra belirlenen girdi ve çıkıtı değişkenleri kullanılarak BCC modeli ile VRS varsayımı altında analiz edilmiştir.

4.2.1 BCC etkinlik analizi

Tablo 5. BCC modeline göre etkinlik skoru ve referans kümeleri

	A	B	C	D	E	F	G	H
Etkinlik Skoru	1	1	1	0,93	0,901	1	1	1
Referans Kümesi	2*	0*	0*	1,8	1,8	0*	0*	2

***Etkin Bölümler**

VZA BCC modeline göre Tablo 5’de belirtilen analiz sonuçlarında SAÜ Mühendislik Fakültesi bünyesinde bulunan 8 bölümün 6 tanesi %100 etkin bulunmuştur. Etkin olmayan bölümlerin %90’lık skor ile E Bölümü ve %93’lük skor ile D bölümü olduğu görülmektedir. 8 bölümün ortalama etkinlik skoru %98 olarak saptanmıştır. Analiz sonucunda etkin şubeler arasında karşılaştırma yapmak gerekirse 2 defa referans gösterilen A ve H bölümleri bir adım öne çıkmaktadır

4.2.2 BCC analizi girdi-çıkı hedefleri

Tablo 6. BCC analizine göre belirlenen hedefler

BÖLÜMLER	TOPLAM YAYIN	ÖĞRENCİ SAYISI	EĞİTİM MALİYETLERİ	AKADEMİK PERSONEL	İDARİ PERSONEL
1-A	0	0	0	0	0
2-B	0	0	0	0	0
3-C	0	0	0	0	0
4-D	0	0	-0,063	-0,098	0
5-E	0,285	0	-0,099	-0,149	-0,500
6-F	0	0	0	0	0
7-G	0	0	0	0	0
8-H	0	0	0	0	0

VZA BCC modelinde Tablo 5’de belirtilen girdi-çıkı hedeflerine göre etkin olmayan bölümler girdilerini %6 ile %15 arasında azaltmalıdır. Çıkı hedeflerine bakıldığında daha etkin bir performans için E bölümü toplam yayın çıkıtısında %29’luk artış gerekmektedir.

Analiz sonuçlarında %100 etkin olan bölümler için herhangi bir girdi-çıkı hedefi belirtilmediği görülmektedir.

Tablo 6’de listelenen girdi-çıkı hedeflerine göre iyileştirilmesi gereken girdi-çıkı değişkenleri için iyileştirme oranları bir sonraki aşamada Tablo 7’deki gibi hesaplanmıştır.

4.2.3 Sakarya Üniversitesi BCC analizi ortalama iyileştirme oranları

Tablo 7. BCC analiz sonucu ortalama iyileştirme oranları

TOPLAM YAYIN	ÖĞRENCİ SAYISI	EĞİTİM MALİYETLERİ	AKADEMİK PERSONEL	İDARİ PERSONEL
0,142	0	-0,049	-0,075	-0,250

VZA BCC modeline göre Tablo 7' de belirtilen analiz sonuçlarında SAÜ Mühendislik Fakültesi bölümleri daha etkin bir performans için ortalama olarak eğitim maliyetlerini %5, akademik personel sayısını %8 ve idari personel sayısı %25 oranında azaltmalıdır. Çıktı değişkenlerinden olan toplam yayın sayısında ise %14'lük bir artış gerekmektedir.

4.3 Ölçek etkinliği skorları

Tablo 8. Crs etkinlik skorları,vrs etkinlik skorları ve ölçek etkinlik skorları

BÖLÜM	CRS ETKİNLİK SKORU	VRS ETKİNLİK SKORU	ÖLÇEK ETKİNLİĞİ
1-A	1	1	1
2-B	1	1	1
3-C	1	1	1
4-D	0,554	0,930	0,596
5-E	0,778	0,901	0,863
6-F	1	1	1
7-G	1	1	1
8-H	0,637	1	0,637
Ortalama	0,871	0,979	0,887

VRS etkinlik skorları, CRS etkinlik skorları ve VRS analizinden elde edilen skorların CRS analizinden elde edilen skorlara bölünmesiyle elde edilen ölçek etkinliği skorları Tablo 8’ de listelenmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmanın temel hedefi olan SAÜ Mühendislik Fakültesi Bölümlerinin, mevcut kaynaklarını ne derece etkin kullandıklarının ölçümüne, bölümleri sergiledikleri performans açısından karşılaştırılmasına ve sorumlu olduğu hizmetleri verimli bir şekilde gerçekleştirip gerçekleştirmediğinin tespitine VZA yöntemi ile ulaşılmıştır.

A, B, C, F ve G CRS ve VRS etkinliğine sahip olduğundan ölçek etkindirler. Diğer yandan H VRS modeline göre etkinken CRS modeline göre etkin olmadığından bu bölüm ölçek olarak etkin değildir. D ve E bölümleri ise herhangi bir etkin sınır üzerinde yer almamıştır. İyileştirme çalışmalarına bu bölümlerden başlamak anlamlı olacaktır.

Genel olarak ortaya çıkan sonuçlar değerlendirildiğinde SAÜ Mühendislik Fakültesi bölümlerinin etkin olduğu görülmüştür.

REFERANSLAR

Atan M., Karpat G., Göksel A., “Ankara’ daki Anadolu Liselerinin Toplam Etkinliğinin Veri Zarflama Analizi (VZA) ile Saptanması”, XI. Eğitim Bilimleri Kongresi, 2002.

Bakırcı, F., ”Üretimde Etkinlik ve Verimlilik Ölçümü Veri Zarflama Analizi Teori ve Uygulama” Atlas Yayınları, pp.250, 2006.

Charnes A., Cooper W. W. ve Rhodes E. “Measuring the Efficiency of Decision Making Units”, European Journal of Operational Research, 1978.

Emrouznejad A., E. Cabanda, Introduction to Data Envelopment Analysis and its applications “Handbook of Research on Strategic Performance Management and Measurement Using Data Envelopment Analysis”. pp. 238, IGI Global, USA, 2015.

Jakobczak D. J., Analyzing Risk through Probabilistic Modeling in Operations Research, 2015.

Farrell, M. “The Measurement of Productivity Efficiency” Journal of the Royal Statistical Society, 120:253-290, 1957.

Karahan A., Özgür Ö., “Hastanelerde Performans Yönetim Sistemi ve Veri Zarflama Analizi”. Nobel Yayınları, 2011.

Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi <http://www.mf.sakarya.edu.tr/tr/icerik/3177/6713/misyon-ve-vizyon>, (ET:26.07.2017).

Sarı Z., “Veri Zarflama Analizi ve Bir Uygulama”. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 2015.

Yolalan, R. “İşletmeler Arası Görelilik Etkinlik Ölçümü”, MPM Yayınları, No: 483, Ankara, 1993.



Design Optimization of Machining Parameters for AWJ Turning Operations of 718 Inconel Super alloy Based on the Taguchi

Fuat KARTAL*¹

¹ *Kastamonu University, Mechanical Engineering Department, 37100 Kastamonu, TURKEY*

Başvuru/Received: 02/11/2017

Kabul/Accepted: 24/12/2017

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Abstract

Inconel Alloy 718 super alloy was machined using abrasive water jet (AWJ) in this study. Following the cutting process, average surface roughness (R_a μm) and material removal rate (MRR) were investigated and operating parameters were optimized using Taguchi method. Among the machining parameters were pump pressure (PP) (200, 350 MPa), nozzle feed rate (NFR) (5, 105 and 205 mm/min); abrasive flow rate (AFR) (50, 200 and 350 g/min); spindle speed (SS) (25, 50 and 75 RPM) and standoff distance (SOD) (2, 8 and 14 mm). Taguchi L18 (21 x34) orthogonal factorial experiment organization is adopted as experiment design. The effect of parameters on R_a and depth of cut (DoC) was investigated statistically using the outcomes of the variance analysis and S/N rates. As a result of the empirical studies, PP proved to have the highest effect on R_a by 42.35%. On the other hand, NFR proved to have the highest effect on DoC by 72.85%. Increasing SS has improved R_a value while increasing DoC.

Keywords

“Material Removal Rate, Inconel, Taguchi, Surface Roughness and Water Jet Turning”

1. INTRODUCTION

Abrasive water jet (AWJ) is a promising method (Lima et al., 2016, Hasçalık & Ay, 2013; Ay et al., 2013; Field, 968) for cutting materials as it offers advantages such as absence of thermal influence and a wide area of use including materials with high thickness (Lima et al., 2016, Ay et al., 2013; Taguchi, 1986). It is possible to cut a wider variety of materials using AWJ (Lima et al., 2016) when compared to other conventional cutting methods. Among these, materials are polymers, composites, ornamental rocks, glass, etc. (Kivak et al., 2012, Çaydaş & Ay, 2016). Many industrial applications today consider abrasive water jet (AWJ) as one of the most promising material processing techniques with a highlight to its versatility. However, the literature provides insufficient information on multiphase flow properties of abrasive water jet at high and ultra-high jet pressures. Fluid dynamics of abrasive water jet has an immediate impact on the processing quality as it directly affects the workpiece and abrasive particles must be considered as one of the contributors to the surface roughness outcome.

Today, many industries adopt AWJ cutting as it allows processing of several types of material with a low thermal influence during the process (Kivak et al., 2012; Çaydaş & Ay, 2016). The gemstone industry is one of these industries, which increasingly use AWJ as it optimizes the use of material when compared to the conventional cutting methods while being ideal for the industrial needs of cutting flexibility (Kivak et al., 2012; Hasçalık & Ay, 2013). Surface integrity determines the type of processes to be applied to the workpiece and is an important selection criterion in any kind of machined product. Surface integrity is defined as the changes in the material following the machining process, which may include surface and subsurface alterations in the given material. Peck drilling is one of the important machining processes available in the space industries (Kivak et al., 2012b). Research on the machining of Inconel 718 alloy mostly involves cutting and milling operations while the literature on the abrasive water jet cutting is restricted (Lima et al., 2016; Lima et al., 2016; Kivak et al., 2012; Ay et al., 2010). Super alloys offer excellent creep strength and tensile strength with better corrosion and oxidation resistance (Kivak, 2012). Among these alloys are iron-based chromium and nickel alloys, iron-nickel, chromium-cobalt alloys, carbide reinforced cobalt based alloys, solid solution reinforced nickel based alloys (Kivak, 2012), deposition and distribution reinforced nickel based alloys (Kivak, 2012, Gür & Kaya, 2017, Yıldız et al., 2014). Several new alloys were developed with different operating temperatures in the recent years (Kivak, 2012; Gür & Kaya, 2017). One of the most important alloys is the Inconel 718 super alloys (Ay et al., 2010). This alloy has a polycrystalline and coaxial microstructure (Kivak, 2012, Gür & Kaya, 2017). As it offers excellent mechanical properties for low and average temperatures ((-250) - (700) °C) it has recently been increasingly used in space (Kivak, 2012, Yıldız et al., 2014), petroleum and nuclear energy industries (Kivak, 2012, Gür & Kaya, 2017). During the machining process of Inconel 718 (Kivak, 2012), tool temperature easily increases due to the low thermal conductivity of this material. As a result of the higher toughness level of the material, shavings formation proves challenging during the machining process (Ay, 2010; Özay et al., 2016; Savaş et al., 2016). As the manufacturing cost of this material is relatively high, any fault during the machining process may lead to serious monetary losses (Ay et al., 2010; Lima et al., 2016; Bhattacharya et al., 1983; Özay et al., 2016; Savaş et al., 2016).

This study involves longitudinally machining of Inconel Alloy 718 steel with abrasive water jet using machining parameters of NFR, AFR, SS, SOD and PP. The impact of machining parameters on Ra and DoC was investigated. Taguchi method was used for experimental setting and experimental data was analyzed using ANOVA.

2. MATERIAL AND METHOD

Materials with a special area of use in the industry, Inconel Alloy 718 of Ø 30x240 mm in size were used for the experiments. Inconel Alloy 718 is a nickel-chromium alloy, which is prone to precipitation hardening, and it consists of high amounts of iron, niobium, and molybdenum and a small amount of aluminum and titanium. This combination offers higher corrosion resistance and higher strength while being ideal for welding with its excellent weld crack resistance. The alloy provides excellent creep and tensile strength up to 700°C (Kivak et al. 2012, Savaş et al., 2016). It is possible to use this alloy for gas turbines, rocket engines, nuclear reactors, pump and tool manufacturing, etc. Chemical composition of the work piece is shown in Table 1, while its mechanical properties are shown in Table 2 (Kivak et al. 2012b).

Table 1. Chemical composition of specimens (weight %)

C	Mn	Si	Cr	Ni	Co	Mo	Nb + Ta	Ti	Al	Fe
0.040	0.08	0.08	18.37	53.37	0.23	3.04	5.34	0.98	0.50	17.80

Table 2. Mechanical properties of Inconel Alloy 718

Hardness (HB)	Yield limits (MPa)	Tensile stress (MPa)	Elongation % (5do)
388	1375	1170	23.3

Taguchi method is a well-known technique providing a systematic and efficient approach to process optimization and is a strong tool for high quality systems design (Kivak et al. 2012). In this study, the minimum Ra value will be considered the best performance. Smaller is better S/N characteristic was adopted in the analyses for the smallest value of Ra. On the other hand, larger is better S/N function used for the highest material cutting value. S/N ratio equations used in the analyses are shown below. First and second equations involve η Signal/Noise ratio; y_i the experimental measure numbered i , n the number of test.

Smaller is better:

$$\eta = S/N = -10 \cdot \log \left(\sum \frac{y_i^2}{n} \right) \tag{1}$$

Larger is better:

$$\eta = S/N = -10 \cdot \log \left(\sum \frac{1}{y_i^2} \right) \tag{2}$$

The acceptable significance level for ANOVA analysis in this study was set at a P value equal to 95% ($\sigma = 0.05$). Taguchi L18 (21 x34) orthogonal array design was generated for the factors (Table 3 and Table 4) in order to be able to see the influences of the parameters and experimental study was performed. Minitab 17 experimental design software was used for experiment setup, optimization and variance analyses. All the experiments involved 120 Mesh Garnet type abrasive material and the nozzle diameter was fixed at 0.75mm.

Table 3. The parameters used in the AWJT and their levels

Code	Parameters	Unit	Level 1	Level 2	Level 3
A	Pump pressure	MPa	200	350	
B	Nozzle feed rate	mm/min	5	105	205
C	Abrasive flow rate	g/min	50	250	450
D	Standoff distance	mm	2	8	14
E	Spindle speed	RPM	25	50	75

A CNC abrasive water jet lathe with a pump pressure of 415 MPa was used in this study. Surface measurements were conducted using “Mitutoyo” SJ-301 surface roughness measurement device. Only the average surface roughness (Ra) values were taken into consideration during the roughness measurements. Ra values were taken from four points located in the mid part of the work piece. DoC measurements were conducted on the surface of the material using a digital compass following each machining process and difference calculations were conducted using the diameter measurements recorded before the machining process. The parameters used in the volume calculation with regards to the equation 3 are as follows; D_i i pre-cutting diameter, D_{i+1} : post-cutting diameter, h : longitudinal turning distance.

$$DoC_i = (D_i - D_{i+1})/2 \tag{3}$$

This study used a turning lathe setup which operated underwater with a maximum sound level of 85 dB developed in order to be used in abrasive water jet machining (Figure 1).

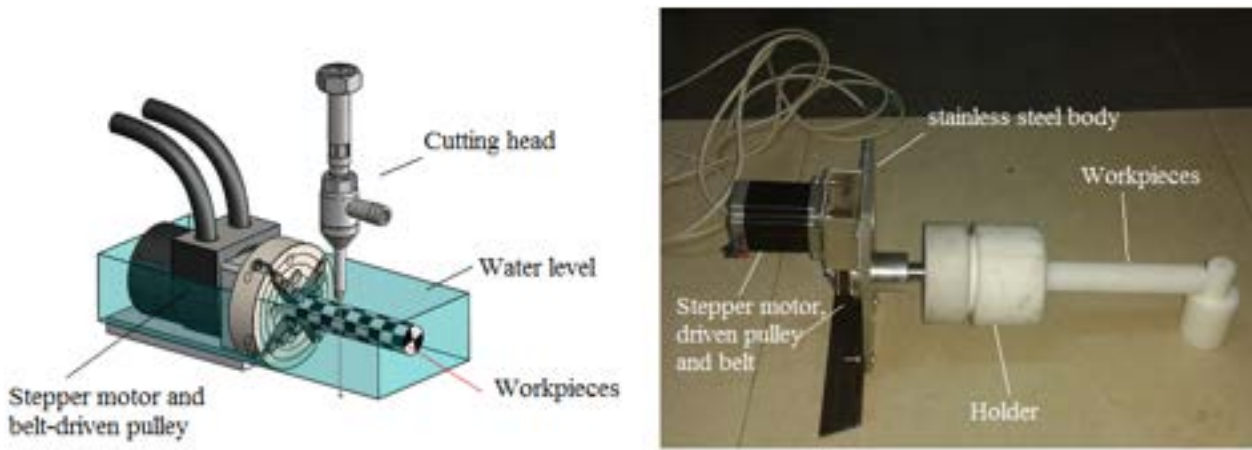


Fig. 1. A schematic and prototype view of the developed turning mechanism.

3. EXPERIMENTAL RESULTS

3.1. Effect of process parameters on the Ra

Average Ra values obtained from the AWJ process and S/N ratios calculated according to Equation 1 are shown in Table 4. Average S/N ratios calculated for each level of parameters in order to find the optimum parameters are shown in Table 5. The rankings available in Table 5 shows the importance of the impact of that parameter on Ra. PP, NFR, AFR, SS and SOD, respectively, were found to have the highest effect on Ra according to their Rankings. The highest value of S/N ratio obtained for each parameter stands for the best performance result (lowest Ra value). In this respect, the test configuration established for optimum Ra included the following values in accordance with the graphical display of the S/N ratios shown in Fig. 2: PP: 350 mm, NFR 5 mm/min, AFR: 455 g/min, SOD: 2 mm and SS: 75 rpm.

Table 4. Ra and S/N ratio value according to L18 orthogonal experiment layer

EXP. No	PP (MPa)	NFR (mm/min)	AFR (g/min)	SOD (mm)	SS (RPM)	Ra (µm)	S/N dB
1	200	5	50	2	25	2,14	-6,59
2	200	5	250	8	50	1,54	-3,72
3	200	5	450	14	75	1,82	-5,18
4	200	105	50	2	50	2,99	-9,50
5	200	105	250	8	75	2,29	-7,18
6	200	105	450	14	25	3,03	-9,61
7	200	205	50	8	25	3,11	-9,84
8	200	205	250	14	50	2,58	-8,22
9	200	205	450	2	75	2,02	-6,09
10	350	5	50	14	75	1,53	-3,71
11	350	5	250	2	25	1,25	-1,91
12	350	5	450	8	50	1,06	-0,49
13	350	105	50	8	75	1,59	-4,03
14	350	105	250	14	25	1,90	-5,56
15	350	105	450	2	50	1,34	-2,57

16	350	205	50	14	50	2,26	-7,08
17	350	205	250	2	75	1,40	-2,90
18	350	205	450	8	25	1,76	-4,91

Table 2. Mechanical properties of Inconel Alloy 718.

Hardness (HB)	Yield limits (MPa)	Tensile stress (MPa)	Elongation % (5do)
388	1375	1170	23.3

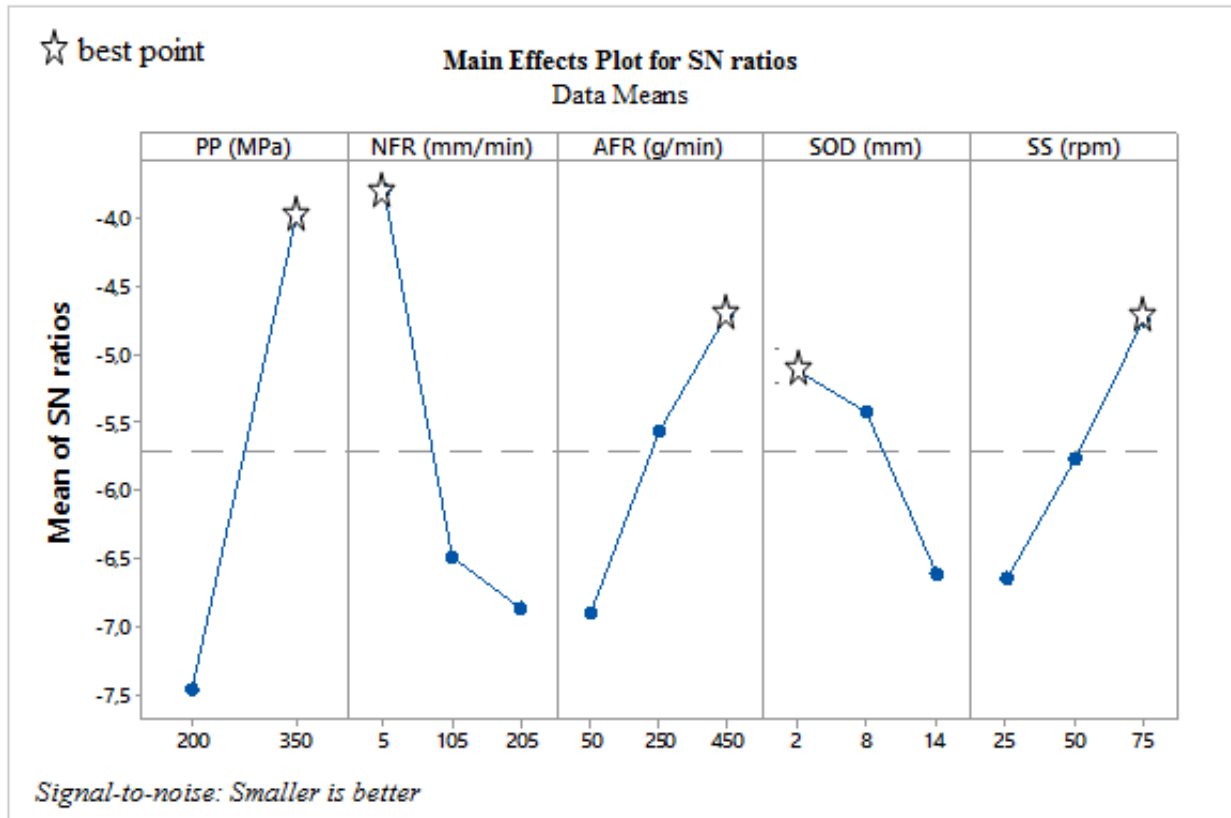


Fig. 2. A Main effects plot for the Ra.

Influence levels of the parameters on Ra are evaluated using ANOVA analysis and the results are shown in Table 6. PP is found to be the most effective factor on Ra by 42.37% as shown in the percentages available in ANOVA Table. The second most effective factor, on the other hand, was NFR (26.16%). A growing number of spiral trails on the work piece as NFR was increased resulted in increased Ra value.

Table 6. ANOVA analysis for the Ra

Hardness (HB)	Yield limits (MPa)	Tensile stress (MPa)	Elongation % (5do)
388	1375	1170	23.3

The second parameter following NFR, which has an impact on Ra was AFR (11.38%). It was found that the average surface roughness is directly proportional to AFR and that increasing AFR provides a more homogeneous and more rigid cutting tool with abrasive water jet obtained.

3.2. Effect of process parameters on the DoC

DoC measurement results of the machined surfaces tested in the experimental combinations developed according to the L18 experiment setup and S/N ratios calculated according to Equation 2 are shown in Table 7. Average S/N ratios calculated for each level of parameters are shown in Table 8. NFR, AFR, and SS, respectively, were found to have the highest effect on DoC according to their Rankings available in Table 8. Accordingly, the test configuration established for maximum DoC included the following values in accordance with the graphical display of the S/N ratios shown in Fig. 4. SOD: 14 mm, NFR: 5 mm/min, AFR: 450 g/min, SS: 75 RPM and PP: 350 MPa.

Table 7. DoC and S/N ratio according to test results

Exp. No	PP (mm)	NFR (mm/min)	AFR (g/min)	SOD (mm)	SS (RPM)	DoC (mm)	S/N (dB)
1	200	5	50	2	25	1,59	4,03
2	200	5	250	8	50	2,2	6,85
3	200	5	450	14	75	2,88	9,20
4	200	105	50	2	50	1,15	1,20
5	200	105	250	8	75	1,53	3,69
6	200	105	450	14	25	1,6	4,07
7	200	205	50	8	25	0,2	-14,04
8	200	205	250	14	50	0,52	-5,68
9	200	205	450	2	75	0,84	-1,56
10	350	5	50	14	75	2,02	6,12
11	350	5	250	2	25	2,19	6,81
12	350	5	450	8	50	2,58	8,24
13	350	105	50	8	75	1,21	1,68
14	350	105	250	14	25	1,45	3,24
15	350	105	450	2	50	1,79	5,03
16	350	205	50	14	50	0,32	-10,00
17	350	205	250	2	75	0,77	-2,23
18	350	205	450	8	25	0,75	-2,47

Table 8. Mean SN ratio for the DoC

Level	PP (MPa)	NFR (mm/min)	AFR (g/min)	SOD (mm)	SS (rpm)
1	1,2035	7,013	-1,8262	1,27	0,3159
2	1,6626	2,7811	1,9855	1,4831	1,4322
3		-5,4949	4,1399	1,546	2,5511
Delta	0,4592	12,5079	5,9661	0,276	2,2352
Rank	4	1	2	5	3



Fig. 2. The main effects of the parameters on the DoC

Influence levels of the parameters on DoC are evaluated using ANOVA analysis and the results are shown in Table 9. NFR is found to be the most effective factor on DoC by 72.85% as shown in the percentages available in ANOVA Table. Erosion is increased and therefore DoC value is increased when the AFR is increased. The results obtained are compatible with the literature (Ansari & Hashish, 1995). In their study, Hashish and Ansari reported that increasing AFR also increases the DoC value (Escobar et al., 2012). The parameter of SS, whether it has a rather low effect on DoC by 2.25%, has a significant effect according to its p-value. The effect of erosion caused by the abrasive jet contacting the surface of the work piece increases with the increasing spindle speed. Thus, increasing spindle speed also increases DoC value. DoC value is an important manufacturing parameter in terms of reduced production time and reduced operating costs. While the material removal process using classic turning methods involves several passes, AWJ turning process is able to remove material in a single pass. Therefore, it is possible to reduce the machining time and operation costs with an economic material removal process when the DoC value is increased. The results obtained are compatible with the literature (Kartal, 2016).

Table 9. ANOVA table for the DoC

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	% effect
PP (MPa)	1	8,54	8,54	8,54	2,61	0,14
NFR (mm/min)	2	4371,26	4371,26	2185,63	667,78	72,85
AFR (g/min)	2	985,77	985,77	492,89	150,59	16,43
SOD (mm)	2	2,26	2,26	1,13	0,35	0,04
SS (rpm)	2	134,9	134,9	67,45	20,61	2,25
Residual Error	152	497,49	497,49	3,27		8,29
Total	161	6000,22				100,00

3.3. Confirmation Experiments

The Ra and DoC values obtained as a result of the confirmation tests on the estimated optimal conditions and values obtained after calculations are shown (Table10 and 11) and the confirmation tests available consists of the comparisons between the results obtained from the experimental and calculated values. Calculated according to the Taguchi optimization method the values of the control factors of the cutting process with AWJ are as follows: Ra: 0,65 μm, S/N ratio: -0.517795 dB, estimated DoC value: 2.76 mm and the S/N ratio of this value: 11.1804 dB It was found that experimental and estimated values for Ra and DoC are quite similar.

Table 10. Confirmation results for Ra (μm)

PP (MPa)	NFR (mm/min)	AFR (g/min)	SOD (mm)	SS (rpm)
350	5	450	2	75
		Estimated Ra (μm)	Experimental Ra (μm)	(%) Difference
		0,65	0,79	13,50

Table 11. Confirmation results for DoC (mm)

PP (MPa)	NFR (mm/min)	AFR (g/min)	SOD (mm)	SS (rpm)
350	5	450	14	75
		Estimated DoC (mm)	Experimental DoC (mm)	(%) Difference
		2,76	2,89	13,32

4. CONCLUSIONS

The Findings of this study are summarized as follows:

All of these parameters were found to be statistically significant for the machinability of Inconel Alloy 718 using AWJ (all p-values < 0.05). PP is found to be the most effective factor on Ra (42,37%) which is followed by NFR (% 26.16) and AFR (% 11.38) as shown in the percentages available in ANOVA Table. NFR is found to be the most effective factor on DoC (72.85%) which is followed by AFR (% 16.43) and SS (% 2.25) as shown in the percentages available in ANOVA Table. R2 values for Ra and DoC were calculated to be 96.8% and 96.1%, respectively. High level of material removal is possible with the AWJT process in a single pass without any production defects. This method is advantageous when compared to classical methods in terms of machining duration. It was possible to observe the level of effects of parameters and their results since the parameters selected was tested for low, medium and high levels. The difference between calculated and estimated Ra was found to be 13.50%, while the difference between calculated and estimated DoC was found to be 13.32%. It was found that Inconel Alloy 718 can be machined using AWJT as it is the case with conventional machining.

References

Ansari, A. I., & Hashish, M. (1995). Effect of abrasive waterjet parameters on volume removal trends in turning. *Journal of engineering for industry*, 117(4), 475-484.

Ay, M., Çaydaş, U., & Hascalik, A. (2010). Effect of traverse speed on abrasive waterjet machining of age hardened Inconel 718 nickel-based super alloys. *Materials and Manufacturing Processes*, 25(10), 1160-1165.

- Ay, M., Çaydaş, U., Haşçalık, A., (2013). Optimization of micro EDM drilling of inconel 718 superalloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66(5-8),1015-1023.
- Bhattacharya, S.K., Javaid, A., Lewis, M.H., Walbank, J. (1983). *Wear Mechanisms of Syalon Ceramic Tools when Machining Nickel-Based Materials*, *Metals Technology*, 10: 482-483.
- Bradley, E. (1988) *Super alloys A Technical Guide*, ASM International, USA, 1-29.
- Çaydaş, U., Ay, M., (2016). WEDM cutting of Inconel 718 nickel based superalloy effects of cutting parameters on the cutting quality. *Materiali in tehnologije*, 50(1),117-125.
- E. Lima, C. E. D. A., Lebrón, R., de Souza, A. J., Ferreira, N. F., & Neis, P. D. (2016). Study of influence of traverse speed and abrasive mass flowrate in abrasive water jet machining of gemstones. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83(1-4), 77-87.
- Escobar-Palafox, G. A., R. S. Gault, and K. Ridgway. (2012). Characterization of abrasive water-jet process for pocket milling in Inconel 718. *Procedia CIRP* 1: 404-408.
- Ezugwu, E. O., Wanga, Z. M., Machadop A. R. (1998). The Machinability of Nickel- Based Alloys: A Review, *Journal of materials Processing Technology*, Volume 86, Issues 1-3, 1-16.
- Field, M. (1968). *Machining Aerospace Alloy*, Iron and Steel Institute, Special Report 94, 151-160,.
- 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.
- Gür, A.K., Kaya, S., (2017). PTA Kaplamalarda Abrasive Aşınma Davranışının Değerlendirilmesinde Bir Taguchi Yaklaşımı. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(2),195-202.
- Haşçalık, A., Ay, M., (2013). CO₂ laser cut quality of Inconel 718 nickel based superalloy. *Optics & Laser Technology*, 48(),554-564.
- Karabulut, Ş., & Güllü, A. (2009). Dynamic Chip Breaker Design for Nickel-Base, Inconel 718, Alloy with Coated Carbide Tools Using Negative Angle Tool Holder. In *Solid State Phenomena* (Vol. 147, pp. 758-763). Trans Tech Publications.
- Kartal, F. (2016). A review of the current state of abrasive water-jet turning machining method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-11.
- Kartal, F., & Gökaya, H. (2015). Effect of abrasive water jet turning process parameters on surface roughness and material removal rate of AISI 1050 steel. *Materials Testing*, 57(9), 773-782.
- Kivak, T., Habali, K., & Şeker, U. (2012). The Effect of Cutting Paramaters on The Hole Quality and Tool Wear During The Drilling of Inconel 718. *Gazi University Journal of Science*, 25(2), 533-540.
- Özay, Ç., Ballıkaya, H., Savaş, V., (2016). Application of the Taguchi method to select the optimum cutting parameters for tangential cylindrical grinding of AISI D3 tool steel. *Materiali in tehnologije*, 50(1),81-87.
- Rahman, M., Seah, W.K.H., Teo, T.T., "The Machinability of Inconel 718", *Journal of Materials Processing Technology*, 63: 199-204 (1997).
- Savaş, V., Özay, Ç., Ballıkaya, H., (2016). Experimental investigation of cutting parameters in machining of 100Cr6 with tangential turn milling method. *Advances in Manufacturing*, 4(1),97-104.
- Taguchi, G. (1986). *Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes*.
- Yıldız, T., Gür, A.K., Aba, S., (2014). Examination of the Wear Behavior of Cu-Ni/B4Cp Composite by the Taguchi Method. *Materials Testing*, 54(11-12),1009-1014.



Numerical Solution of Thermal Residual Stress Analysis with Finite Difference Method of Functionally Graded Circular Plates

M. Didem DEMİRBAŞ*¹, M. Kemal APALAK¹

¹Erciyes University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering 38039 Talas, Kayseri, TURKEY

Başvuru/Received: 06/10/2017

Kabul/Accepted: 15/12/2017

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Abstract

In this study, thermal residual stress analysis of functionally graded circular plates (FGCP) carried out. Finite difference equations are used in solving Navier's equations of elasticity and Fourier's heat conduction equation. The grading along the plate was made along the surface of plate and it was assumed that the material properties changed according to the Mori-Tanaka approach. Grading along the plate was made in both radial and tangential directions. In this study, the effect of the coordinate derivatives of material properties was taken into consideration in both Fourier's heat conduction equation and Navier's equations of elasticity, unlike the other studies. As a result, when the materials compositions of FGCP were changed from ceramic-rich to metal-rich compositions, the stress levels were not affected considerably. The strain levels increased significantly when the metal compound in the material composition of FGCP was increased. FGCP are emphasized that the change of material properties due to two-dimensional significantly affect distributions of thermal strain and stress. In this study, it was emphasized that changing the radial and tangential direction of the compositional gradient exponents of FGCP subjected to heat flux along the outer edge significantly influences the strain and stress distributions.

Key Words

"Functionally graded circular plates, Finite difference methods, Thermal residual stress"

1. INTRODUCTION

The functionally gradient materials (FGMs) are one kind of the high technology materials that have been researched to decrease thermal stresses and to eliminate discontinuous stress concentrations (Noda, 1999). FGMs overcome the disadvantage of the conventional composites plates that have been used as thermal barriers in the space planes, ultra-super-hypersonic airplanes for the super-sonic transport, nuclear fusion reactors, and similar structures (Choules & Kokini, 1996). In many studies have focused thermo-elastic or plastic stress analyses on the one- or two-dimensional functionally graded plates, and these structures are assumed as a functionally graded composition variation through the thickness.

Recent studies have focused thermo-elastic or plastic stress analyses on the one- or two-dimensional functionally graded plates, and these structures were assumed functionally graded composition variations through the thickness.

Apalak & Demirbas (2013) analyzed the thermo-elastic response of functionally graded plates and adhesively bonded functionally graded rectangular and circular hollow plates independent subjected to an in-plane different heat flux. They expressed that type of in-plane heat flux affected heat transfer period and temperature levels, the residual thermal stresses were strongly dependent on the in-plane material composition gradient and could be decreased by altering in-plane material composition. Wang et al., (2004) researched the thermal shock resistance of FGMs. Their studies yielded explicit expressions for 1-D transient thermal conduction for a plate, shell and sphere. Thermal shock analysis of FGM plate exposed to different circumferential temperatures was performed with a finite element/finite different method.

Moosaie (2016) performed a nonlinear thermo-elastic analysis of a functionally graded thick-walled cylinder. He presented analytic solution of the non-linear heat conduction equation for a functionally graded thick-walled cylinder and obtained a temperature field using a perturbation technique. The exact solutions of elasticity equations were developed for incompressible elastic material, and stress results were obtained. Mahdavi et al., (2016) studied the thermo-mechanical behavior of functionally graded rotating discs. Their study was based on the variable material property theory and their theoretical results were compared with solutions obtained by the finite element method (FEM). The thermo mechanical properties were assumed to be constant and elastic-plastic problems were solved using the form of the elastic response. They emphasized that the method can be used to solve both elastic and elasto-plastic problems and that temperature-dependent material properties should be taken into account in the solution of the problem. Najibi and Talebitooti (2017) performed the transient thermo-elastic analysis of a thick hollow finite length cylinder made of two-dimensional functionally graded materials. Transient heat conduction and thermos-elastic equations were solved for the cylinder subjected to thermal loading using the FEM. They emphasized that the variation of the material distribution in the axial direction changes the temperature and stress distributions significantly. Burlayenko et al., (2017) developed a model for solving functionally graduated two-dimensional plates by plane-shape transformation using the FEM. When comparing the results with the literature, they emphasized that the developed finite element model gave very good results regarding temperature fields and thermally induced stress distributions. Swaminathan and Sangeetha (2017) conducted a comprehensive review of the various developments, applications, various mathematical material distributions, temperature profiling, modeling techniques and solution methods accepted for thermal analysis of functionally graded plates. Ghannad and Parhizkar Yaghoobi (2017) presented a thermal elastic analysis of the axially symmetric FGM cylinder subjected to pressure on the inner surface and heat flux on the outer surface. As a result, she stressed that the shear stress was effective on the cylinder edges and that the temperature and displacement fields changed depending on the length of the cylinder. Nowadays, fuel cell technology applies successfully FGMs to solid oxide fuel cells in order to reduce thermal expansion coefficient mismatch between electrolyte and anode examined inclusively five categories of fuel cells, and related studies (Iwasawa et al.,1997- Wang, et al., 2011) Fuel cells are popular examples that conductive and convective heat transfers, and mass transfer, multiple fluids flows moreover electrochemical reactions are experienced (Kakac, 2007, Ruys, 2001, Noda, 1997). Consequently, a tubular or planar design of a solid oxide fuel cell can experience in-plane or through-thickness heat transfer due to heat fluxes. Thus, an in-plane one- or two-dimensional functionally graded material distribution requires a theoretical investigation for the practical applications.

Many studies in the literature focus on functionally graded circular or rectangular plates and structures in one- or two- dimensions (through-thickness or radial direction) under thermal load. For numerical solutions, FEM was generally used as a solution method and functional grading was performed along the thickness. In this study, the thermal stress behavior of two-dimensional circular plates was investigated. The grading on the plate was made along the plane, not along the thickness. Two-dimensional thermo-elastic problem for plane strain and plane strain in numerical solution is solved by using FDM. In the equations used for the thermo-elastic solution, the effect of the directional dependence of the material properties is considered.

2. MATERIALS AND METHODS

In this problem, the FGCP have a material composition of two constituents, ceramic and metal, and the material composition is two-directional in the plate plane. In addition, the effect of the directional dependence of the material properties is taken into consideration in both Heat Transfer and Navier's Equations, unlike the other studies.

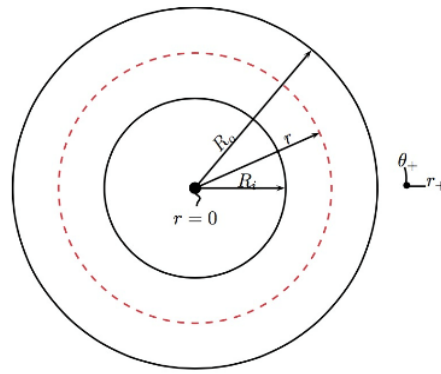


Figure 1: Functionally graded circular plate

2.1. Material Properties

In this study, it is assumed that homogeneous, isotropic grading is designed in the radial and tangential directions between the ceramic and metal phases of the FGCP. The volume fraction of the ceramic (c) phase in each position in the radial and tangential direction, respectively

$$V_c^r(\bar{r}) = \left(\frac{\bar{r}}{l_R}\right)^n \tag{1}$$

$$V_c^\theta(\theta) = (|\sin(p\theta)|)^m \tag{2}$$

n and m compositional gradient exponents along the radial and tangential directions, respectively, $\bar{r} = r - R_i$ is the radial distance from the inner edge of the circular plate, and $l_R = R_o - R_i$ is the circular plate length. R_i and R_o are the inner and outer radius of the circular plate, respectively. $p=0.5$ is a period of periodic functions. The ceramic volume fraction of the plate abides by the power law as (Nemat-Alla, 2003)

$$V_c(\bar{r}, \theta) = V_c^r(\bar{r})V_c^\theta(\theta) \tag{3}$$

for the metal volume fraction of the plate,

$$V_m(\bar{r}, \theta) = 1 - V_c(\bar{r}, \theta) \tag{4}$$

where r and θ are considered as distance along in-plane radial and tangential directions, respectively.

The thermal, physical and mechanical properties of the constituents of Ni and Al_2O_3 composite material are explained in Table 1.

Table 1: The thermal, physical and mechanical properties of metal (Ni) and ceramic (Al_2O_3) used (Materials Information Resource MatWeb, 2016)

Property	Unit	Ni	Al_2O_3
Density, ρ	kg/m ³	8880	3960
Thermal conductivity, k	W/m-K	60.5×10^{-3}	46×10^{-3}
Specific heat capacity, c_p	W-h/kg-K	0.11	0.21
Shear modulus, G	GPa	76	150
Bulk modulus, K	GPa	180	172
Coefficient of thermal expansion, α	1/C	6.6×10^{-6}	8.1×10^{-6}

The simple estimation method is the linear rule of the mixtures in which a material properties P at any point r in the graded region are determined.

$$P(r) = V_c(r)P_c(r) + V_m(r)P_m(r) \tag{5}$$

Tomota et al., (1976) offered a mixtures rule for the elasticity modulus as Wakashima & Tsukamoto (1991) makes statement necessitate that the overall thermal expansion coefficient (α) for a diphase material is connected the averaged bulk modulus (K) using the Levin (1967) relation. Other material properties have been accepted to change according to the Mori & Tanaka approach (1973).

2.2. Heat Transfer

In the transient two-dimensional Fourier’s heat conduction equation heat conductivity coefficient (λ), density (ρ), specific heat capacity (cp) varies in both radial and tangential directions,

$$\bar{\nabla}(\lambda \bar{\nabla} T) = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \tag{6}$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial \lambda}{\partial \theta} \frac{\partial T}{\partial \theta} + \frac{\lambda}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\lambda}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \tag{7}$$

T (r, θ , t) at the nodal point (i, j) with the coordinate (r, θ) or with respect to time t and the space variables (r, θ). Herewith, the heat transfer equation can be written in terms of difference equations as (for the internal grid points along i= [2: nr-1] and j= [2: nw-1]),

$$T_{i,j}^{k+1} = T_{i,j}^k + \frac{\Delta t}{(\rho c_p)_{i,j} \Delta r} (\lambda_{i+1,j} - \lambda_{i,j}) \frac{1}{\Delta r} (T_{i+1,j}^k - T_{i,j}^k) + \frac{\Delta t}{(\rho c_p)_{i,j} (r_{i,j})^2 (\Delta \theta)^2} (\lambda_{i,j+1} - \lambda_{i,j}) (T_{i,j+1}^k - T_{i,j}^k) + \frac{\lambda_{i,j} \Delta t}{(\rho c_p)_{i,j} r_{i,j} \Delta r} (T_{i+1,j}^k - T_{i,j}^k) + \frac{\lambda_{i,j} \Delta t}{(\rho c_p)_{i,j} (\Delta r)^2} (T_{i+1,j}^k - 2T_{i,j}^k + T_{i-1,j}^k) + \frac{\lambda_{i,j} \Delta t}{(\rho c_p)_{i,j} (r_{i,j})^2 (\Delta \theta)^2} (T_{i,j+1}^k - 2T_{i,j}^k + T_{i,j-1}^k) \tag{8}$$

for all grid points at i=1 and j= [1: nw],

$$T_{i,j}^{k+1} = T_{i,j}^k + \frac{\Delta t}{(\rho c_p)_{i,j} \Delta r} (\lambda_{i+1,j} - \lambda_{i,j}) \frac{1}{\Delta r} (T_{i+1,j}^k - T_{i,j}^k) + \frac{\Delta t}{(\rho c_p)_{i,j} (r_{i,j})^2 (\Delta \theta)^2} (\lambda_{i,j+1} - \lambda_{i,j}) (T_{i,j+1}^k - T_{i,j}^k) + \frac{\lambda_{i,j} \Delta t}{(\rho c_p)_{i,j} r_{i,j} \Delta r} (T_{i+1,j}^k - T_{i,j}^k) + \frac{\lambda_{i,j} \Delta t}{(\rho c_p)_{i,j} (\Delta r)^2} (-T_{i+3,j}^k + 4T_{i+2,j}^k - 5T_{i+1,j}^k + 2T_{i,j}^k) + \frac{\lambda_{i,j} \Delta t}{(\rho c_p)_{i,j} (r_{i,j})^2 (\Delta \theta)^2} (T_{i,j+1}^k - 2T_{i,j}^k + T_{i,j-1}^k) \tag{9}$$

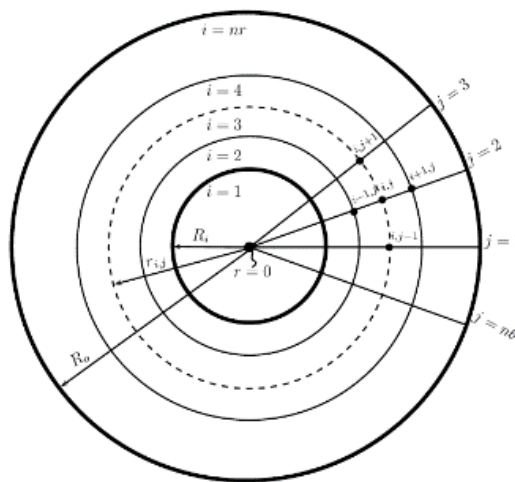


Figure 2:Finite difference grit of plate

for all grid points at i=nr and j= [1: nw],

$$T_{i,j}^{k+1} = T_{i,j}^k + \frac{\Delta t}{(\rho c_p)_{i,j} \Delta r} (\lambda_{i,j} - \lambda_{i-1,j}) \frac{1}{\Delta r} (T_{i,j}^k - T_{i-1,j}^k) + \frac{\Delta t}{(\rho c_p)_{i,j} (r_{i,j})^2 (\Delta \theta)^2} (\lambda_{i,j+1} - \lambda_{i,j}) (T_{i,j+1}^k - T_{i,j}^k) + \frac{\lambda_{i,j} \Delta t}{(\rho c_p)_{i,j} r_{i,j} \Delta r} (T_{i,j}^k - T_{i-1,j}^k) + \frac{\lambda_{i,j} \Delta t}{(\rho c_p)_{i,j} (\Delta r)^2} (-T_{i-3,j}^k + 4T_{i-2,j}^k - 5T_{i-1,j}^k + 2T_{i,j}^k) + \frac{\lambda_{i,j} \Delta t}{(\rho c_p)_{i,j} (r_{i,j})^2 (\Delta \theta)^2} (T_{i,j+1}^k - 2T_{i,j}^k + T_{i,j-1}^k) \tag{10}$$

this equations can be arranged on thermal equilibrium of that cell as follows: for all grid points at

$$i = [2: nr-1], j = 1 \text{ to } j - 1 \rightarrow nw \tag{11}$$

$$i = [2: nr-1], j = nw \text{ to } j + 1 \rightarrow 1 \tag{12}$$

are written.

2.2.1. Initial and Boundary Conditions

The initial temperature is given as $T(r,\theta)=298$ K at $t=0$, and thermal boundary conditions are given as:

$$q_i = q(R_i, \theta, t) \tag{13}$$

$$q_o = q(R_o, \theta, t) = 200KW/m^2 \tag{14}$$

Where q_i and q_o are inner and outer heat fluxes along the radial direction r , respectively. The boundary condition, the inner edge is subjected to adiabatic conditions while the outer boundary is subjected to heat flux. The initial temperature is taken as 298 K for the whole circular plate and the analysis is completed when the temperature reached 900 K at any point along the outer edge of the plate. The inner and outer radius of plate is 100 mm and 200 mm, respectively. FGCPs have a radial length $l=100$ mm and thickness $t=1$ mm. As the 1 mm plate thickness is much smaller than other dimensions, the stress and strain in the thickness direction were neglected and a 2-D analyses is conducted.

If the first boundary condition is adapted to the two-dimensional heat transfer equation, (along the outer edge of the circular plate ($r_{nr,j}= R_o$) with ($i=1, j = [1: nw]$))

$$\frac{(\rho c_p)_{i,j}}{\lambda_{i,j} \Delta t} (T_{i,j}^{k+1} - T_{i,j}^k) = \frac{2q_e}{\lambda_{i,j} \Delta r} + \frac{2}{(\Delta r)^2} (T_{i-1,j}^k - T_{i,j}^k) + \frac{1}{(\Delta \theta)^2} (T_{i,j+1}^k - T_{i,j}^k) + \frac{1}{(\Delta \theta)^2} (T_{i,j-1}^k - T_{i,j}^k) \tag{15}$$

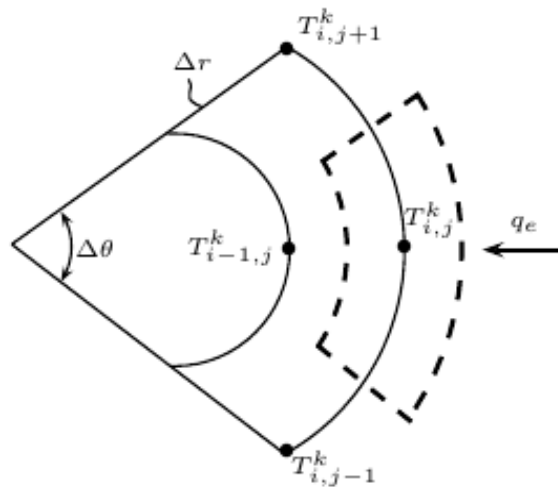


Figure 3: Outer edge of plate

If the second boundary condition is adapted to the two-dimensional heat transfer equation, (along the inner edge of the circular plate ($r_{nr,j}= R_i$) with ($i=1, j = [1: nw]$))

$$\frac{(\rho c_p)_{i,j}}{\lambda_{i,j} \Delta t} (T_{i,j}^{k+1} - T_{i,j}^k) = \frac{2q_f}{\lambda_{i,j} \Delta r} + \frac{2}{(\Delta r)^2} (T_{i+1,j}^k - T_{i,j}^k) + \frac{1}{(\Delta \theta)^2} (T_{i,j+1}^k - T_{i,j}^k) + \frac{1}{(\Delta \theta)^2} (T_{i,j-1}^k - T_{i,j}^k) \tag{16}$$

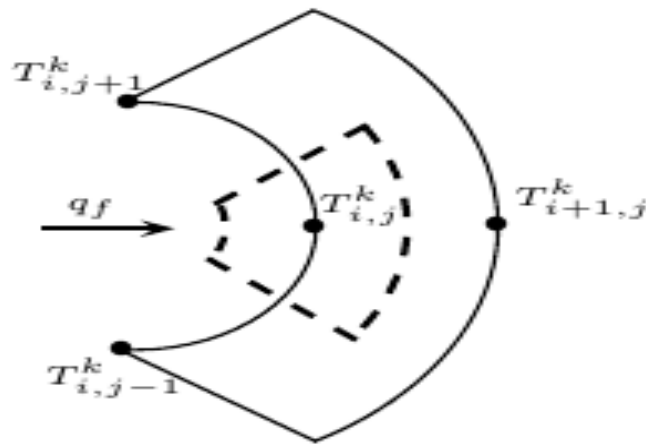


Figure 4: Inner edge of plate

2.3. Navier's Equations of Elasticity

Two-dimensional Navier's equations of elasticity in the radial and tangential directions are written as ($T=T(r,\theta,t)-T_o$ is the temperature difference)

$$2 \frac{\partial u}{\partial r} \frac{\partial \mu}{\partial r} + \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{u}{r} \right) \frac{\partial \lambda}{\partial r} + \frac{\lambda}{r} \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{\lambda}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\lambda}{r} \frac{\partial^2 v}{\partial r \partial \theta} + (2\mu + \lambda) \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} - \frac{\lambda}{r^2} u \left(\frac{1}{r^2} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r^2} \right) \frac{\partial \mu}{\partial \theta} - \frac{\mu}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\mu}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \theta^2} + \frac{\mu}{r} \frac{\partial^2 v}{\partial r \partial \theta} + \frac{2\mu}{r} \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{2\mu}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{2\mu}{r^2} u - 3\alpha T \frac{\partial \lambda}{\partial r} - 2\alpha T \frac{\partial \mu}{\partial r} - (3\lambda + 2\mu) T \frac{\partial \alpha}{\partial r} - (3\lambda + 2\mu) \alpha \frac{\partial T}{\partial r} = 0 \tag{17}$$

$$2 \frac{\partial u}{\partial r} \frac{\partial \mu}{\partial r} + \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{u}{r} \right) \frac{\partial \lambda}{\partial r} + \left(\frac{1}{r^2} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r^2} \right) \frac{\partial \mu}{\partial \theta} + \frac{(\lambda+2\mu)}{r} \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{(\lambda+3\mu)}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{(\lambda+\mu)}{r} \frac{\partial^2 v}{\partial r \partial \theta} + (\lambda + 2\mu) \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{\mu}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \theta^2} - \frac{(\lambda+2\mu)}{r^2} u - 3\alpha T \frac{\partial \lambda}{\partial r} - 2\alpha T \frac{\partial \mu}{\partial r} - (3\lambda + 2\mu) T \frac{\partial \alpha}{\partial r} - (3\lambda + 2\mu) \alpha \frac{\partial T}{\partial r} = 0 \tag{18}$$

In equations (17) and (18), the thermal stress equations are written for the entire plate by choosing the appropriate ones from the equations (19)-(30) for the finite difference equations with the first and second order derivatives (in the inner region and edges of the plate).

$$\left(\frac{\partial \varpi}{\partial r} \right)_{i,j} = \frac{\varpi_{i+1,j} - \varpi_{i,j}}{\Delta r} \tag{19}$$

$$\left(\frac{\partial \varpi}{\partial r} \right)_{i,j} = \frac{\varpi_{i,j} - \varpi_{i-1,j}}{\Delta r} \tag{20}$$

$$\left(\frac{\partial \varpi}{\partial \theta} \right)_{i,j} = \frac{\varpi_{i,j+1} - \varpi_{i,j}}{\Delta \theta} \tag{21}$$

$$\left(\frac{\partial \varpi}{\partial \theta} \right)_{i,j} = \frac{\varpi_{i,j} - \varpi_{i,j-1}}{\Delta \theta} \tag{22}$$

$$\left(\frac{\partial^2 \varpi}{\partial r^2} \right)_{i,j} = \frac{\varpi_{i+1,j} - 2\varpi_{i,j} + \varpi_{i-1,j}}{(\Delta r)^2} \tag{23}$$

$$\left(\frac{\partial^2 \varpi}{\partial \theta^2} \right)_{i,j} = \frac{\varpi_{i,j+1} - 2\varpi_{i,j} + \varpi_{i,j-1}}{(\Delta \theta)^2} \tag{24}$$

$$\left(\frac{\partial^2 \varpi}{\partial r^2} \right)_{i,j} = \frac{-\varpi_{i+3,j} + 4\varpi_{i+2,j} - 5\varpi_{i+1,j} + 2\varpi_{i,j}}{(\Delta r)^2} \tag{25}$$

$$\left(\frac{\partial^2 \varpi}{\partial \theta^2} \right)_{i,j} = \frac{-\varpi_{i,j+3} + 4\varpi_{i,j+2} - 5\varpi_{i,j+1} + 2\varpi_{i,j}}{(\Delta \theta)^2} \tag{26}$$

$$\left(\frac{\partial^2 \varpi}{\partial r^2}\right)_{i,j} = \frac{-\varpi_{i-3,j} + 4\varpi_{i-2,j} - 5\varpi_{i-1,j} + 2\varpi_{i,j}}{(\Delta r)^2} \tag{27}$$

$$\left(\frac{\partial^2 \varpi}{\partial \theta^2}\right)_{i,j} = \frac{-\varpi_{i,j-3} + 4\varpi_{i,j-2} - 5\varpi_{i,j-1} + 2\varpi_{i,j}}{(\Delta \theta)^2} \tag{28}$$

$$\left(\frac{\partial^2 \varpi}{\partial r \partial \theta}\right)_{i,j} = \frac{\varpi_{i,j+1} - \varpi_{i,j} - \varpi_{i-1,j+1} + \varpi_{i-1,j}}{\Delta r \Delta \theta} \tag{29}$$

$$\left(\frac{\partial^2 \varpi}{\partial r \partial \theta}\right)_{i,j} = \frac{\varpi_{i,j} - \varpi_{i,j-1} - \varpi_{i-1,j} + \varpi_{i-1,j-1}}{\Delta r \Delta \theta} \tag{30}$$

If the figures contain dark or colored areas, the figures should be checked on high quality, colorless laser printers to ensure that they can be printed properly. The figures used in the text of the paper are gray, only the images can be colored.

2.3.1. Initial and Boundary Conditions

The circular plate is fixed along all its edges ($u(r, \theta) = 0$ and $v(r, \theta) = 0$).

The material is completely ceramic (Al_2O_3) at the edge outer of the plate where $r = R_o$, and the material is completely metal (Ni) the inner edge of the plate ($r = R_i$). A one-dimensional grading is performed along radial direction with three different compositional gradient exponents of $n = 0.1$ (ceramic rich compound), 0.5, and 1.0 (linear change is from ceramic rich compound to metal rich compound).

FDM requires that the plate be divided into a grid of $n_r = 80 \times n_\theta = 240$ divisions along the coordinates r and θ , respectively. The temperature matrix obtained from the heat transfer solution is considered as the temperature difference in the Navier equations. The appropriate finite difference equations are selected for the internal points, edges and corners of the plate. The implicit difference equations of the stress analysis are coded, solved and post-processed graphically in MATLAB (Mathematical software, 2009).

3.RESULTS

As can be seen in Figure 6, as the compositional gradient exponent ('n') in the radial direction increases, the equivalent strain levels increase and the maximum strain areas expands. The reason for this increase is the increase in the metal volume ratio, which is less resistant to heat in the material composition. As the compositional gradient exponent ('m') in the angular direction increases, the equivalent strain levels do not change but the maximum strain areas around $\theta = 0^\circ$ are narrowed.

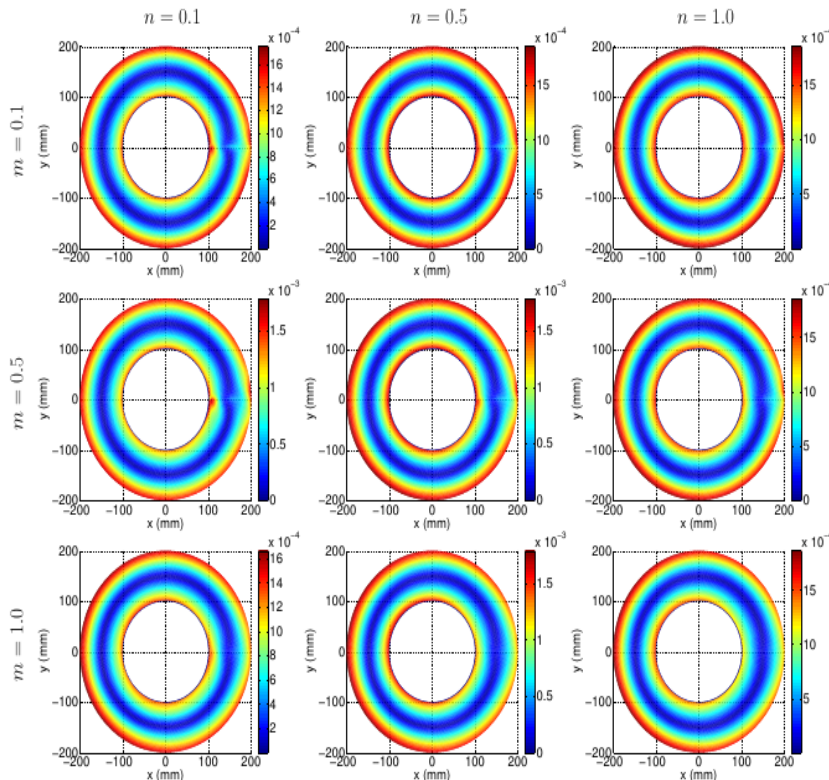


Figure 6: Distribution of the in-plane equivalent strain along the plate for different compositional gradients

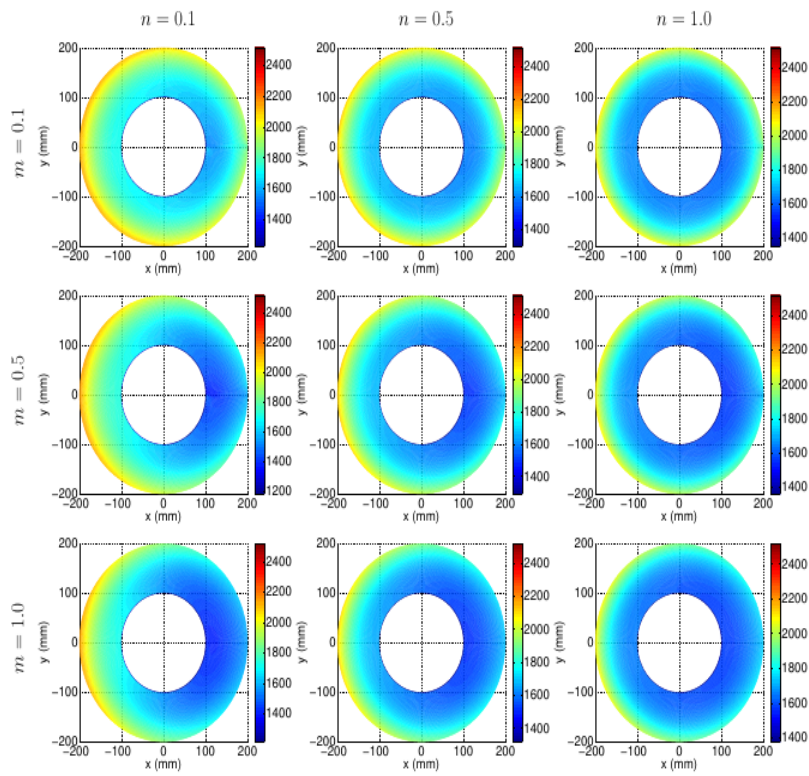


Figure 7: Distribution of the in-plane equivalent stress along the plate for different compositional gradients

As can be seen in Figure 8, the equilibrium stress levels do not change significantly as the compositional gradient exponent ('n') in the radial direction increases. However, the equivalent stress bands at maximum and medium levels are narrowing outward from the inside of the plate, around $\theta=180^\circ$. As the compositional gradient exponent value ('m') in the angular direction increases, the equivalent stress levels do not change but at $\theta=0^\circ$, the areas affected by the maximum and middle stress bands are symmetrically narrowed at the top and bottom of the plate.

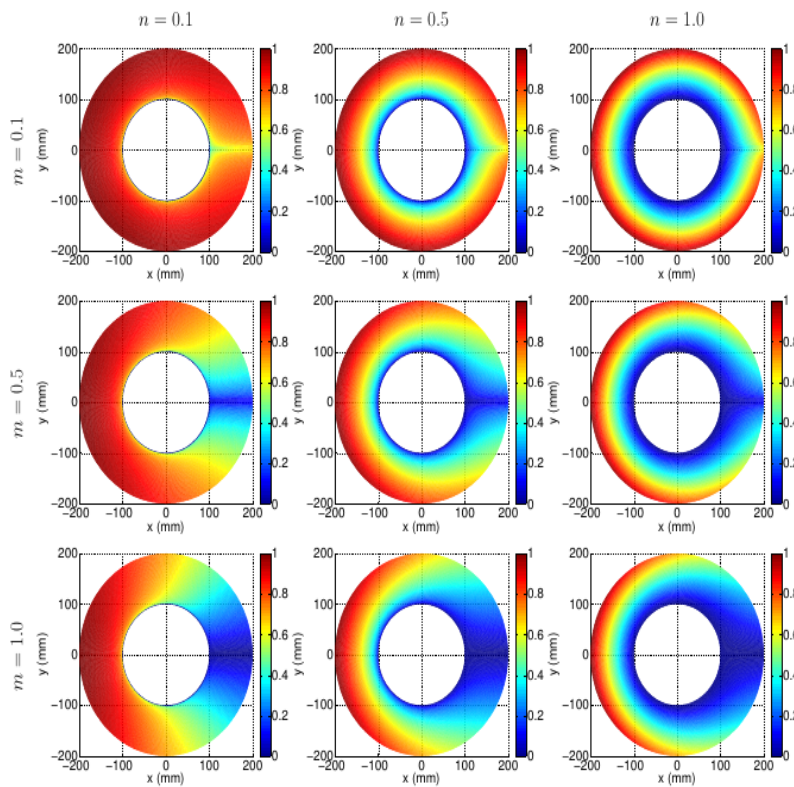


Figure 8: Distribution of the in-plane ceramic volume fractions along the plate for different compositional gradients

As shown in Figure 7, the equivalent stress distribution along the plate is dependent on the compositional gradient exponent. Therefore, the effectiveness of the compositional gradient exponent is important when the appropriate working conditions of the plate are determined.

4. CONCLUSIONS

In the theoretical thermal stress analysis, it is important to take into account the effect of coordinate derivatives of material properties and to grade the FGCP in two directional for optimum design.

REFERENCES

- Noda, N. (1999). Thermal stress intensity factor for functionally gradient plate with an edge crack. *Journal of Thermal Stresses*, 22(4-5), 477-512.
- Choules, B.D., & Kokini, K. (1996). Architecture of functionally graded ceramic coatings against surface thermal fracture. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 118(4), 522-528.
- Apalak, M.K., & Demirbas, M.D. (2013). Thermal residual stresses in adhesively bonded in-plane functionally graded clamped circular hollow plate. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 27(14),1590-1623.
- Wang, B.L., Mai, Y.W., & Zhang, X.H. (2004). Thermal shock resistance of functionally graded materials. *Acta Materialia*, 52(17), 4961-4972.
- Moosaie, A. (2016). A nonlinear analysis of thermal stresses in an incompressible functionally graded hollow cylinder with temperature-dependent material properties. *European Journal of Mechanics A/Solids*, 55, 212-220.
- Mahdavia, E., Ghasemib, A., & Akbari Alashtic, R. (2016). Elastic-plastic analysis of functionally graded rotating disks with variable thickness and temperature-dependent material properties under mechanical loading and unloading. *Aerospace Science and Technology*, 59, 57-68.
- Najibi, A., & Talebitooti, R., (2017). Nonlinear transient thermo-elastic analysis of a 2D-FGM thick hollow finite length cylinder. *Composites Part B: Engineering*, 111, 211-227.
- Burlayenko, V.N., Altenbach, H., Sadowski, T., Dimitrova, S.D., & Bhaskar, A. (2017). Modelling functionally graded materials in heat transfer and thermal stress analysis by means of graded finite elements. *Applied Mathematical Modelling*, 45, 422-438.
- Swaminathan, K., Sangeetha, D.M. (2017). Thermal analysis of FGM plates - A critical review of various modeling techniques and solution methods. *Composite Structures*, 160, 43-60.
- Ghannad, M., Parhizkar Yaghoobi, M. (2017). 2D thermo elastic behavior of a FG cylinder under thermomechanical loads using a first order temperature theory. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 149, 75-92
- Iwasawa C., Nagata, M., Seino, Y., & Ono, M. (1997). A study on anode materials and structures for SOFC. *Proceedings of the Fifth International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-V)*, 97(40), 626-634.
- Wang, Y., Chen, K.S., Mishler, J., Cho, S.C., & Adroher, X.C. (2011). A review of polymer electrolyte membrane fuel cells: Technology, applications, and needs on fundamental research. *Applied Energy*, 88(4), 981-1007.
- Kakac, S., Pramuanjaroenkij, A., & Zhou, X.Y. (2007). A review of numerical modeling of solid oxide fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32(7), 761-786.
- Ruys, A., Popov, E., Sun, D., Russell, C., & Murray, C. (2001). Functionally graded electrical/thermal ceramic systems. *Journal of the European Ceramic Society*, 21(10-11), 2025-2029.
- Noda, N. (1997). Thermal stresses intensity factor for functionally gradient plate with an edge crack. *J. Therm. Stresses*, 20, 373-387.
- Nemat-Alla, M. (2003). Reduction of thermal stresses by developing two-dimensional functionally graded materials. *International Journal of Solids and Structures*, 40(26), 7339-7356.
- Tomota, Y., Kuroki, K., Mori, T., & Tamura T. (1976). Tensile deformation of two-ductile-phase alloys: flow curves of $\alpha \rightarrow \gamma$ Fe-Cr-Ni alloys. *Mater. Sci. Eng.*, 24, 85-94.
- K. Wakashima, K., & Tsukamoto, H. (1991). Mean-field micromechanics model and its application to the analysis of thermomechanical behavior of composite materials. *Mater. Sci. Eng. A*, 146, 291-316.
- Levin, V.M. (1967). On the coefficients of thermal expansion of heterogeneous material. *Mech. Solids.*, 2, 88-94.

Mori, T., & Tanaka, K. (1973). Average stress in matrix and average elastic energy of materials with misfittings inclusions. *Acta Metallurgica*, 21(5), 517-574.

Materials Information Resource MatWeb [Online]. Available: <http://www.matweb.com>, 2016.

MATLAB. Mathematical software, version 2009a, TheMathWorks, 2009.



An Efficient DWT and EWT Feature Extraction Methods for Classification of Real Data PQ Disturbances

Mehmet İsmail GURSOY^{*1}, Seydi Vakkas USTUN², Ahmet Serdar YILMAZ³

¹Dept. of Electric and Energy, Vocational School of Technical Science, Adiyaman University, Adiyaman, TURKEY

²Depertman of Electrical and Electronics Engineering, Adiyaman University, Adiyaman, TURKEY

³Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Kahramanmaraş, TURKEY

Başvuru/Received: 09/11/2017

Kabul/Accepted: 05/12/2017

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Abstract

Determination and investigation of incidents affecting Power Quality (PQ) is very important for consumers. In this study, estimation of PQ events is obtained to determine the disturbances of PQ by using Empirical Wavelet Transform (EWT) and Discrete Wavelet Transform (DWT) methods and with this estimated parameter. PQ disturbances were examined with Support Vector Machine (SVM), Artificial Neural Network (ANN) and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) classification methods. Voltage signals (sag, swell, interruption, transient and normal) used in the classification of PQ disturbances were recorded from grid with the aid of a microcontroller based on device designed with a sampling frequency of 6.4 kHz. Classification consequences using Machine Learning Methods show that DWT outperforms over EWT for feature extraction processing and the classification accuracy is tabled. Classification by ANN and ANFIS through the use of conjecture parameters in PQ disturbances based on DWT Method has been recommended.

Key Words

Power Quality, Discrete Wavelet Transform, Empirical Wavelet Transform, Support Vector Machine, Artificial Neural Networks, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System”

1. INTRODUCTION

PQ Disturbances are non-stationary signals. In literature, in line with the standards, different methods are used to form a feature extract so as to locate the disturbances in the power system. These methods are frequently based on the aim of determining the time-frequency distribution through methods like Fourier Transform (FT), Short-Term Fourier Transform (STFT), S-Transform (ST), Wavelet Transform (WT), Hilbert Huang Transform (HHT) and Gabor Transform (GT). And they also depend on extracting determinant features representing the original sign through energy, entropy and various statistical processes and decreasing the data size.

FT is usually used in specifying the harmonic components in the signal. A window function is used in methods employing STFT, however STFT requires great amount of calculations (Kanirajan & Suresh, 2015). ST is a time-frequency analysis method like STFT and WT. In this method, a frequency domain to change the position of a special window function in the form of a Gaussian is being analysed (Stockwell et al., 2007). WT is used in non-stationary signals and it gives good results, but the performance of management decreases in signals with noise.

HHT has a wide usage in analysis of nonlinear and non-stationary signals. It consists of two main parts: EMD and HT (Zhan et al., 2012). EMD is separated into different frequency components called Intrinsic Mode Function (IMF). Having been separated into components by EMD, these signals can be analysed for their frequency, magnitude and phase's magnitude via Hilbert Transform (Huang et al., 1998). Lifting Based Wavelet Transform (LBWT) used PQ disturbances in the time domain analysis. LBWT method can analyze faster than WT method. (Yilmaz et al., 2007). GT is a developed function of STFT method. It is stated as the time-frequency analysis by getting the FT of the Window Function formed with a time variable to be selected as an entrance signal. GT, is a special form of the STFT that uses the Gaussian Window Function (Cho et al., 2010).

Teager Energy Operator (TEO) is used to analyse and detect the voltage disturbances. TEO-threshold algorithm is to calculate the sudden changes in the signal and therefore determine to PQ disturbances (Subasi et al., 2011).

ANN Systems are used as an effective method in classification problems for PQ disturbances (Gaouda et al., 1999). ANN is used in classification architecture based on complex feature parameters like frequency components, and waveform (Uyar et al., 2008).

As the literature is examined, PQ determination and classification are usually performed in laboratories or by means of computer programs. Data obtained in this way are usually pure and straighter than the real ones. The data used in this study, has been obtained from a real grid with the help of an active circuit having a microcontroller by recording it on an SD card.

In this study, determination for six different classes of PQ disturbances normal signal, sag, swell, transient, interruption and harmonic is fulfilled using real-data. This paper considers the classification of PQ disturbances based on feature extraction DWT and EWT using SVM, ANN and ANFIS.

2. DISCRETE WAVELET TRANSFORM (DWT)

WT is a time-frequency transform method which has recently been also used for analysis and assessment of PQ disturbances (Uyar et al., 2011). WT, as it is in FT, is used for the analysis of stationary and non-stationary signals (Santoso et al., 1996). The greatest feature of WT that separates it from FT is that while only frequency information is acquired in FT, but for the WT, the acquired data consist of sign, frequency and time information (Uyar et al., 2011). Therefore, analysis of systems whose frequency changes over time and their transient analysis can be done sensitively. One of the important properties of WT is that it has wide window width for low-frequencies while having narrow width for high-frequencies. Thus, it is possible to provide the optimum time-frequency resolution on over all frequency ranges (Daubechies, 1990).

WT is examined in two ways namely, continuous WT and DWT. Since Continuous Wavelet Transform (CWT) uses all scales in calculations and it gives many details about the signal calculation of coefficients of wavelets becomes difficult and time-consuming. In DWT, wavelet coefficients are calculated only for discrete time scales rather than all time scales. And thus, analysis can be done in shorter time and more easily. Therefore, DWT is used more often (Bayhan & Yilmaz, 2009).

For a given $f(t)$ signal, K level DWT, with both wavelet and scaling function, can be defined as (Uyar et al., 2011).

$$f(t) = \sum_n a_J(n)\phi(t-n) + \sum_n \sum_{j=0}^{J-1} d_j(n)2^{j/2}\psi(2^j t - n) \tag{1}$$

Where a_J , is the J th scaling coefficient, d_j , is j th wavelet coefficient, $\phi(t)$ is scaling function, $\Psi(t)$ is wavelet function, J represents the highest level of WT and t represents time. Scaling function and wavelet function are used to separate the sign in different resolution levels in multi-resolution decomposition. Wavelet function detail coefficients are a_j and scaling function approach

coefficients are d_j for the separated signal with WT.

$$a_{j+1}(n) = \sum_k h(m - 2n)a_j(n) \tag{2}$$

$$d_{j+1}(n) = \sum_m g(m - 2n)a_j(n) \tag{3}$$

where h denotes coefficients of the low pass filter and g denotes the coefficients of the high pass filter (Sebastian & DSa, 2015).

2.1. PARSEVAL'S THEOREM IN DWT APPLICATION

According to Parseval's Theorem, when the current running over a resistance of 1Ω is considered to be a discrete $f(n)$ signal, energy wasted on the resistance in the frequency region equals to the sum of the squares of the spectrum coefficients of FT.

$$\frac{1}{N} \sum_n |f(n)|^2 = \sum_k |c_k|^2 \tag{4}$$

Where, N is the number of samples and c_k denotes the spectrum coefficients of FT. To apply Parseval's Theorem to DWT method, we can obtain the following equation by utilising equation (1) and (4).

$$\frac{1}{N} \sum_t |f(t)|^2 = \frac{1}{N_J} \sum_k |a_J(k)|^2 + \sum_{j=1}^J \left(\frac{1}{N} \sum_k |d_j(k)|^2 \right) \tag{5}$$

Therefore, energy of the disturbed signal can be obtained by equation (5) where the first term on the right represents the approximate level of the discrete signal, while the second term states the detail level of the discrete signal this will be used in feature extraction process of the PQ disturbance (Gaing, 2004).

3. EMPIRICAL WAVELET TRANSFORM (EWT)

EWT proposed by Jerome Gilles (Gilles, 2013). This method is a time frequency technique to decompose based on information content of the signal using the adaptive wavelet. EWT first detect local maxima of the Fourier spectrum of the signal, then sections the spectrum based on the detected maxima, and lastly generates a corresponding wavelet filter bank. This method works in the following three steps,

1. Determine the frequency components of the applied signal using FFT.
2. The different modes are extracted by obtaining proper segmentation of the Fourier spectrum.
3. Apply scaling and wavelet functions corresponding to each detected segment. Segmentation of the Fourier spectrum is the most important step that provides the adaptability to this technique according to the analysed signal.

The empirical wavelets are defined as band pass filters. Littlewood-Paley and Mayer's wavelets are used as a band pass filters with the empirical wavelets $\Psi(w)$, and the empirical scaling function $\phi(w)$ can be expressed as follow (Gilles, 2013),

$$\psi_n(w) = \begin{cases} 1 & \text{if } (1 + \gamma)\Omega_n \leq |w| \leq (1 - \gamma)\Omega_{n+1} \\ \cos \left[\frac{\pi}{2} \beta(\gamma, \Omega_{n+1}) \right] & \text{if } (1 - \gamma)\Omega_{n+1} \leq |w| \leq (1 + \gamma)\Omega_{n+1} \\ \sin \left[\frac{\pi}{2} \beta(\gamma, \Omega_n) \right] & \text{if } (1 - \gamma)\Omega_n \leq |w| \leq (1 + \gamma)\Omega_n \\ 0 & \text{if } \textit{otherwise} \end{cases} \tag{6}$$

and,

$$\phi_1(w) = \begin{cases} 1 & \text{if } |w| \leq (1 - \gamma)\Omega_1 \\ \cos \left[\frac{\pi}{2} \beta(\gamma, \Omega_1) \right] & \text{if } (1 - \gamma)\Omega_1 \leq |w| \leq (1 + \gamma)\Omega_1 \\ 0 & \text{if } \textit{otherwise} \end{cases} \tag{7}$$

The function $\beta(x)$ is an arbitrary $C^k[(0,1)]$ function defined as

$$\beta(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq 1 \\ 0 & \text{if } x \leq 0 \\ \beta(x) + \beta(1-x) = 1 & \text{if } \forall x \in [0,1] \end{cases} \tag{8}$$

where $x = \frac{1}{2\gamma\Omega_n}(|\Omega| - (1-\gamma)\Omega_n)$, where, γ is a parameter to ensure no overlap between two consecutive transition areas

Many functions satisfy these properties, the wide used in the literature is

$$\beta(x) = x^4(35 - 84x + 70x^2 - 20x^3) \tag{9}$$

The EWT can be defined for the classic wavelet transform. The detailed coefficients are obtained by the inner product with the empirical scaling function as given below

$$W_x(n,t) = x(t), \psi_n = IFFT(X(w) \times \psi_n(w)) \tag{10}$$

The approximation coefficients are obtained by the inner product with the scaling function as given below,

$$W_x(1,t) = x(t), \phi_1 = IFFT(X(w) \times \phi_1(w)) \tag{11}$$

Where $X(w)$ represents the FFT of the $x(t)$ signal.

4. MACHINE LEARNING TOOLS

4.1. Support Vector Machine (SVM)

For data classification and regression issues, SVM is a very efficient method. SVM can be used in many data regression and recognition issues and can be used to the issues of dependency forecasting and estimation of data and building intelligent machines (Xiong et al., 2015).

SVM can prevent the problems of misperception of dimension, local minimum and over learning in the classical technique. Furthermore, it is successfully used in most of the classification issues (Xiong(2) et al., 2015). SVM is used for statistical learning method for the classification of patterns which is based on structural risk minimization technique.

Compared to the other classical techniques, SVM provides better performance like ANN and Bayesian classifier. In addition, for PQ disturbances classification, SVM is an appropriate method (Ray & Kishor, 2014).

According to the training data $(x_1, y_1), \dots, (x_l, y_l)$, $x \in R^M$, $y_i \in \{-1, +1\}$ for two class issue, the decision function of, $\text{sgn}((w^T x_i) + w_0)$ construct by SVM with the maximum margin, in which w_0 represent bias term and w represents vector of the separating hyperplane. $1/|w|$ formula is the calculation of the distance of the point nearest to the hyperplanes -1 and $+1$. $2/|w|$ is the definition of the separating margin (Fig.1) (Naderian & Salemnia, 2015).

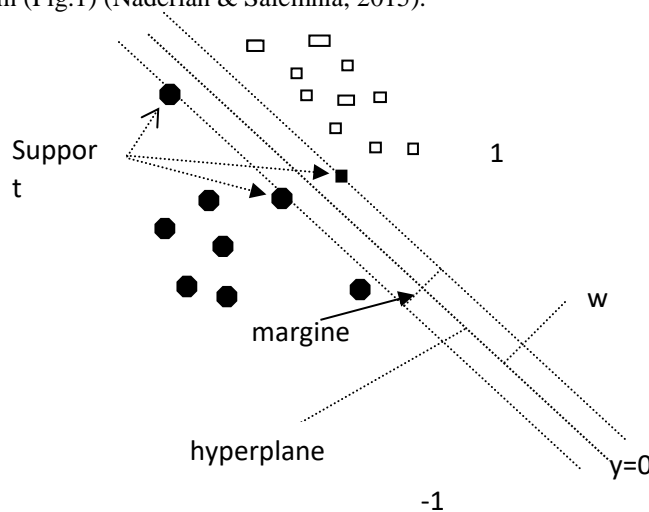


Figure 1. SVM Classification

Besides the linear classification, by using kernel function, SVM can be used in nonlinear classification as well. The nonlinear classification function ϕ is used for mapping the data x into a high dimensional feature space, in which the linear classification is possible. Thus, the nonlinear function is;

$$f(x) = \text{sgn} \left(\sum_{ij=1}^m \alpha_i y_i K(x_i, x_j) + b \right) \tag{12}$$

In which $K(x_i, x_j)$ represent the kernel function $K(x_i, x_j) = \phi(x_i) \phi(x_j)$. The functions below are the mostly used kernel function;

- a. Linear
- b. Sigmoid
- c. Polynomial
- d. Gaussian Radial Basis Function

Nowadays, for selecting the most suitable kernel function and for setting the kernel function, there is no proper method appropriate for deciding the value of error penalty. Since the most suitable setting of the SVM parameter affects the detection accuracy directly, the proper kernel function and other parameters can be got by using ant colony optimization algorithm (Abdoos et al., 2016).

The PQ disturbances classification is succeed by using of a kernel function like Gaussian Radial Basis function (Naderian & Salemnia, 2015).

4.2. Artificial Neural Network (ANN)

ANNs are information processing units developed by paying attention to the biologic neural system. The most important feature of it is that it can learn from experiences. ANNs have been developed for the aim of automatically fulfilling the abilities of human brain like deriving and forming new information and discovering by means of learning (Hamdy et al., 2013). A neural network is made up of connected cells in layers and the networks connecting these layers (Fig.2).

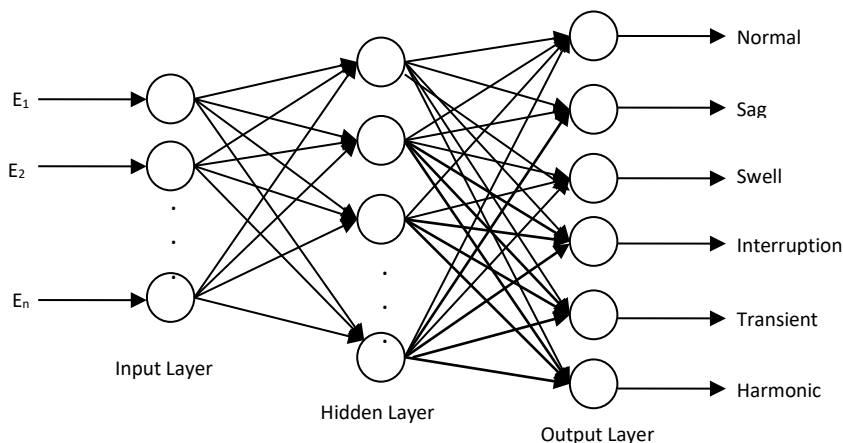


Figure 2. ANN classifier structure.

4.3. ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS)

ANFIS is to unify the Fuzzy System(FS) and NN. Offered by S. R. Jang,1993 (Jang, 1993). ANFIS is a hybrid system combination the learning capabilities of NN and inference abilities of fuzzy logic that have the capability to self modify their membership function to achieve a required performance (Lin & Lee, 1991). ANFIS implements a Takagi-Sugeno type learning algorithm, the least squares method and backpropagation algorithm are used together. Sugeno type learning consists of two steps. First step, input values are generated and appropriate result parameters are accepted by least squares method. In the second step, the backpropagation algorithm is used. The parameters are regenerated and the parameters except for the result parameters are replaced. Takagi-Sugeno-type input layer, fuzzification layer, pre-rule layer is the same as Mamdani type. The rules are normalized on the fourth layer. The fifth layer is the function layer, and finally the values from the other nodes in the sixth layer are summed and the output value is calculated (Sumathi & Surekha, 2010)

Figure 3 find out the architecture of the ANFIS of nine for DWT and eleven for EWT inputs and one output.

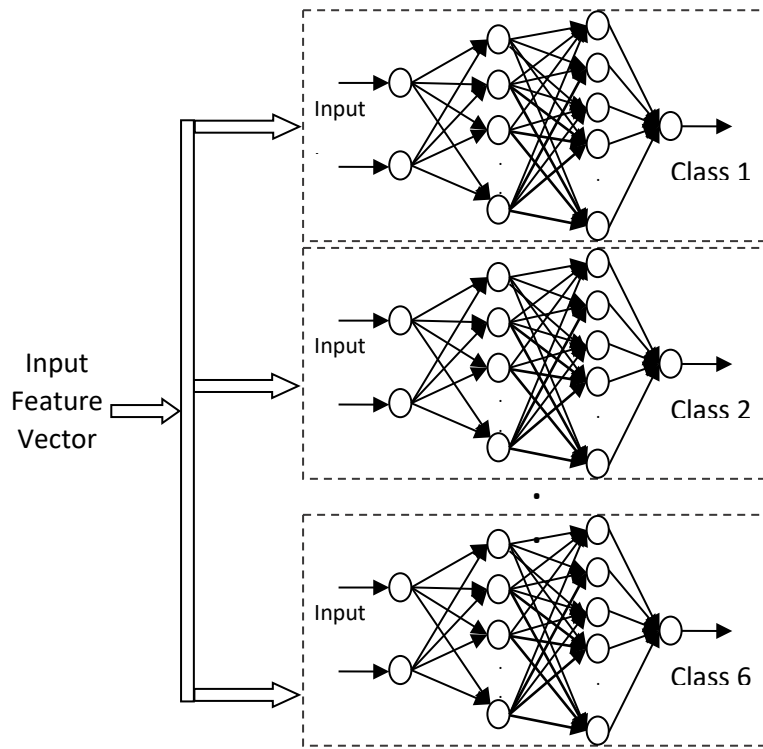


Figure 3. ANFIS classifier structure.

5. FEATURE EXTRACTION AND CLASSIFICATION

5.1. Data Set

This study differs from other studies that data is not produced by computer. Data used in PQ disturbances' Classification were recorded by directly measuring at different companies and at different times. Voltage values have been measured by a grid voltage monitoring device developed on a microcontroller base, and then they were recorded on an SD card. Recorded voltage values have been obtained at a 6,4kHz sampling frequency. Signal has been recorded on to the memory stick so as to include all PQ disturbances in periods of 10. Statistical analyses were carried out with total 1280 data, with 128 data in each of 10 periods.

5.1. FEATURE EXTRACTION

Each Coefficient of WT can be separated from their own energy levels and their frequency period. Ranges of frequency bands in High-Resolution WT Decomposition are given in Table 1.

Decomposition Levels	Frequency Range (Hz)
d1	3200-1600
d2	1600-800
d3	800-400
d4	400-200
d5	200-100
d6	100-50
d7	50-25
d8	25-12,5
d9	12,5-6,25
a9	12,5-6,25

Table 1. Ranges of frequency bands in High-Resolution Decomposition.

WT coefficients can be used to relate the energies obtained by using Perseval’s Theorem to every PQ disturbances in voltage signals.

In this study, Haar Function is chosen as the wavelet function. Wavelet Haar made it possible to have less work load and faster analyses. Coefficients for nine levels have been acquired by using WT with Haar Function. Energy levels are obtained through WT Coefficients and Perseval’s Theorem.

PQ bozulmaları yüksek frekans içerdiğinden, EWT yönteminde, giriş fonksiyonu üç IMF bileşenine ayrılmıştır. IMF sinyallerinin variance, mean, median, kurtosis ve rms istatistiksel parametreleri hesaplanarak özellik vektörü elde edilmiştir.

In the EWT method, the input function is decomposed into three IMF components, since PQ impairments contain high frekans. The feature vector is obtained by calculating the variance, mean, median, kurtosis and rms statistical parameters of the IMF signals.

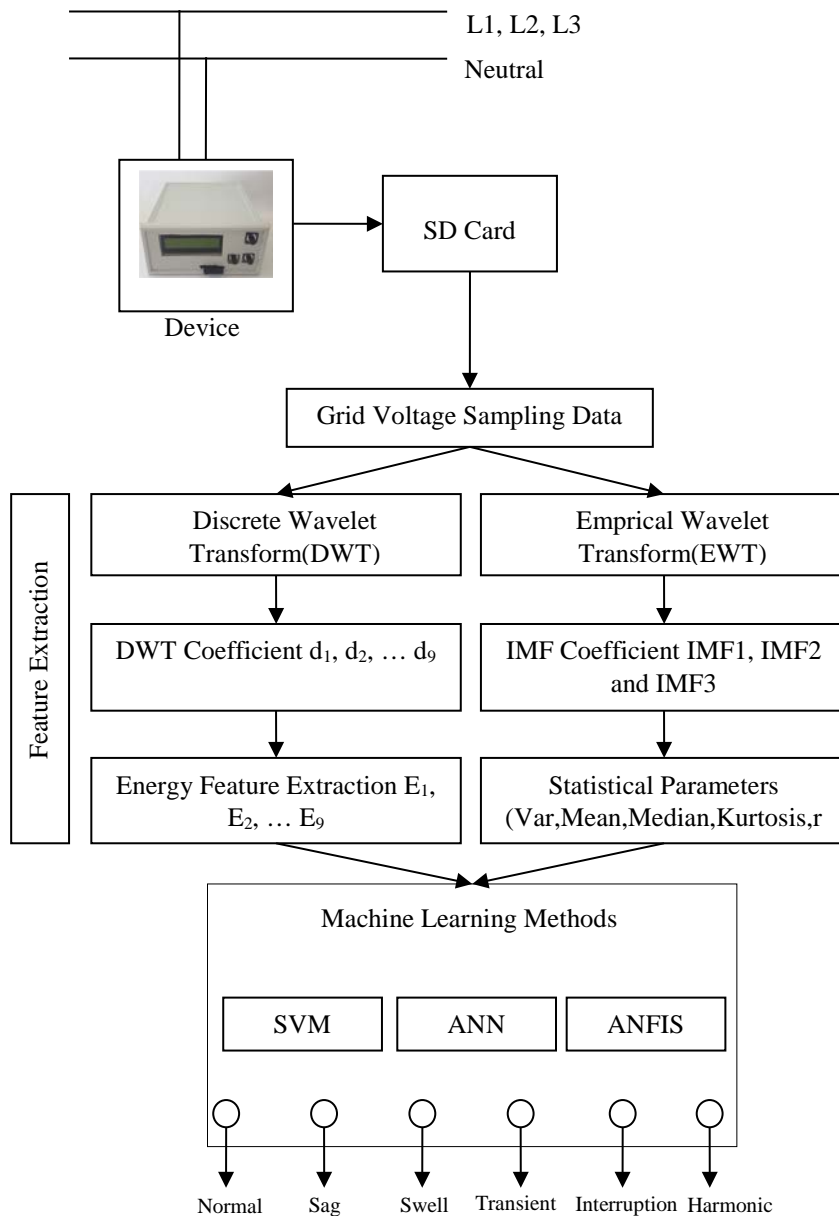


Figure 4. Proposed methodology for the classification of PQ disturbances.

5.2. CLASSIFICATION

PQ disturbance classifications have been applied by using MATLAB Statistical Pattern Recognition Toolbox (Eristi et al., 2010). When the SVM classification method is trained, independent parameters regularise kernel function parameters σ and constant C conclude by user. A known method adjustment parameters is to use cross-validation to choose the best parameters from a pre-chosen set (Ekici, 2009). It is shown that SVM gives better outputs, after cross-validation test when the values of σ and C are chosen as bigger than respectively to be 0.8 and 100. For this reason, the optimum values are selected as $\sigma = 1$ and $C = 1000$ which gives the best outputs. Radial Bases Function (RBF) are selected for kernel function (Ekici, 2009).

In the ANN classification method, nine energy levels calculated by the Parseval Theorem using the DWT coefficients and fifteen parameters of EWT's statistical analysis have been taken as input. A hidden layer with 11 neurons has been used. Output layer has six neurons because of six different PQ disturbances. Classification algorithm that has been developed is shown in Figure 4.

Sugeno type fuzzy model was used for the ANFIS classification method. First, the most suitable parameters are calculated using the least squares method. These parameters were improved by the backward algorithm and the best result parameters were obtained. As shown in Figure 3, the ANFIS architecture used nine inputs for the input vector DWT and fifteen inputs for the EWT. Output layer was classified separately for each PQ disturbances.

In the ANFIS classification method, least square methods and combination of backpropagation are used adjustment the parameters of the membership functions verification the Sugeno type fuzzy system to best follow the given input – output data. Output levels have been determined as six levels PQ disturbances.

6. RESULTS

In this study, two different feature extraction methods (DWT and EWT) have been used. Firstly, With the EWT feature extraction method, three higher IMF components have been calculated. The feature vectors have been obtained by using statistical parameters (Variance, Mean, Median, Kurtosis and rms) in IMF signals. Secondly, the commonly used haar function in the DWT method was chosen. Wavelet Haar made it possible to have less work load and faster analyses. Coefficients for nine levels have been calculated by using Wavelet Transform with Haar Function. Energy levels have been obtained through Parseval's Theorem. These feature vectors have been classified as PQ disturbances using SVM, ANN and ANFIS methods.

In the obtained data, while the x-axis shows time, y-axis is voltage amplitude over per unit. The samples have been recorded for 10 periods of 200 milliseconds with the developed grid monitoring device. Real time PQ disturbances, DWT - Energy levels feature vector and EWT - statistical parametrics feature vector graphs are plotted with the MATLAB software

6.1. NORMAL SIGNAL

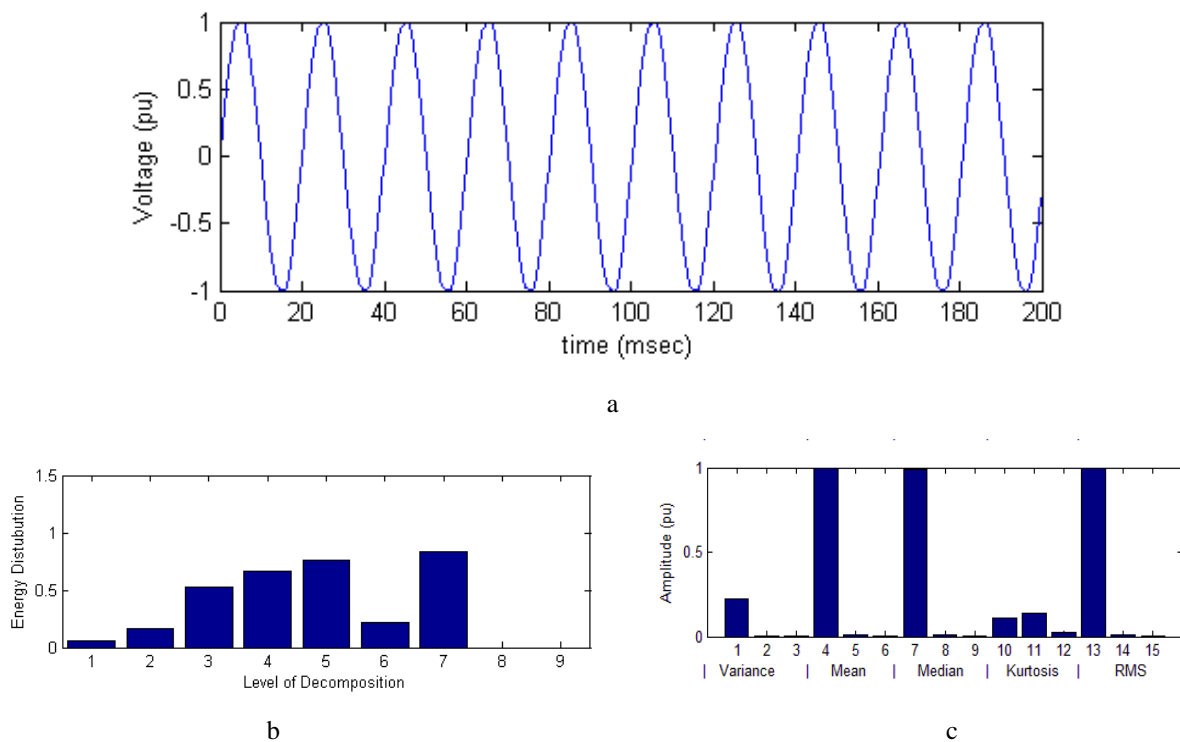


Figure 5. a. Normal signal waveform, b. Energy Distribution for 9 decomposition levels for normal, c. The statistical parameters of EWT.

In Figure 5a, normal signals and energy decomposition for normal signals when no PQ disturbances occurrence can be seen. Figure 5b shows the DWT energy levels for the normal signal and Figure 5c shows the distribution of the EWT statistical parameters for the normal signal. Normal signals have been classified as a reference to other PQ disturbances.

6.2. SAG SIGNAL

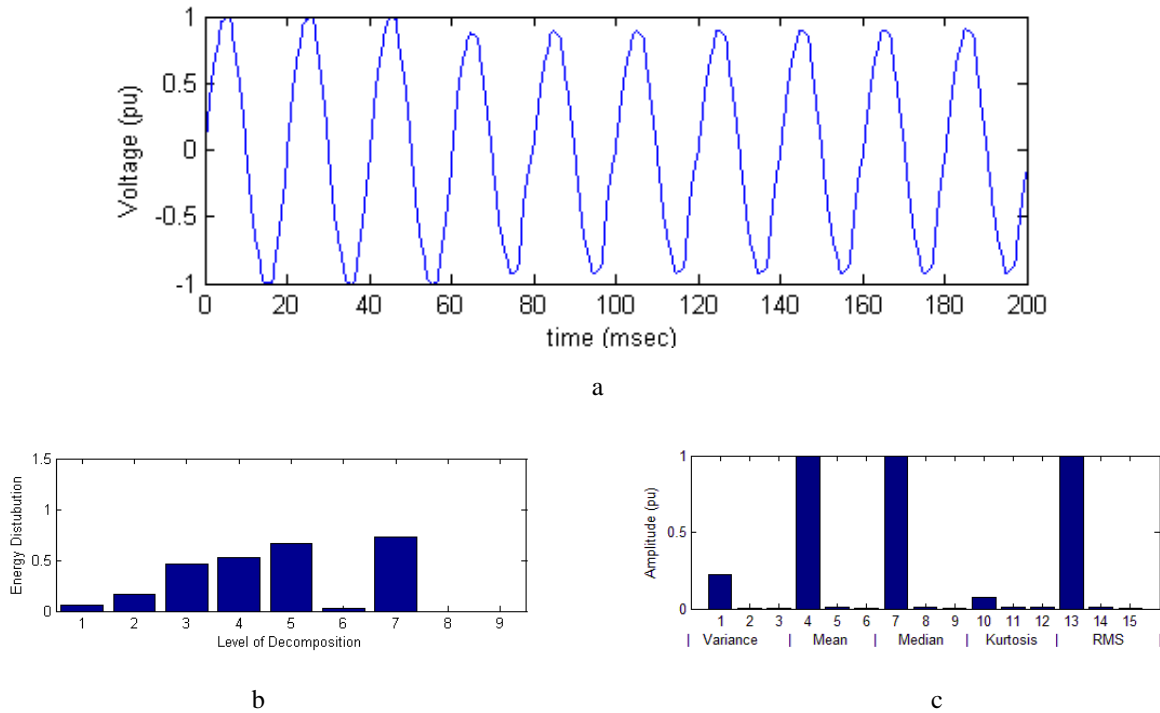


Figure 6. a. Sag signal waveform, b. Energy Distribution for 9 decomposition levels for sag, c. The statistical parameters of EWT.

Sag is referred to as short time changes in Power systems where the voltage range is between 10 milliseconds and 1 minute. As a result of a 10% decrease in the amplitude of the voltage a sag occurs (Fig 6a). As a consequence of the the sag in the grid, it is seen that a decrease takes place in P3, P4, P5 ve P7 energy levels when they are compared to the normal levels (Fig. 6b). Variance and Kurtosis statistical methods show that sag disturbance accordance with the normal signals are different levels (Fig.6c).

6.3. SWELL SIGNAL

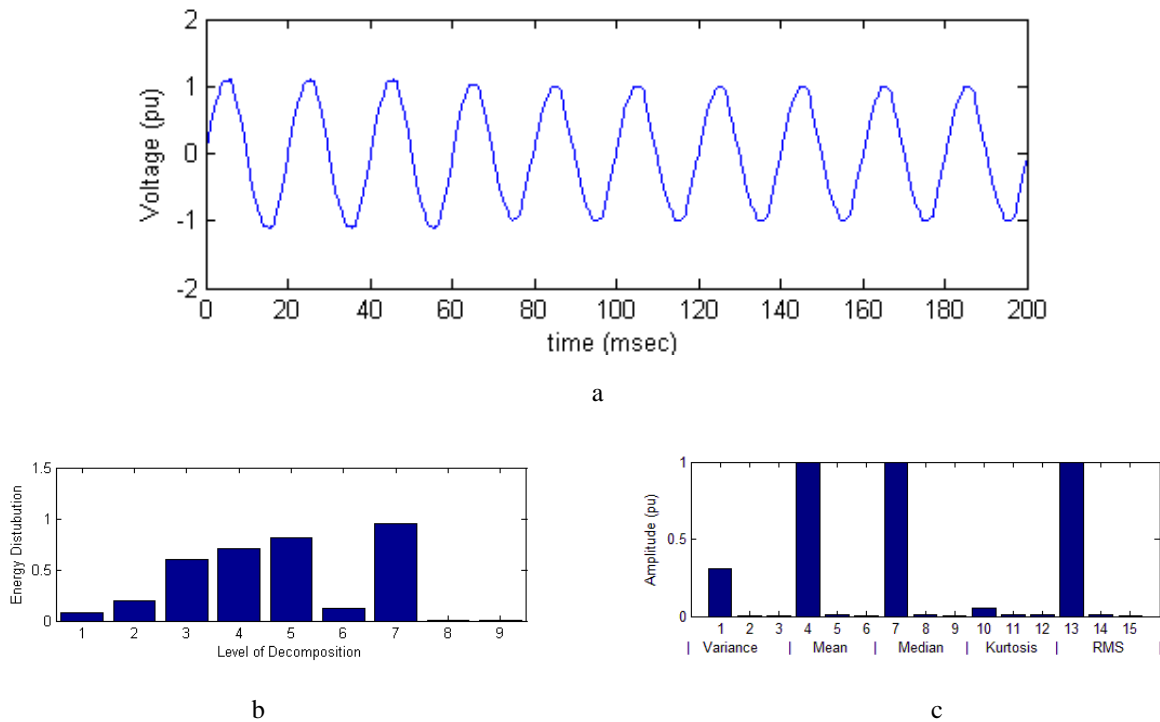


Figure 7. a. Swell signal waveform, b. Energy Distribution for 9 decomposition levels for swell, c. The statistical parameters of EWT.

The SWELL event takes place at a voltage magnitude of 10 milliseconds to 1 minute, with a short 10% increase in the amplitude of the signals(Fig. 7a). As a result of the the swell in the grid, it was seen that increases took place in P3, P4, P5 ve P7 energy levels (Fig 7b). Variance and Kurtosis statistical methods show that transient disturbance accordance with the normal signals have different levels(Fig 7c).

6.4. TRANSIENT SIGNAL

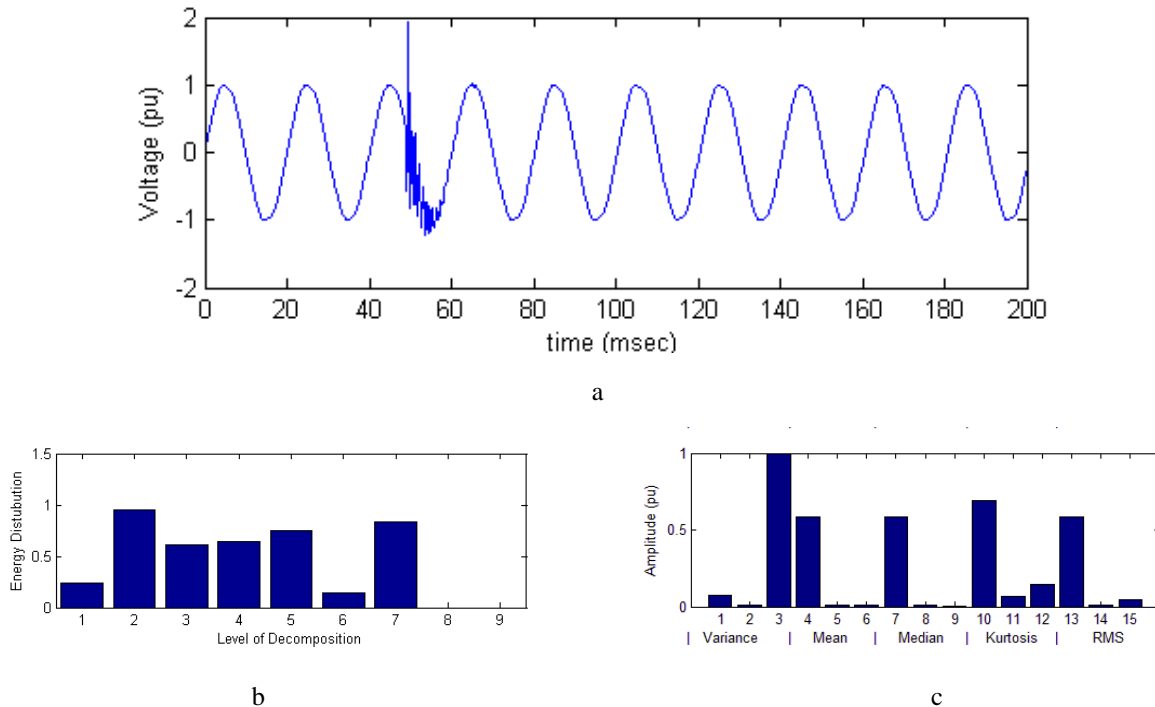


Figure 8. a. Transient signal waveform, b. Energy Distribution for 9 decomposition levels for transient, c. The statistical parameters of EWT.

Temporary disturbances like beats can last from 50 nanosecond to 1 millisecond, and they can reach sudden high voltgate values (Fig. 8a). Transient, especially occuring in condensator switching and harmonic disturbances. Transient disturbances show a large change in the energy levels P2, P3, P4, P5 and P7 shown in Figure 8b. It is seen in Figure 8b that especially P2 energy rises to high values. Variance, Mean, Median, Kurtosis, and rms statistical methods show that transient disturbance accordance with the normal signals are different levels. Especially L3,L4,L7,L10,L11,L12 and L13 statistical parameters are different values (Fig. 8c).

6.5. INTERRUPTION SIGNAL

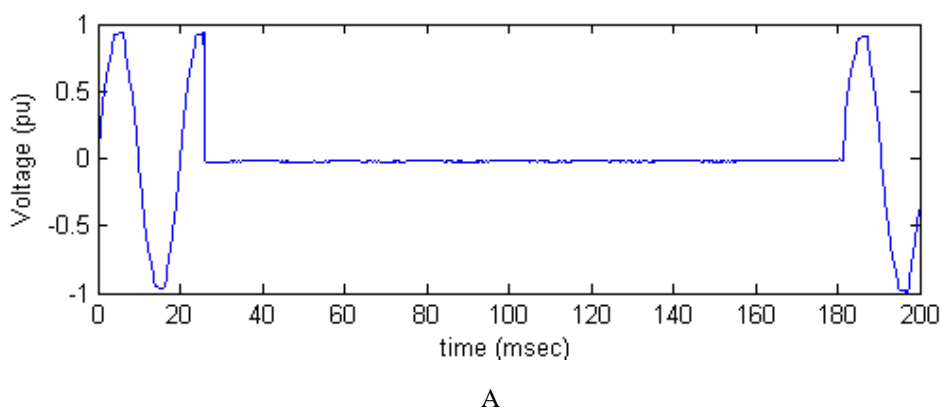


Figure 9. a. Interruption signal waveform, b. Energy Distribution for 9 decomposition levels for interruption, c. The statistical parameters of EWT.

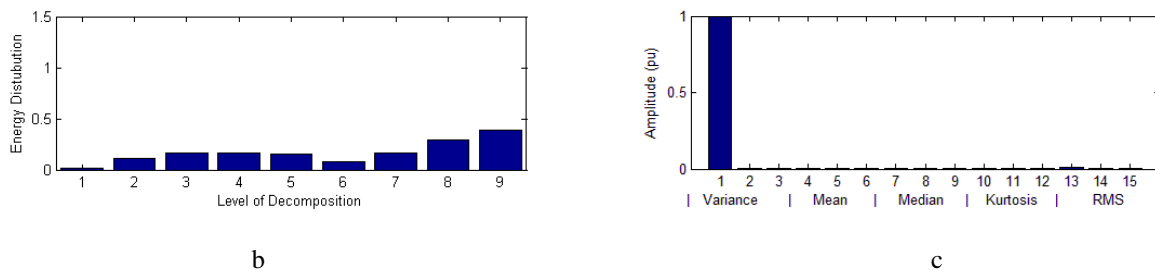


Figure 9.(cont.) a. Interruption signal waveform, b. Energy Distribution for 9 decomposition levels for interruption, c. The statistical parameters of EWT.

Interruption can occur because of power system failures and as a result of malfunctioning of control systems. These interruptions can last from 0,5 period to 1 minute (Fig. 9a). As a result of interruption happening at the grid, values of energy distribution has greatly decreased. Especially L1 variance istatistical parameter different level of normal signal’s level (Fig. 9b, 9c).

6.6. HARMONIC SIGNAL

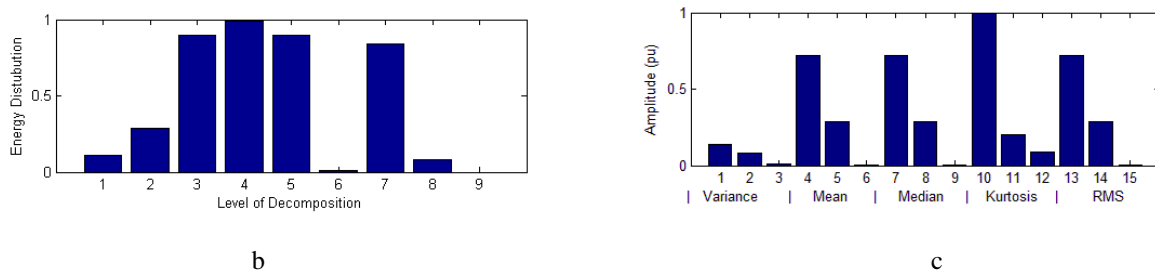
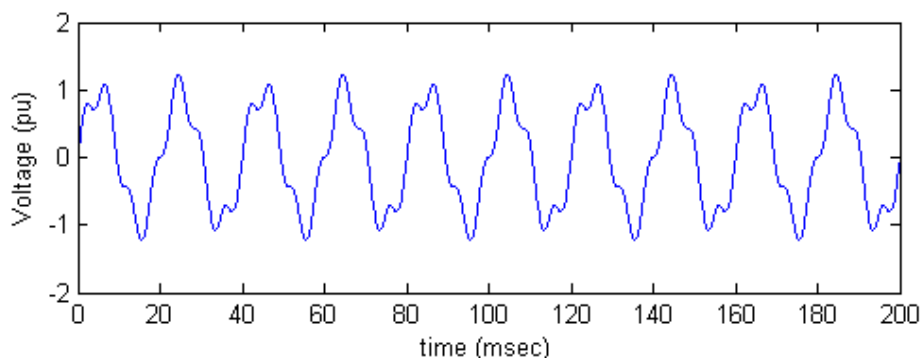


Figure 10. a. Harmonic signal waveform, b. Energy Distribution for 9 decomposition levels for harmonic, c. The statistical parameters of EWT.

Harmonics is a destructive effect taking place as an over and over compound of sinusoidal voltage and again has a sinusoidal form. Semi-conductor components can be ranked as one of the most important reasons. Since harmonic PQ disturbances rarely happens on grid voltages, data belonging to these PQ disturbances have been produced by MATLAB (Figure 10a). Analyses has been conducted by producing harmonic signals with changing THD values between 8 and 15. The DWT analyzes showed that the resulting energy levels P3, P4, P5, P7 and P8 differed from the normal signals. (Fig.10b). Variance, Mean, Median, Kurtosis, and rms statistical methods show that harmonic disturbance accordance with the normal signals are different levels. Especially L1,L4,L5,L7,L8,L10,L11,L13 and L14 statistical parameters are different values from normal signal’s statistical parameters (Fig. 10c).

Each PQ disturbance have been analysed with nine Level DWT and fiveteen level statistical parametrs of EWT. Six different PQ disturbances, and the frequencies of the acquired results and their amplitudes were all examined according to IEEE standards (IEEE, 1995).

Results obtained through classification method are seen in Table 2 and Table 3. Totally 150 data sets were used for training. 70 data sets were used for testing.

Table 2. Performance Evaluation of different Machine Learning Methods using DWT.

Disturbance	Total	SVM		ANN			ANFIS		
		Correctly Classified	Accuracy (%)	Total	Correctly Classified	Accuracy (%)	Total	Correctly Classified	Accuracy (%)
Normal	20	19	95	20	20	100	20	20	100
Sag	10	10	100	10	10	100	10	10	100
Swell	10	9	90	10	10	100	10	10	100
Transient	10	10	100	10	10	100	10	10	100
Interruption	10	10	100	10	10	100	10	10	100
Harmonic	10	10	100	10	10	100	10	□□	100
Overall Accuracy (%)		97,50			100			100	

Table 3. Performance Evaluation of different Machine Learning Methods using EWT.

Disturbance	Total	SVM		ANN			ANFIS		
		Correctly Classified	Accuracy (%)	Total	Correctly Classified	Accuracy (%)	Total	Correctly Classified	Accuracy (%)
Normal	20	20	100	20	19	95	20	20	100
Sag	10	10	100	10	10	100	10	10	100
Swell	10	9	90	10	10	100	10	9	90
Transient	10	10	100	10	10	100	10	9	90
Interruption	10	10	100	10	10	100	10	9	90
Harmonic	10	10	100	10	10	100	10	□□	100
Overall Accuracy (%)		98,33			99,16			95	

7. CONCLUSION

In this study; two different feature vectors were obtained and classification was done to determine and evaluate the disturbances of PQ. The energy distributions of the coefficients obtained by the DWT method are determined and the first feature vector is calculated. The second feature vector was obtained by calculating the statistical parameters of the IMF components obtained by the EWT method. Although the size of the feature vector obtained by the DWT method is small, it is seen that the ability to distinguish the PQ disturbances signals is quite high. This shows that the feature extraction algorithm is based on reliable basis. In addition, if the feature vector is small in size, it seems that the classifier will reduce the complexity and hence the processing time.

It is seen that DWT - ANN and DWT - ANFIS methods are effective and determinative in classification analysis using real data.

REFERENCES

Abdoos, A. A., Mianaei, P. K. & Ghadikolaei M. R. (2016). Combined VMD-SVM based Feature Selection Method for Classification of Power Quality Events. Applied Soft Computing. 38. 637-646. doi: 10.1016/j.asoc.2015.10.038

Bayhan,S. & Yılmaz, D. (2009). Güç Sistemlerinde meydana gelen dalga şekli bozukluklarının dalgacık dönüşümü yardımıyla tespiti. Technological Applied Sciences. 4(2). 151-162

Cho, S.H., Jang, G. & Kwon, S.H. (2010). Time Frequency Analysis of Power Quality Disturbances via the Gabor – Wigner Transform. IEEE Transactions on Power Delivery. 25(1). doi: 10.1109/TPWRD.2009.2034832

Daubechies, I. (1990). The wavelet transform time frequency localization and signal analysis. IEEE Trans. On information Theory. 36(5). 961-1005. doi: 10.1109/18.57199

- Dugan, R.C., McGranaghan, M.F., Santoso, S. & Beaty, H.W.(2004). *Electrical Power Systems Quality* (2th ed.). New York
- Ekici, S. (2009). Classification of power system disturbances using support vector mashines. *Expert Systems with Applications*. 36(6). 9859-9868. doi: 10.1016/j.eswa.2009.02.002
- Eristi, H., Ucar, A. & Demir, Y. (2010). Wavelet-based feature extraction and selection for classification of power system disturbances using support vector mashines. *Electric Power Systems Research*. 80(7). 743-752. doi: 10.1016/j.epr.2009.09.021
- Gaing, Z.L. & Huang, H.S. (2003). Wavelet-based Neural Network for Power Disturbance classification. *Power Engineering Society General Meeting*. 1621-1628. doi: 10.1109/PES.2003.1267398
- Gaing, Z.L. (2004). Wavelet – Based Neural Network for Power Disturbance Recognition and Classification. *IEEE Transactions on Power Delivery* 19(4). 1560-1568. doi: 10.1109/TPWRD.2004.835281
- Gaouda, A.M., Salama, M.M.A., Sultan, M.R. & Chikhani, A.Y. (1999). Power Quality detection and classification using wavelet-multiresolution signal decomposition. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 14(4). 1469-1476. doi: 10.1109/61.796242
- Gilles, J. (2013). Emprical Wavelet Transform, *IEEE Transactions on Signal Processing*. 61(16). 3999-4011. doi: 10.1109/TSP.2013.2265222
- Hamdy,A., Abdelaziz, A. Y. & Badi, M. A. (2013). Recognition of Power Quality Events Using Artificial Neural Networks. *International Journal on Power Engineering and Energy (IJPEE)*. 4(1). 348-352. doi: 10.12986/IJPEE.2013.004
- Huang, E.N., Shen, Z., Long, S.R, Wu, M.C., Shih,H.H, Zheng, Q., Yen, N.C., Tung, C.C. & Liu, H.H. (1998). The Emprical mode decomposition and the Hilbert Spectrum for nonlinear and non-statinary time series analysis. *Proc. R.Soc. Lond. A*, 454. 903-995.
- IEEE std. 1159-1995: IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.
- Jang, R. (1993). ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. *IEEE Transactions on System*, 23(3). 665-685. doi: 10.1109/21.256541
- Kanirajan, P. & Suresh Kumar, V. (2015). Power Quality Disturbance Detection and Classification Using Wavelet and RBFNN. *Applied Soft Computing*. 35. 470-481. doi: 10.1016/j.asoc.2015.05.048
- Lin, C.T. & Lee, C.S.G. (1991). Neural-Network-Based Fuzzy Logic Control and Decision System. *IEEE Transactions on Computers*. 40(12). 1320-1337. doi: 10.1109/12.106218
- Naderian, S. & Salemnia, A. (2015). Detection and Classification of Power-Quality Events Using Discrete Gabor Transform and Support Vector Mechine. *The 6th International Power Electronics Drive Systems and Technologies Conference (PEDSTC2015)*. Tehran, Iran. 544-549. doi: 10.1109/PEDSTC.2015.7093333
- Ray, P.K. & Kishor, N. (2014). Optimal Feature and Decision Tree-Based Classification of Power Quality Disturbances in Distributed Generation Systems. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*. 5(1). 200-208. doi: 10.1109/TSTE.2013.2278865
- Santoso, S., Powers, E.J., Grady,W.M. & Hofman,P. (1996). Power Quality assessment via wavelet transform analiysis. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 11(2). 924-930. doi: 10.1109/61.489353
- Sebastian, P. & DSa, P.A. (2015). Implementation of a Quality Signal Classification System using Wavelet based Energy Distribution and Neural Network. *International Conferance on Power and Advanced Control Engineering*. 157-161. Doi: 10.1109/ICPACE.2015.7274935
- Stockwell, R.G., Monsinha, L. & Lowe, R.P. (1996). Localization of the complex spectrum: the S transform. *IEEE Transactions on Signal Processing*. 44(4). 1056-1063. doi: 10.1109/78.492555
- Subasi, A., Yilmaz, A.S. & Tufan, K. (2011). Detection of Generated and Measured Transient Power Quality Events Using Teager Energy Operator. *Energy Conversion and Management*, 52(4). 1959–1967. doi: 10.1016/j.enconman.2010.11.006
- Sumathi, S. & Surekha, P. (2010). *Computational Intelligence Paradigms Theory and Applications using Matlab*. CRC Press Taylor & Francis Group, NewYork, USA.
- Uyar, M., Yıldırım, S. & Gencoglu, M.T. (2008). An Effective wavelet – based feature extraction method for classification of power quality diturbance signals. *Electric Power Systems Research*, 78(10). 1747-1755. doi: 10.1016/j.epr.2008.03.002

Uyar, M., Yıldırım, S. & Gençoğlu, M.T. (2011). Güç Kalitesindeki Bozulma Türlerinin Sınıflandırılması için bir örüntü tanıma yaklaşımı. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimimarlık Fakültesi Dergisi. 26(1). 14-56.

Xiong, S., Xia, L. & Bu, L. (2015). An Effective S-transform Feature Extraction Method for Classification of Power Quality Disturbance Signals. Chinese Automation Congress (CAC). 1555-1560. doi: 10.1109/CAC.2015.7382748

Xiong, S., Xia, L. & Bu, L. (2015). Classification of Composite Power Quality Disturbance Using Support Vector Mashines. Chinese Automation Congress (CAC). 1522-1527. doi: 10.1109/CAC.2015.7382742

Yilmaz, A.S., Subasi, A., Bayrak, M., Karsli, V.M. & Ercelebi, E. (2007). Application of lifting based wavelet transforms to characterize power quality events. Energy Conversion and Management. 48(1). 112–123. doi: 10.1016/j.enconman.2006.05.003

Zhan, W., Xiangjun, Z., Xiaoxi, H. & Jingying, H. (2012). The multi-disturbance complex power quality signal HHT detection technique. Innovative Smart Grid Technologies Asia, Tianjin, 2012. doi: 10.1109/ISGT-Asia.2012.6303259



Çok Boyutlu Dalga Denklemleri için Geri Adımlamalı Sınır Değer Kontrolü

Boundary Backstepping Control for Multi-Dimensional Wave Equations

Aziz SEZGİN*¹

¹*İstanbul Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE*

Başvuru/Received: 12/05/2017

Kabul/Accepted: 26/11/2017

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Öz

Bu çalışmada seçilen bazı kararsız çok boyutlu dalga denklemleri geri adımlamalı sınır değer kontrol kuramı ile kararlı hale getirilmiştir. Bu amaçla bir boyutlu geri adımlamalı kontrol teorisinden yola çıkılarak çok boyutlu sistemler için kontrolcü tasarımı yapılmış ve hedef sistemler Lyapunov kararlılık analizi ile incelenmiştir. Her boyut için sistemin bir ucundan tutturulup diğer ucundan kontrol uygulandığı düşünülmüştür. Böylelikle iki boyutlu bir sistem için iki adet, üç boyutlu bir sistem için üç adet ve n boyutlu bir sistem için de n adet kontrolcü tasarlanmıştır. Kararsız sistemin üstel kararlı bir hedef sisteme dönüştürülebilmesi için Volterra/Felholm tipi dönüşümler kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Geri adımlamalı Kontrol, Dağılım parametrelili sistemler, çok boyutlu dalga denklemi”

Abstract

In this study, we consider the problem of the stabilization of chosen unstable multi-dimensional wave equations by using boundary backstepping control theory. For this purpose, we design boundary backstepping controllers inspired by the 1-D unstable wave equation stabilization procedure and the target systems are considered by using Lyapunov stability procedure. We assume that one side of the boundary is hinged and the other side is controlled for each direction. Thus, we design two controllers for 2-D domain, three controllers for 3-D domain and “n” controllers for n-D domain. Generalized Volterra/Fredholm type transformations are used to map the unstable systems to an exponentially stable system.

Key Words

“Backstepping Control, Distributed parameter systems, multi dimensional wave equation”

1. GİRİŞ

Kısmi diferansiyel denklemler için geri adımlamalı sınır değer kontrolü bir boyutlu sistemler için literatürde bir çok çalışmada başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Krstic ve Smyshlyayev (2003)'te bir boyutlu ısı denklemi için dört farklı kontrol tasarımına rastlanmaktadır. Yine Krstic ve Smyshlyayev (2008), Krstic ve diğerleri (2008) ve Krstic (2011)'de birçok farklı kısmi diferansiyel denklem sistemleri için farklı tasarımlar yapılmıştır. Sezgin ve Krstic (2015)'te akış kaynaklı zar titreşimlerinin kontrolü bir boyutlu dalga denklemine uygulanmıştır. Krstic ve Smyshlyayev (2008) ve Bekiaris-Liberis ve Krstic (2010)'da gecikmeli zamandan bağımsız lineer sistemler için gecikme sorununu yok etmek amacıyla iç içe geçmiş birinci mertebeli bir boyutlu hiperbolik bir kısmi diferansiyel denklem yardımı ile kontrolcü tasarlanmıştır. Yine literatürde buna benzer tek boyutlu kısmi diferansiyel denklemler için tasarlanmış birçok çalışmaya rastlanabilmektedir. Fakat iki ve daha çok boyutlu kısmi diferansiyel denklemler için geri adımlamalı sınır değer kontrolü bir çalışmada (Krstic ve Smyshlyayev (2008)), bir kestirim(estimator) aracılığı ile bulunmaktadır.

Bu çalışmada, bahsedilen geri adımlamalı sınır değer kontrolü çalışmalardan ilham alınarak bir boyut sistem seçilmiş bazı çok boyutlu dalga denklemleri için genişletilmiştir. Her bir boyutta bir ucundan tutturulmuş diğer ucundan kontrolcü uygulanmış çok boyutlu dalga denklemlerinin geri adımlamalı sınır değer kontrolü ile ilgilenilmiştir. Her boyutta bir uçta bir kontrolcü tasarlandığından n boyutlu bir sistem için n adet kontrolcü kullanılmalıdır. İleriki çalışmalarda tasarlanılan kontrolcü dalga denklemlerini ilgilendiren sistemlerde kullanılabileceği gibi aynı zamanda da gecikmeli kaskad sistemlerde de kullanılabilir bir hal alacaktır ki literatürde bu alanda Bekiaris-Liberis ve Krstic (2010) ve (2011) gibi birçok çalışmaya rastlamak mümkündür.

Öncelikle kolaylıkla anlaşılabilmesi için basit bir iki boyutlu dalga denklemi ile başlanmıştır. Burada temel amaç kararsız bir sistemi hedef bir kararlı sistem gibi hareket ettirebilecek kontrolcüyü elde etmektir. Bu amaçla hedef sistemin kararlılığı da Lyapunov Yöntemi ile ileriki bölümlerde verilmiştir

2. İKİ VE ÇOK BOYUTLU DALGA DENKLEMİNİN GERİ ADIMLAMALI KONTROLÜ

2.1. Bir ucu serbest bir ucu sönümlü iki boyutlu dalga denkleminin kontrolü

Aşağıdaki gibi bir ucu serbest ve diğer ucundan eyleyici etkisi altında iki boyutlu bir dalga denklemi göz önüne alınsın;

$$u_{tt}(x, y, t) = u_{xx}(x, y, t) + u_{yy}(x, y, t) \quad (1)$$

$$u_x(0, y, t) = u_y(x, 0, t) = u_x(x, 0, t) = u_y(0, y, t) = 0, \quad (2)$$

$$u_x(1, y, t) = -c_1 u_t(1, y, t), \quad (3)$$

$$u_y(x, 1, t) = -c_1 u_t(x, 1, t), \quad (4)$$

burada $c_1 > 0$. (1)-(4) sistemine aşağıdaki gibi bir dönüşüm uygulansın.

$$w(x, y, t) = u(x, y, t) + c_0 \int_0^x u(\xi, y, t) d\xi + c_0 \int_0^y u(x, \eta, t) d\eta \quad (5)$$

(5) dönüşümü (1)-(4) sistemine uygulandığında sistemi yönlendirmek istediğimiz hedef sistem

$$w_{tt}(x, y, t) = w_{xx}(x, y, t) + w_{yy}(x, y, t) \quad (6)$$

$$w_x(0, y, t) = w_y(0, y, t) = c_0 w(0, y, t), \quad (7)$$

$$w_x(x, 0, t) = w_y(x, 0, t) = c_0 w(x, 0, t), \quad (8)$$

$$w_x(1, y, t) = w_y(1, y, t) = -c_1 w_t(1, y, t), \quad (9)$$

$$w_x(x, 1, t) = w_y(x, 1, t) = -c_1 w_t(x, 1, t), \quad (10)$$

olur ki (6)-(10) sistemi kararlılık analizinde ispatlanacağı üzere üstel kararlıdır. Burada c_0 küçük değerler için de seçilebilir. (5) dönüşümünü zamana ve konum değişkenlerine göre türevlenirse sırasıyla aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

$$w_{tt}(x, y, t) = u_{tt}(x, y, t) + c_0 u_{xt}(x, y, t) + c_0 \int_0^x u_{yyt}(\xi, y, t) d\xi + c_0 u_{yt}(x, y, t) + c_0 \int_0^y u_{xxt}(x, \eta, t) d\eta \quad (11)$$

$$w_{xx}(x, y, t) = u_{xx}(x, y, t) + c_0 u_{xt}(x, y, t) + c_0 \int_0^y u_{xxt}(x, \eta, t) d\eta \quad (12)$$

$$w_{yy}(x, y, t) = u_{yy}(x, y, t) + c_0 u_y(x, y, t) + c_0 \int_0^x u_{yy}(\xi, y, t) d\xi \quad (13)$$

Elde edilen (11)-(13) denklemleri (6) denkleminde yerlerine yazılırsa $x = 1$ ve $y = 1$ için aşağıdaki kontrol kuvvetleri elde edilir.

$$u_x(1, y, t) = -c_0 u(1, y, t) - c_1 u_t(1, y, t) - c_1 c_0 \int_0^1 u_t(\xi, y, t) d\xi, \quad (14)$$

$$u_y(x, 1, t) = -c_0 u(x, 1, t) - c_1 u_t(x, 1, t) - c_1 c_0 \int_0^1 u_t(x, \eta, t) d\eta. \quad (15)$$

Böylelikle iki boyutlu sistem için elde edilen (14)-(15) kontrolcülere ile (1)-(4) sistemi üstel kararlı (6)-(10) denklem sistemi gibi davranır. Burada ilk iki terim sanki bir oransal türev(PD) kontrolcü gibi davranır. Son terim ise geri adımlamalı kontrolcü terimidir. Farklı uygulamalarda bu terimlere klasik kontrol teorilerindeki gibi farklı terimler eklenebilir ya da çıkarılabilir. Bu tasarımcıya kalmış bir durumdur. Örneğin (7)-(8) denklemlerinde eşitlik sıfıra eşit alınabilirdi. Ya da farklı bir söylemle büyük c_0 değerlerinde $x = 0$ 'da $w_x(0, y, t) = c_0 w(0, y, t)$ terimi $w(0, y, t) = 0$ gibi davranır. Böylece büyük c_0 değerlerine gerek duymamaktadır.

2.2. Kelvin-Voigt sönümlü iki boyutlu dalga denkleminin kontrolü

Aşağıdaki gibi bir Kelvin-Voigt sönümlü iki boyutlu bir dalga denklem sistemi göz önüne alınsın;

$$u_{tt}(x, y, t) = u_{xx}(x, y, t) + u_{yy}(x, y, t) + du_{xxt}(x, y, t) + du_{yyt}(x, y, t) \quad (16)$$

$$u_x(0, y, t) = u_y(x, 0, t) = u_x(x, 0, t) = u_y(0, y, t) = 0, \quad (17)$$

$$u(1, y, t) = U_1(y, t), \quad (18)$$

$$u(x, 1, t) = U_2(x, t), \quad (19)$$

burada d küçük bir pozitif sabittir. (16)-(19) sistemine aşağıdaki gibi bir dönüşüm uygulansın.

$$w(x, y, t) = u(x, y, t) + \int_0^x k(x, \xi) u(\xi, y, t) d\xi + \int_0^y l(y, \eta) u(x, \eta, t) d\eta \quad (20)$$

Burada $k(x, \xi)$ ve $l(y, \eta)$ fonksiyonları çekirdek fonksiyonlardır. (20) dönüşümü (16)-(19) sistemine uygulandığında sistemi yönlendirmek istediğimiz hedef sistem

$$w_{tt}(x, y, t) = w_{xx}(x, y, t) + w_{yy}(x, y, t) + dw_{xxt}(x, y, t) + dw_{yyt}(x, y, t) - c_0 w(x, y, t) - c_0 w_t(x, y, t) \quad (21)$$

$$w_x(x, 0, t) = w_y(x, 0, t) = w_x(0, y, t) = w_y(0, y, t) = 0, \quad (22)$$

$$w(x, 1, t) = w(x, 1, t) = w(1, y, t) = w(1, y, t) = 0. \quad (23)$$

olur ki (21)-(23) sistemi üstel kararlıdır. Sistemin kararlılık analizi 3. bölümde incelenmiştir. (20) dönüşümü zamana ve konum değişkenlerine göre türevlenirse sırasıyla aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

$$w_{tt}(x, y, t) = u_{tt}(x, y, t) - \int_0^x k(x, \xi) u_{tt}(\xi, y, t) d\xi - \int_0^y l(y, \eta) u_{xx}(x, \eta, t) d\eta \quad (24)$$

Zamana göre türevlenen (24) denkleminde (16) denklemini kullanılırsa;

$$w_{tt}(x, y, t) = u_{xx}(x, y, t) + u_{yy}(x, y, t) + du_{xxt}(x, y, t) + du_{yyt}(x, y, t) - \int_0^x k(x, \xi) [u_{\xi\xi}(\xi, y, t) + u_{yy}(\xi, y, t) + du_{\xi\xi t}(\xi, y, t) + du_{yyt}(\xi, y, t)] d\xi - \int_0^y l(y, \eta) [u_{xx}(x, \eta, t) + u_{\eta\eta}(x, \eta, t) + du_{xxt}(x, \eta, t) + du_{\eta\eta t}(x, \eta, t)] d\eta \quad (25)$$

(25) denkleminde son iki terimde kısımlarla integrasyon uygulanır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa elde edilen sonuç (26) denklemindeki gibidir.

$$\begin{aligned}
 w_{tt}(x, y, t) = & u_{xx}(x, y, t) + u_{yy}(x, y, t) + du_{xxt}(x, y, t) + du_{yyt}(x, y, t) - k(x, x)u_x(x, y, t) \\
 & + k(x, 0)u_x(0, y, t) + k_\xi(x, x)u(x, y, t) - k_\xi(x, 0)u(x, 0, t) \\
 & - \int_0^x k(x, \xi)u(\xi, y, t)d\xi - \int_0^x k(x, \xi)u(\xi, y, t)d\xi - dk(x, x)u_{xt}(x, y, t) \\
 & + dk(x, x)u_{xt}(0, y, t) + dk_\xi(x, x)u_t(x, y, t) - dk_\xi(x, 0)u_t(0, y, t) \\
 & - d \int_0^x k_{\xi\xi}(x, \xi)u_t(\xi, y, t)d\xi - d \int_0^x k(x, \xi)u_{yyt}(\xi, y, t)d\xi \\
 & - \int_0^y l(y, \eta)u_{xx}(x, \eta, t)d\eta - l(y, y)u_y(x, y, t) + l(y, 0)u_y(x, 0, t) \\
 & + l_\eta(y, y)u(x, y, t) - l_\eta(y, 0)u(x, 0, t) - \int_0^y l_{\eta\eta}(y, \eta)u(x, \eta, t)d\eta \\
 & - dl(y, y)u_{yt}(x, y, t) + dl(y, 0)u_{yt}(x, 0, t) + dl_\eta(y, y)u_t(x, y, t) \\
 & - dl_\eta(y, 0)u_t(x, 0, t) - d \int_0^y l_{\eta\eta}(y, \eta)u_t(x, \eta, t)d\eta - d \int_0^y l(y, \eta)u_{xxt}(x, \eta, t)d\eta
 \end{aligned} \tag{26}$$

(24) denklemini x konum değişkenine göre türevlenirse;

$$\begin{aligned}
 w_{xx}(x, y, t) = & u_{xx}(x, y, t) - \frac{d}{dx} [k(x, x)]u(x, y, t) - k(x, x)u_x(x, y, t) - k_x(x, x)u(x, y, t) \\
 & - \int_0^x k_{xx}(x, \xi)u(\xi, y, t)d\eta - \int_0^y l(y, \eta)u_{xx}(x, \eta, t)d\eta,
 \end{aligned} \tag{27}$$

(24) denklemini y konum değişkenine göre türevlenirse;

$$\begin{aligned}
 w_{yy}(x, y, t) = & u_{yy}(x, y, t) - \frac{d}{dy} [l(y, y)]u(x, y, t) - l(y, y)u_y(x, y, t) - l_y(y, y)u(x, y, t) \\
 & - \int_0^x k(x, \xi)u_{yy}(\xi, y, t)d\xi - \int_0^y l_{yy}(y, \eta)u(x, \eta, t)d\eta
 \end{aligned} \tag{28}$$

(16) denklemindeki son iki terimin de dönüşümleri yapılmalıdır. (27) denkleminin zaman göre türevi;

$$\begin{aligned}
 w_{xxt}(x, y, t) = & u_{xxt}(x, y, t) - \frac{d}{dx} [k(x, x)]u_t(x, y, t) - k(x, x)u_{xt}(x, y, t) - k_x(x, x)u_t(x, y, t) \\
 & - \int_0^x k_{xx}(x, \xi)u_t(\xi, y, t)d\eta - \int_0^y l(y, \eta)u_{xxt}(x, \eta, t)d\eta,
 \end{aligned} \tag{29}$$

(28) denkleminin zaman göre türevi;

$$\begin{aligned}
 w_{yyt}(x, y, t) = & u_{yyt}(x, y, t) - \frac{d}{dy} [l(y, y)]u_t(x, y, t) - l(y, y)u_{yt}(x, y, t) - l_y(y, y)u_t(x, y, t) \\
 & - \int_0^x k(x, \xi)u_{yyt}(\xi, y, t)d\xi - \int_0^y l_{yy}(y, \eta)u_t(x, \eta, t)d\eta
 \end{aligned} \tag{30}$$

Elde edilen (26)-(30) denklemleri (21) denkleminde yerlerine yazılıp düzenlenilirse;

$$\begin{aligned}
 & \int_0^x u(\xi, y, t) [k_{xx}(x, \xi) - k_{\xi\xi}(x, \xi) - ck(x, \xi)] d\xi + u(0, y, t) k_{\xi}(x, 0) - u_t(0, y, t) dk_{\xi}(x, 0) \\
 & + \int_0^x u_t(\xi, y, t) [dk_{xx}(x, \xi) - dk_{\xi\xi}(x, \xi) - cdk(x, \xi)] d\xi \\
 & + \int_0^y u(x, \eta, t) [l_{yy}(y, \eta) - l_{\eta\eta}(y, \eta) - cl(y, \eta)] d\eta + u(x, 0, t) l_{\eta}(y, 0) - u_t(x, 0, t) l_{\eta}(y, 0) \\
 & + \int_0^y u_t(x, \eta, t) [dl_{yy}(y, \eta) - dl_{\eta\eta}(y, \eta) - cdl(y, \eta)] d\eta \\
 & + u(x, y, t) \left[2 \frac{d}{dx} [k(x, x)] + 2 \frac{d}{dy} [l(y, y)] + c \right] \\
 & u_t(x, y, t) \left[2d \frac{d}{dx} [k(x, x)] + 2d \frac{d}{dy} [l(y, y)] + cd \right] = 0
 \end{aligned} \tag{31}$$

elde edilir. (31) denkleminin sıfıra eşit olabilmesi için gerekli şartlar düzenlenilip çözüldüğünde aranılan kontrolcü elde edilecektir. Son iki terim incelenirse x 'e bağlı bir fonksiyon ile y 'ye bağlı bir fonksiyon toplandığında sonucun sıfıra eşit olabilmesi için $-c$ gibi bir sabite eşit olması gerektiği görülmektedir. Bu durumda her iki fonksiyonun da sabit olması gerektiği anlaşılmaktadır. Burada herhangi birisi için bir seçim yapıldığında diğerinin elde edileceği aşıkardır. Böylece (31) denkleminin sıfıra eşit olabilmesi için aşağıdaki durum seçilebilir.

$$l_{yy}(y, \eta) - l_{\eta\eta}(y, \eta) = cl(y, \eta), \tag{32}$$

$$l(y, y) = -\frac{c_1 - c}{2} y, \tag{33}$$

$$l_{\eta}(y, 0) = 0. \tag{34}$$

Burada c_1 ve c pozitif tanımlı kontrol parametreleridir. (32)-(34) denklem sisteminin çözümü Krstic ve Smyshlyaev (2008) de edilmiştir.

$$l(y, \eta) = -(c_1 - c) \eta \frac{I_1 \left[\sqrt{c(y^2 - \eta^2)} \right]}{\sqrt{c(y^2 - \eta^2)}} \tag{35}$$

Benzer şekilde diğer çekirdek fonksiyonunun denklem sistemi ise aşağıdaki gibi olacaktır.

$$k_{xx}(x, \xi) - k_{\xi\xi}(x, \xi) = ck(x, \xi), \tag{36}$$

$$k(x, x) = -\frac{c_1}{2} x, \tag{37}$$

$$k_{\xi}(x, 0) = 0. \tag{38}$$

(36)-(38) denklem sisteminin çözümü ise;

$$k(x, \xi) = -c_1 \xi \frac{I_1 \left[\sqrt{c(\xi^2 - x^2)} \right]}{\sqrt{c(\xi^2 - x^2)}} \tag{39}$$

Böylelikle elde edilen çekirdek fonksiyonları yardımı ile (18) ve (19) eşitlikleri (20) denklemi içerisinde kullanılarak aranılan kontrolcü tanımlanabilir.

$$U_1(y,t) = \int_0^1 k(1,\xi)u(\xi,y,t)d\xi + \int_0^y l(y,\eta)u(1,\eta,t)d\eta \quad (40)$$

$$U_2(x,t) = \int_0^x k(x,\xi)u(\xi,1,t)d\xi + \int_0^1 l(1,\eta)u(x,\eta,t)d\eta \quad (41)$$

Aranılan kontrolcileri elde edilir. Bu düşünce geliştirilebilir. Bir sonraki iki bölümde kısaca elde edilen sonuçlar çok boyutlu sistemlere geliştirilmiştir.

2.3. Bir ucu serbest bir ucu sönümlü çok boyutlu dalga denkleminin kontrolü

Bir önceki bölümde elde edilen sonuçlar n boyutlu sistem için geliştirilebilir. Aşağıdaki gibi n boyutlu dalga denklemi ele alınsın.

$$u_{tt}(\mathbf{x},t) = \sum_{i=1}^n u_{x_i x_i}(\mathbf{x},t) \quad (42)$$

$$u_{x_i}(0, \mathbf{x}_k, t) = 0, \quad (43)$$

$$u_{x_i}(1, \mathbf{x}_k, t) = -c_1 u_t(1, \mathbf{x}_k, t), \quad (44)$$

burada $\mathbf{x} = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_n]$, $\mathbf{x}_k = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_{i-1} \ x_{i+1} \ \dots \ x_n]$, $k = \{1, 2, 3, \dots, n\} - i$. (42)-(44) sistemine aşağıdaki gibi bir dönüşüm uygulansın.

$$w(\mathbf{x},t) = u(\mathbf{x},t) - c_0 \cdot \sum_{i=1}^n \int_0^{x_i} u(\xi_i, \mathbf{x}_k, t) d\xi_i \quad (45)$$

(45) dönüşümü ile (42)-(44) sistemini aşağıdaki sisteme dönüştürmek hedeflenmektedir.

$$w_{tt}(\mathbf{x},t) = \sum_{i=1}^n w_{x_i x_i}(\mathbf{x},t) \quad (46)$$

$$w_{x_i}(0, \mathbf{x}_k, t) = c_0 w(0, \mathbf{x}_k, t), \quad (47)$$

$$w_{x_i}(1, \mathbf{x}_k, t) = -c_1 w_t(1, \mathbf{x}_k, t), \quad (48)$$

(45) denklemi türevlenir ve (46) de yerlerine yazılırsa aranılan kontrolcü kuvvetleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$u_{x_i}(1, \mathbf{x}_k, t) = -c_0 u(1, \mathbf{x}_k, t) - c_1 u_t(1, \mathbf{x}_k, t) - c_1 c_0 \int_0^1 u_t(\xi, \mathbf{x}_k, t) d\xi, \quad (49)$$

2.4. Kelvin-Voigt sönümlü çok boyutlu dalga denkleminin kontrolü

Elde edilen sonuçlar n boyutlu sistem için geliştirilebilir. Aşağıdaki (50)-(52) sistemi irdelensin.

$$u_{tt}(\mathbf{x},t) = \sum_{i=1}^n u_{x_i x_i}(\mathbf{x},t) + d \cdot \sum_{i=1}^n u_{x_i x_i t}(\mathbf{x},t) \quad (50)$$

$$u_{x_i}(0, \mathbf{x}_k, t) = 0, \quad (51)$$

$$u(1, \mathbf{x}_k, t) = U_i(\mathbf{x}_k, t). \quad (52)$$

Burada $\mathbf{x} = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_n]$, $\mathbf{x}_k = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_{i-1} \ x_{i+1} \ \dots \ x_n]$, $k = \{1, 2, 3, \dots, n\} - i$. (50)-(52) sistemi için uygulanması gereken dönüşüm aşağıdaki gibidir.

$$w(\mathbf{x},t) = u(\mathbf{x},t) - \sum_{i=1}^n \int_0^{x_i} k_i(x_i, \xi_i) u(\xi_i, \mathbf{x}_k, t) d\xi_i \quad (53)$$

(53) dönüşümünün (50)-(52) sistemini aşağıdaki üstel kararlı sisteme yönlendirmesi beklenmektedir.

$$w_{tt}(\mathbf{x},t) = \sum_{i=1}^n w_{x_i x_i}(\mathbf{x},t) + d \cdot \sum_{i=1}^n w_{x_i x_i t}(\mathbf{x},t) - c \cdot \sum_{i=1}^n w(\mathbf{x},t) - c \cdot d \cdot \sum_{i=1}^n w_t(\mathbf{x},t) \quad (54)$$

$$w_{x_i}(0, \mathbf{x}_k, t) = 0, \tag{55}$$

$$w(1, \mathbf{x}_k, t) = 0. \tag{56}$$

(53) dönüşümünün daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi türevlenmesi sonucunda elde edilen sonuçların (54) denkleminde yerlerine yazılması sonucunda elde edilecek kontrolcüler (57)'de verilmiştir.

$$U_i(\mathbf{x}_k, t) = \int_0^1 k_i(1, \xi_i) u(\xi_i, \mathbf{x}_k, t) d\xi_i + \sum_{j=1}^{n-1} \int_0^{x_j} k_j(x_j, \xi_j) u(\xi_j, \mathbf{x}_k, t) d\xi_j \tag{57}$$

Burada çekirdek fonksiyonları ise aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$k_i(x_i, \xi_i) = -c_i \xi_i \frac{I_1 \left[\sqrt{c(\xi_i^2 - x_i^2)} \right]}{\sqrt{c(\xi_i^2 - x_i^2)}} \tag{58}$$

buradaki c_i sabitleri $\sum_{i=1}^n c_i = c$ koşulunu sağlayan keyfi tasarım değerleridir.

3. KARARLILIK ANALİZİ

3.1. Bir ucu serbest bir ucu sönümlü sistem için Lyapunov kararlılık analizi

Bir önceki bölümde seçilmiş iki farklı durum için kontrolcü kuvvetleri iki boyutlu durum için elde edilmiş ve çok boyutlu bir sistem için genelleştirilmiştir. Tüm durumlarda mevcut incelenen sistemler üstel kararlı başka bir sistemlere yönlendirilmişse de yönlendirilen sistemlerin üstel kararlı olup olmadığı hakkında herhangi bir ispat yapılmamıştır. Bu bölümde kontrolcü tasarımında kullanılan kararlı sistemler bir Lyapunov fonksiyonu yardımıyla irdelenmiştir.

(1)-(4) sistemi (6)-(10) sistemine yönlendirilmiştir. (6)-(10) sistemi için aşağıdaki Lyapunov fonksiyonu kullanılsın.

$$V_1 = \frac{1}{2} \left[\int_0^1 \int_0^1 (w_x^2 + w_y^2 + w_t^2) dx dy + \int_0^1 c_0 w^2(0, y, t) dy + \int_0^1 c_0 w^2(x, 0, t) dx \right] + \delta \int_0^1 \int_0^1 (1+x) w_x w_t dx dy + \delta \int_0^1 \int_0^1 (1+y) w_y w_t dx dy. \tag{59}$$

Bu noktada Young eşitsizliği kullanılırsa;

$$(w_x + w_y) w_t \leq \frac{w_x^2}{2} + \frac{w_t^2}{2} + \frac{w_y^2}{2} + \frac{w_t^2}{2} \tag{60}$$

$\delta < \frac{1}{2}$ seçilmesi durumunda V_1 fonksiyonunun pozitif tanımlı olacağı aşikardır. Cauchy-Schwarz eşitsizliği kullanıldığında

küçük δ değerlerinde öyle $m_1, m_2 > 0$ vardır ki;

$$m_1 U_1 \leq V_1 \leq m_2 U_1 \tag{61}$$

olur ki burada

$$U_1 = \frac{1}{2} \left[\int_0^1 \int_0^1 (w_x^2 + w_y^2 + w_t^2) dx dy + \int_0^1 c_0 w^2(0, y, t) dy + \int_0^1 c_0 w^2(x, 0, t) dx \right] \tag{62}$$

Böylece seçilen Lyapunov fonksiyonu zamana göre türevlenirse;

$$\begin{aligned}
 \mathbb{V}_1^{\&} = & \int_0^1 \int_0^1 w_{xt} w_x dx dy + \int_0^1 \int_0^1 w_{xt} w_y dx dy + \int_0^1 \int_0^1 w_t w_{xx} dx dy + \int_0^1 \int_0^1 w_t w_{yy} dx dy \\
 & + \int_0^1 c_0 w(0, y, t) w_t(0, y, t) dy + \int_0^1 c_0 w(x, 0, t) w_t(x, 0, t) dx \\
 & + \delta \int_0^1 \int_0^1 (1+x) [w_{xt} w_t + w_x w_{xx} + w_x w_{yy}] dx dy \\
 & + \delta \int_0^1 \int_0^1 (1+y) [w_{yt} w_t + w_y w_{xx} + w_y w_{yy}] dx dy.
 \end{aligned} \tag{63}$$

üçüncü ve dördüncü integralde kısmi integrasyon yapılır ise;

$$\int_0^1 \int_0^1 w_t w_{xx} dx dy = \int_0^1 w_t w_x \Big|_{x=0}^{x=1} dy - \int_0^1 \int_0^1 w_{xt} w_x dx dy, \tag{64}$$

$$\int_0^1 \int_0^1 w_t w_{yy} dx dy = \int_0^1 w_t w_y \Big|_{y=0}^{y=1} dx - \int_0^1 \int_0^1 w_{xt} w_y dx dy, \tag{65}$$

elde edilir. Aynı zamanda (63) denkleminin son iki integralinde bulunan bazı çarpımlar için aşağıdaki özdeşlikler kullanılabilir.

$$w_{xt} w_t dx = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{w_t^2}{2} \right) \tag{66}$$

$$w_x w_{xx} dx = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{w_x^2}{2} \right) \tag{67}$$

$$w_{yt} w_t dy = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{w_t^2}{2} \right) \tag{68}$$

$$w_t w_{yy} dy = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{w_y^2}{2} \right) \tag{69}$$

Dolayısıyla (64)-(69) eşitlikleri (63)'te kullanılır ise

$$\begin{aligned}
 \mathbb{V}_1^{\&} = & \int_0^1 [w_t(1, y, t) w_x(1, y, t) - w_t(0, y, t) w_x(0, y, t) + c_0 w(0, y, t) w_t(0, y, t)] dy \\
 & + \int_0^1 [w_t(x, 1, t) w_y(x, 1, t) - w_t(x, 0, t) w_y(x, 0, t) + c_0 w(x, 0, t) w_t(x, 0, t)] dx \\
 & + \delta \int_0^1 \int_0^1 (1+x) \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{w_t^2}{2} + \frac{w_x^2}{2} \right) \right] dx dy + \delta \int_0^1 \int_0^1 (1+y) \left[\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{w_t^2}{2} + \frac{w_y^2}{2} \right) \right] dx dy \\
 & + \delta \int_0^1 \int_0^1 [(1+x) w_x w_{yy} + (1+y) w_y w_{xx}] dx dy
 \end{aligned} \tag{70}$$

Bu noktada sınır değerlerdeki koşullar kullanılır ise;

$$\begin{aligned}
 \mathbb{V}_1^{\delta} = & -c_1 \int_0^1 w_t^2(1, y, t) dy dy - c_1 \int_0^1 w_t^2(x, 1, t) dy dy + \delta \int_0^1 [w_t^2(1, y, t) + w_x^2(1, y, t)] dy \\
 & - \frac{\delta}{2} \int_0^1 [w_t^2(0, y, t) + w_x^2(0, y, t)] dy - \frac{\delta}{2} \int_0^1 \int_0^1 [(w_t^2 + w_x^2)] dx dy \\
 & + \delta \int_0^1 [w_t^2(x, 1, t) + w_y^2(x, 1, t)] dx - \frac{\delta}{2} \int_0^1 [w_t^2(x, 0, t) + w_y^2(x, 0, t)] dx \\
 & - \frac{\delta}{2} \int_0^1 \int_0^1 [(w_t^2 + w_y^2)] dx dy + \delta \int_0^1 \int_0^1 [(1+x)w_x w_{xy} + (1+y)w_y w_{xy}] dx dy
 \end{aligned} \tag{71}$$

denkleminin on terimi için aşağıdaki özdeşliklerden faydalı olacaktır.

$$w_x w_{xy} dx = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{w_x^2}{2} \right) \tag{72}$$

$$w_y w_{xy} dx = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{w_y^2}{2} \right) \tag{73}$$

(71) denklemini düzenlenilip (72) ve (73)'te elde edilenler de kullanıldığında;

$$\begin{aligned}
 \mathbb{V}_1^{\delta} = & -\left(c_1 - \delta(1+c_1^2)\right) \int_0^1 w_t^2(1, y, t) dy dy - \left(c_1 - \delta(1+c_1^2)\right) \int_0^1 w_t^2(x, 1, t) dy dy \\
 & - \frac{\delta}{2} \int_0^1 [w_t^2(0, y, t) + w_x^2(0, y, t)] dy - \frac{\delta}{2} \int_0^1 \int_0^1 [(2w_t^2 + w_y^2 + w_x^2)] dx dy \\
 & - \frac{\delta}{2} \int_0^1 [w_t^2(x, 0, t) + w_y^2(x, 0, t)] dx + \delta \int_0^1 [(1+x)w_y(x, 1, t)w_x(x, 1, t)] dx \\
 & - \delta \int_0^1 [(1+x)w_y(x, 0, t)w_x(x, 0, t)] dx + \delta \int_0^1 [(1+y)w_y(1, y, t)w_x(1, y, t)] dy \\
 & - \delta \int_0^1 [(1+y)w_y(0, y, t)w_x(0, y, t)] dy + \frac{\delta}{2} \int_0^1 (1+x)w_x^2 \Big|_{y=0}^{y=1} dx \\
 & + \frac{\delta}{2} \int_0^1 (1+y)w_y^2 \Big|_{x=0}^{x=1} dy - \frac{\delta}{2} \int_0^1 \int_0^1 w_x^2 dx dy - \frac{\delta}{2} \int_0^1 \int_0^1 w_y^2 dx dy
 \end{aligned} \tag{74}$$

Sınır değerler tekrar kullanılır ise sonuçta;

$$\begin{aligned}
 \mathbb{V}_1^{\delta} = & -\left(c_1 - \delta\left(1 + \frac{5c_1^2}{2}\right)\right) \int_0^1 w_t^2(1, y, t) dy dy - \left(c_1 - \delta\left(1 + \frac{5c_1^2}{2}\right)\right) \int_0^1 w_t^2(x, 1, t) dy dy \\
 & - \frac{\delta}{2} \int_0^1 [w_t^2(0, y, t) + w_x^2(0, y, t)] dy - \frac{\delta}{2} \int_0^1 \int_0^1 [(w_t^2 + w_y^2 + w_x^2)] dx dy \\
 & - \frac{\delta}{2} \int_0^1 [w_t^2(x, 0, t) + w_y^2(x, 0, t)] dx + \delta \int_0^1 [(1+x)w_y(x, 1, t)w_x(x, 1, t)] dx \\
 & - \delta c_0^2 \int_0^1 (1+x)w^2(x, 0, t) dx - \delta c_0^2 \int_0^1 (1+y)w^2(0, y, t) dy \\
 & + \frac{3\delta c_1^2}{2} \left[\int_0^1 xw_t^2(x, 1, t) dx + \int_0^1 yw_t^2(1, y, t) dy \right].
 \end{aligned} \tag{75}$$

şeklini alır. Burada sadece son terimin işareti pozitiftir. Son terim irdelenirse;

$$\int_0^1 x w_t^2(x, 1, t) dx \leq \int_0^1 |x| w_t^2(x, 1, t) dx \leq \int_0^1 w_t^2(x, 1, t) dx \tag{76}$$

$$\int_0^1 y w_t^2(1, y, t) dy \leq \int_0^1 |y| w_t^2(1, y, t) dy \leq \int_0^1 w_t^2(1, y, t) dy \tag{77}$$

Bu durumda Lyapunov fonksiyonunun zamana türevinin işareti ile ilgili (76) ve (77) eşitsizlikleri (75) eşitliği ile birlikte irdelendiğinde elde edilen sonuç δ parametresine bağlıdır. (78) eşitsizliğinden de görüleceği gibi $\delta < \frac{c_1}{1 + 4c_1^2}$ koşulunun sağlanması durumunda fonksiyonun türevi negatif tanımlı olur.

$$\begin{aligned} V_1' \leq & -\left(c_1 - \delta(1 + 4c_1^2)\right) \int_0^1 w_t^2(1, y, t) dy dy - \left(c_1 - \delta(1 + 4c_1^2)\right) \int_0^1 w_t^2(x, 1, t) dy dy \\ & - \frac{\delta}{2} \int_0^1 \left[w_t^2(0, y, t) + w_x^2(0, y, t) \right] dy - \frac{\delta}{2} \int_0^1 \int_0^1 \left[w_t^2 + w_y^2 + w_x^2 \right] dx dy \\ & - \frac{\delta}{2} \int_0^1 \left[w_t^2(x, 0, t) + w_y^2(x, 0, t) \right] dx - \delta c_0^2 \int_0^1 (1 + x) w^2(x, 0, t) dx \\ & - \delta c_0^2 \int_0^1 (1 + y) w^2(0, y, t) dy. \end{aligned} \tag{78}$$

δ parametresinin kontrol tasarım parametresi olduğu düşünülse keyfi seçilebilir. $\delta < \frac{c_1}{1 + 4c_1^2}$ koşulunun sağlanması durumunda olası büyük bir M değeri için

$$U_1(t) \leq M e^{-t/M} U_1(0) \tag{79}$$

yazılabilir. Sonuç olarak (61) ve (79) eşitsizlikleri (6)-(10) hedef sisteminin üstel kararlı olduğunu ispatlar.

Benzer bir ispat genelleştirilmiş çok boyutlu sistem için de aşağıdaki Lyapunov fonksiyonu yardımıyla elde edilebilir.

$$V = \frac{1}{2} \left[\int_0^1 \dots \int_0^1 \left(w_t^2 + \sum_{i=1}^n w_{x_i}^2 \right) \mathbf{dx} + c_0 \int_0^1 \sum_{i=0}^n w^2(x_i = 0, \mathbf{x}_k, t) \mathbf{dx}_k \right] + \delta \int_0^1 \dots \int_0^1 \sum_{i=1}^n (1 + x_i) w_{x_i} w_t \mathbf{dx}_k. \tag{80}$$

3.2. Kelvin-Voigt sönümlü sistemi için kararlılık analizi

Bir önceki bölümde incelenmiş olan çok boyutlu Kelvin-Voigt sönümlü sistem için aşağıdaki (81)-(83) kararlı sistemi hedef sistem olacak şekilde seçilmişti. Fakat (54)-(56) sisteminin kararlılığının analizi bu noktaya bırakılmış idi.

$$w_{tt}(\mathbf{x}, t) = \sum_{i=1}^n w_{x_i x_i}(\mathbf{x}, t) + d \cdot \sum_{i=1}^n w_{x_i x_i t}(\mathbf{x}, t) - c \cdot \sum_{i=1}^n w(\mathbf{x}, t) - c \cdot d \cdot \sum_{i=1}^n w_t(\mathbf{x}, t) \tag{81}$$

$$w_{x_i}(0, \mathbf{x}_k, t) = 0, \tag{82}$$

$$w(1, \mathbf{x}_k, t) = 0. \tag{83}$$

(81) denklemini için

$$w(\mathbf{x}, t) = T(t) \cdot \prod_{i=1}^n X_i(x_i) \tag{84}$$

Şeklinde bir çözüm önerisinde bulunulur ve (81) denklemine yerleştirilir ise;

$$\frac{T'' + c_0 \frac{T'}{T} + c_0}{1 + \frac{T'}{T}} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i''(x_i)}{X_i(x_i)} = \lambda \tag{85}$$

Denklemine ulaşılır ki buradan $T(t) = e^{\sigma t}$ ve $X_i(x_i) = e^{\lambda_i x_i}$ çözüm önerisi ile karakteristik denklemler aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$\sigma_n^2 + \sigma_n [d(c_0 - \lambda)] + (c_0 - \lambda) = 0, \tag{86}$$

$$\lambda_i = -\left(\frac{\pi}{2} + n_i \pi\right) \tag{87}$$

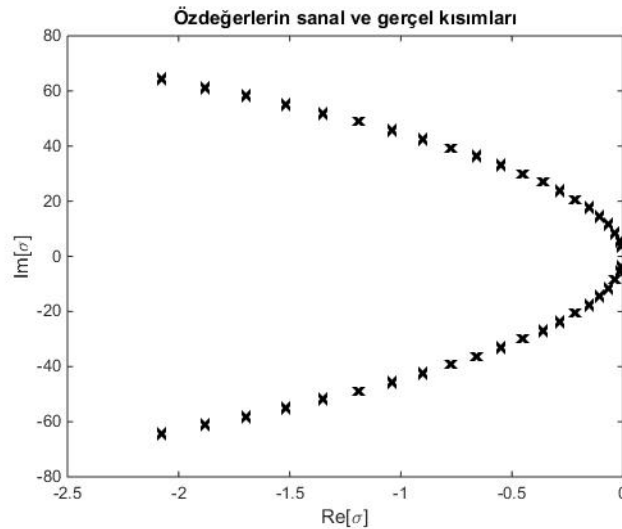
Burada $\sum_{i=1}^n \lambda_i = \lambda$ 'dir. Böylelikle karakteristik denklem;

$$\sigma_n^2 + \sigma_n \left[d \left(c_0 - \sum_{i=1}^n \lambda_i \right) \right] + \left(c_0 - \sum_{i=1}^n \lambda_i \right) = 0, \tag{88}$$

veya

$$\sigma_n^2 + \sigma_n \left[d \left(c_0 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\pi}{2} + n_i \pi \right)^2 \right) \right] + \left(c_0 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\pi}{2} + n_i \pi \right)^2 \right) = 0 \tag{89}$$

halini alır. Burada herhangi farklı değerler alınarak (89) denkleminin özdeğerleri bir bilgisayar programı yardımıyla incelendiğinde Şekil 1'deki sonuç elde edilmektedir.



Şek. 1. (81)-(83) kararlı sistemin özdeğerlerinin davranışı

Sistemin tüm özdeğerlerinin şeklin solunda kaldığı görülmektedir. Bu analiz yapılırken birisi dışındaki tüm n_i değerleri sıfır alınıp sadece birisi için birden yirmiyeye kadar farklı n değerleri ile sonuçlar alınmıştır. Diğer n_i değerleri ile de incelense sistemin özdeğerlerinin benzer çıkacağı (89) denklemden anlaşılmaktadır. Analiz esnasında $d = 0.001$, $c = 0$ ve 10 gibi herhangi pozitif tanımlı küçük değerler alınmıştır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada daha önce tek dalga denklemi ile modellenmiş sistemlerin kontrolü çok boyutlu sistemler için genelleştirilmiştir. Seçilmiş olan iki farklı dalga denklemi ile modellenmiş sistem öncelikle iki boyutlu durumda ve sonrasında da çok boyutlu durumda irdelenmiş ve sistemleri üstel kararlı bir hale yönlendirmek amaçlı kullanılması gereken kontrolcüler kısmi türevli denklemler için geri adımlamalı kontrolcü teorisi yardımıyla tasarlanmıştır.

Ardından yönlendirilmek istenilen hedef sistemlerin kararlılıkları incelenmiş ve hedef sistemlerin üstel kararlı oldukları ispatlanmıştır. Böylelikle bugüne değin çok boyutlu sistemler için elde edilmemiş olan geri adımlamalı kontrolcü çok boyutlu dalga denklemi ile modellenen sistemler için de elde edilmiş analitik olarak sonuçlar net bir biçimde sunulmuştur.

REFERANSLAR

Krstic, M., Smyshlyaev, A. (2003). Explicit State and Output Feedback Boundary Controllers for Partial Differential Equations, *Journal of Automatic Control, University of Belgrade*, 13(2), 1-9. doi:10.2298/JAC0302001S

Krstic, M., Smyshlyaev, A. (2008). *Boundary Control of PDEs, A Course on Backstepping Designs*, Siam.

Krstic, M., Smyshlyaev, A. (2008). Adaptive control of PDEs. *Annual Reviews in Control*, 32, 149-160. doi:10.1016/j.arcon.2008.05.001

Krstic, M., Guo, B. Z., Balogh, A., Smyshlyaev, A. (2008). Output-feedback stabilization of an unstable wave equation. *Automatica*, 44, 63-74. doi:10.1016/j.automatica.2007.05.012

Krstic, M. (2011). Dead-Time Compensation for Wave/String PDEs. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 133, 031004/1–13, doi:10.1115/1.4003638

Sezgin A., Krstic, M. (2015). Boundary Backstepping Control of Flow-Induced Vibrations of a Membrane at High Mach Numbers. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 137(8), 081003/1-8, doi: 10.1115/1.4029468

Krstic, M., Smyshlyaev, A. (2008). Backstepping boundary control for first-order hyperbolic PDEs and application to systems with actuator and sensor delays. *Systems and Control Letters*, 57, 750-758. doi:10.1016/j.sysconle.2008.02.005.

Bekiaris-Liberis, N., Krstic, M., (2010). Compensating the distributed effect of a wave PDE in the actuation or sensing path of MIMO LTI systems. *Systems and Control Letters*, 59, 713-719. doi:10.1016/j.sysconle.2008.02.005.

Cheng, M.B., Radisavljevic, V., Su, W.C. (2011). Sliding mode boundary control of a parabolic PDE system with parameter variations and boundary uncertainties. *Automatica*, 47(2), 381-387. doi:10.1016/j.automatica.2010.10.045

Ng, J., Dubljevic, S., (2012). Optimal boundary control of a diffusion-convection-reaction PDE model with time-dependent spatial domain: Czochralski crystal growth process. *Chemical Engineering Science*, 67(1), 111-119. doi:10.1016/j.ces.2011.06.050

Chrysafinos, K., Gunzburger, M.D., Hou, L.S. (2006). Semidiscrete approximations of optimal Robin boundary control problems constrained by semilinear parabolic PDE. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 323(2), 891-912. doi:10.1016/j.jmaa.2005.10.053

Tang, S., Xie, C., (2011). State and output feedback boundary control for a coupled PDE-ODE system. *Systems and Control Letters*, 60(8), 540-545. doi:10.1016/j.sysconle.2011.04.011.

Bekiaris-Liberis, N., Krstic, M., (2011). Compensating the Distributed Effect of Diffusion and Counter-Convection in Multi-Input and Multi-Output LTI Systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 56(3), 637-643. doi: 10.1109/CDC.2010.5716993

Ramirez, J.A., Puebla, H., Ochoa-Tapia, J.A. (2001). Linear boundary control for a class of nonlinear PDE processes. *Systems and Control Letters*, 44(5), 395-403. doi:10.1016/S0167-6911(01)00159-1

Cheung, W.S., (2001). Some New Poincaré-Type inequalities. *Bulletin of the Australian Mathematical Society*, 63(2), 321–327,. Doi:10.1017/S0004972700019365

Krstic, M. (2010). Adaptive Control of an Anti-Stable Wave PDE: Theory and Application Oil Drilling, *Dynamics of Continuous, Discrete and Impulsive System*, 17, 853-882, doi:10.3182/20130703-3-FR-4038.00154

Cox, S., Zuazua, E., (1994). The rate at which energy decays in a string damped at one end. *Comm. Partial Differential Equations*, 19, 213-243.

Krstic, M., Kanellakopoulos I., Kokotovic, P., (1995). *Nonlinear and Adaptive Control Design*, Wiley.



e-issn: 1308-5514