



ACADEMIC
PLATFORM



ISSN: 2147-4575

APJES

Journal of Engineering and Science

Volume: 7

Issue : 3

Year : 2019

Academic Platform Journal of Engineering and Science

Editor in Chief (Owned By Academic Perspective)

Prof. Dr. Mehmet SARIBIYIK, Sakarya University of Applied Sciences, Turkey
mehmets@subu.edu.tr

Editors

Prof. Dr. Barış Tamer TONGUÇ, Sakarya University, Turkey
btonguc@sakarya.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Özer UYGUN, Sakarya University, Turkey
ouygun@sakarya.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Mustafa CAN, Sakarya University of Applied Sciences, Turkey
mustafacan@subu.edu.tr

Asst. Prof. Dr. Hakan ASLAN, Sakarya University, Turkey
haslan@sakarya.edu.tr

Members of Advisory Board

Prof. Dr. Abdullah Çavuşoğlu, Council of Higher Education, Turkey

Prof. Dr. Ahmet TÜRK, Celal Bayar University, Turkey

Prof. Dr. Erdal ÇELİK, Dokuz Eylül University, Turkey

Prof. Dr. Erol ARCAKLIOĞLU, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Turkey

Prof. Dr. Fahrettin ÖZTÜRK, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Turkey

Prof. Dr. Hüseyin AKILLI, Çukurova University, Turkey

Prof. Dr. Kutsi ERDURAN, Niğde Ömer Halisdemir University, Turkey

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN, University of West of England, England

Support

Lec. Gökhan ATALI, Sakarya University, Turkey
gatali@subu.edu.tr



ISSN: 2147-4575

Contact



Academic Platform

info@apjes.com
<http://apjes.com/>

Field Editors

Dr. Ali SARIBIYIK
alisaribiyik@subu.edu.tr

Dr. Metin YAMAN
myaman@sakarya.edu.tr

Dr. Beytullah EREN
beren@sakarya.edu.tr

Dr. Mustafa CAN
mustafacan@subu.edu.tr

Dr. Fatih ÇALIŞKAN
fcaliskan@subu.edu.tr

Dr. Mustafa Zahid YILDIZ
mustafayildiz@subu.edu.tr

Dr. Fuat ŞİMŞİR
fuatsimsir@karabuk.edu.tr

Dr. Sinan Serdar ÖZKAN
sozkan@subu.edu.tr

Dr. Halil ARSLAN
harslan@subu.edu.tr

Dr. Süleyman KALELİ
skaleli@subu.edu.tr

Dr. Harun GÜL
harungul@subu.edu.tr

Dr. Taki DEMİR
tdemir@sakarya.edu.tr

Dr. Mehmet UYSAL
mehmetu@sakarya.edu.tr

Dr. Zafer ALBAYRAK
zalbayrak@karabuk.edu.tr

Editorial Assistants

Res. Assist. Ahmet Hamdi SERDAR
ahmetserdar@subu.edu.tr

Res. Assist. Abdullah Feyzi KELEŞ
abdullahfeyzi@subu.edu.tr

Res. Assist. M. Asım KESERCİOĞLU
mkesercioğlu@subu.edu.tr

Res. Assist. Mehmet Fatih YAŞAR
yasarm@subu.edu.tr



ISSN: 2147-4575

Contact

Academic Platform



info@apjes.com
<http://apjes.com/>

Contents

Hardness Removal by Membrane Capacitive Deionization Process (Research Paper)	341-346
Ancient Karez System in Afghanistan: The Perspective of Construction and Maintenance (Research Paper)	347-354
Application of Grid Search Parameter Optimized Bayesian Logistic Regression Algorithm to Detect Cyberbullying in Turkish Microblog Data (Research Paper)	355-361
Investigation of Floor Surface Deformation of Hagia Sophia Museum with Ground-Penetrating Radar (GPR) (Research Paper)	362-366
FIR Filter Design Using Genetic Algorithm Implemented MATLAB and Asp.Net Based Web Educational Interface (Research Paper)	367-372
Bound Water and Hydroxyproline are the essential contributors to collagen molecular stability: A Computational Analysis (Research Paper)	373-380
Oxidation Behavior of Y₂O₃ and Er₂O₃-doped-α/β-SiAlON Ceramics (Araştırma Makalesi)	381-388
Assessment of Electrophysiological Findings during Mental Workload in the Effect of Physical Performance (Research Paper)	389-397
Thermal Circuit Model of the Pulse DC Sintering System Container During Cooling (Research Paper)	398-402
On The Automorphism Groups of Free Nilpotent Lie Algebras (Research Paper)	403-405
Investigation of Used of Carbon Fiber Reinforced Polymer Sheets in Joints of Wooden Structures (Research Paper)	406-413
UML-Based Data Model Design in a Real Estate Appraisal System Approach for Turkey (Research Paper)	414-423
Moxon Antenna Array Design and Pattern Synthesis Technique (Research Paper)	424-429
Heating Effects of Plant Communities in Cold Climate Regions: Erzurum Ata Botanic Garden (Research Paper)	430-435
Effect of PWHT on Mechanical Properties of High Temperature and Pressure Resistant Nuclear Power Plant Steel Welded with SMAW and GTAW Methods (Research Paper)	436-441

Contents

The Effect of Sodium Hypophosphite, Temperature and Time in co-deposit Ni-P Coatings on 6061 Series Aluminum Substrate: An Environment-Friendly Alternative to Electrolytic Hard Metal Coatings (Research Paper)	442-448
Chaos on Supply Chain: A Literature Review (Review Paper)	449-466
Emotion Detection with n-stage Latent Dirichlet Allocation for Turkish Tweets (Research Paper)	467-472
Data Transfer Platform Design for Kinect Platform for Kinect Applications (Research Paper)	473-480
Warehouse Allocation in a Tire Factory with Dynamic Addressing (Research Paper)	481-488
Using Conventional Ultrasonic Testing and Phased Array Method for Nondestructive Testing of Railway Axles (Research Paper)	489-495
Diffusion and Substitution Effect on Telecommunication Technologies in Turkey (Research Paper)	496-506
Using Ensemble Regression Algorithms for Improving the Prediction Success of Air Quality Index (Research Paper)	507-514
Modeling Relationship Maps for The Factors of Purchasing Management System According to Selected Key Drivers Using Fuzzy Cognitive Maps (Research Paper)	515-523
The Effects of Sulfuric Acid Concentration and Interelectrode Distance on the Zinc Extraction from Complex Sulfide Ores by Anodic Oxidation (Research Paper)	524-527
Comparative Investigation of Dynamic Analysis of Cylindrical Liquid Storage Tanks according to ACI 350 and EUROCODE 8 (Research Paper)	528-540
Simulation for Office Buildings Emergency Evacuation Scenarios (Research Paper)	541-549
The Effect of Own Weight on Dynamic Analysis of a Pre-Stretched Composite Plate-Strip Containing Twin Circular Inclusions Under Bending Using Finite Element Method (Research Paper)	550-562

İçindekiler


Membran Kapasitif Deiyonizasyon Prosesi ile Sertlik Giderimi (Araştırma Makalesi)	341-346
Ancient Karez System in Afghanistan: The Perspective of Construction and Maintenance (Araştırma Makalesi)	347-354
Application of Grid Search Parameter Optimized Bayesian Logistic Regression Algorithm to Detect Cyberbullying in Turkish Microblog Data (Araştırma Makalesi)	355-361
Ayasofya Müzesi Zemin Yüzey Deformasyonlarının Yeraltı Radarı (GPR) İle İncelenmesi (Araştırma Makalesi)	362-366
FIR Filter Design Using Genetic Algorithm Implemented MATLAB and Asp.Net Based Web Educational Interface (Araştırma Makalesi)	367-372
Bound Water and Hydroxyproline are the essential contributors to collagen molecular stability: A Computational Analysis (Araştırma Makalesi)	373-380
Oxidation Behavior of Y₂O₃ and Er₂O₃-doped-α/β-SiAlON Ceramics (Araştırma Makalesi)	381-388
Fiziksel Performans Etkisinde Mental Aktivitenin Elektrofizyolojik Bulgularının Değerlendirilmesi (Araştırma Makalesi)	389-397
Thermal Circuit Model of the Pulse DC Sintering System Container During Cooling (Araştırma Makalesi)	398-402
Serbest Nilpotent Lie Cebirlerinin Otomorfizm Grupları Üzerine (Araştırma Makalesi)	403-405
Ahşap Yapıların Birleşim Bölgelerinde Karbon Elyaf Takviyeli Polimer Levhaların Kullanımının Araştırılması (Araştırma Makalesi)	406-413
Türkiye İçin Bir Taşınmaz Değerleme Sistemi Yaklaşımında UML Tabanlı Veri Modeli Tasarımı (Araştırma Makalesi)	414-423
Moxon Antenna Array Design and Pattern Synthesis Technique (Araştırma Makalesi)	424-429
Soğuk İklim Bölgelerinde Bitki Topluluklarının Sıcaklık Etkileri: Erzurum Ata Botanik Bahçesi (Araştırma Makalesi)	430-435
Effect of PWHT on Mechanical Properties of High Temperature and Pressure Resistant Nuclear Power Plant Steel Welded with SMAW and GTAW Methods (Araştırma Makalesi)	436-441


İçindekiler

Elektrolitik Sert Metal Kaplamaya Alternatif Çevreye Duyarlı Ni-P Kaplamaların 6061 Serisi Alüminyum Altık Üzerine Akımsız Yöntemle Biriktirilmesinde Sodyum hipofosfit, Sıcaklık ve Zamanın Etkisi (Araştırma Makalesi)	442-448
Tedarik Zincirinde Kaos: Bir Literatür Taraması (Derleme Makalesi)	449-466
Emotion Detection with n-stage Latent Dirichlet Allocation for Turkish Tweets (Araştırma Makalesi)	467-472
Kinect Uygulamaları için Veri Transfer Platformu Tasarımı (Araştırma Makalesi)	473-480
Bir Lastik Fabrikasında Dinamik Adresleme Yaklaşımı ile Depoya Yerleştirme (Araştırma Makalesi)	481-488
Demiryolu Akslarının Ultrasonik Muayene Yöntemi ve Phased Array Yöntemi ile Tahribatsız Muayenesi (Araştırma Makalesi)	489-495
Diffusion and Substitution Effect on Telecommunication Technologies in Turkey (Araştırma Makalesi)	496-506
Hava Kalite İndeksinin Tahmin Başarısının Artırılması için Topluluk Regresyon Algoritmalarının Kullanılması (Araştırma Makalesi)	507-514
Modeling Relationship Maps for The Factors of Purchasing Management System According to Selected Key Drivers Using Fuzzy Cognitive Maps (Araştırma Makalesi)	515-523
Kompleks Sülfürlü Çinko Cevherlerinden Anodik Oksitleme ile Zn Kazanımına H₂SO₄ Derişimi ve Elektrotlar Arası Mesafenin Etkisi (Araştırma Makalesi)	524-527
Silindirik Sıvı Depolarının Dinamik Analizinin ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre Karşılaştırılmalı olarak İrdelenmesi (Araştırma Makalesi)	528-540
Büro Binaları Acil Tahliye Senaryolarının Simülasyon Destekli Oluşturulması (Araştırma Makalesi)	541-549
The Effect of Own Weight on Dynamic Analysis of a Pre-Stretched Composite Plate-Strip Containing Twin Circular Inclusions Under Bending Using Finite Element Method (Araştırma Makalesi)	550-562

Membran Kapasitif Deiyonizasyon Prosesi ile Sertlik Giderimi

*¹Halil İbrahim Uzun, ²Eyüp Debik

¹Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, ha.uzun@alparslan.edu.tr 

²Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, debik@yildiz.edu.tr 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 03.12.2018

Kabul Tarihi: 23.05.2019

Öz


Kalsiyum ve Magnezyum elementlerinin (+2) değerlikli iyon halleri sulara sertlik oluşturmaktadır. İnsan sağlığı açısından ciddi riskler oluşturmasa da sert sular sanayide üretim kalitesinin düşmesi, boruların ömrünün azalması, sıcak su üreten ya da tüketen cihazların ömrünün azalması gibi olumsuzluklara sebep olur. Sular CaCO₃ eşdeğeri olarak (0 – 75 mg/L) yumuşak, (75 – 150 mg/L) orta sert, (150 – 300 mg/L) sert, (>300 mg/L) çok sert su şeklinde sınıflandırılmaktadır. Membran Kapasitif deiyonizasyon (MCDI), sertlik türlerinin giderilmesinde etkili bir prosestir. Bu çalışmada sertlik gideriminde arıtılmış suyun kullanım alanı da göz önünde bulundurularak çok sert su sınıfına giren farklı oranlarda Ca²⁺ ve Mg²⁺ içeren sular MCDI ile arıtılarak proses suyu ve içme suyu elde edilmeye çalışılmıştır. Çalışmalar neticesinde 300 mg CaCO₃/L sertlik içeren sular proses suyu üretiminde %90 - %97 aralığında; içme suyu eldesinde ise %71 - %82 oranlarında arıtılmıştır. Enerji için Maliyet analizi yapıldığında proses suyu için maliyetler 0,01 – 0,02 \$/m³ aralığında değişirken içme suyu eldesi için bu maliyet 0,009 – 0,016 \$/m³ aralığında değişmektedir.


Anahtar kelimeler: Sertlik, Membran Kapasitif Deiyonizasyon, Tuzsuzlaştırma

Hardness Removal by Membrane Capacitive Deionization Process

*¹Halil İbrahim Uzun, ²Eyüp Debik

¹Muş Alparslan University, Faculty of Engineering and Architecture, Environmental Engineering Department,

ha.uzun@alparslan.edu.tr 

²Yıldız Technical University, Civil Engineering Faculty, Environmental Engineering Department, debik@yildiz.edu.tr 

Abstract

Calcium and Magnesium elements (+2) valued ion states form hardness in waters. Although it does not pose serious risks for human health, hard water causes negative effects such as decreasing production quality in the industry, shorten the life of the pipes and the life of the devices that produce or consume hot water. Water is classified as CaCO₃ equivalent (0 - 75 mg / L) soft, (75 - 150 mg / L) medium hard, (150 - 300 mg / L) hard, (>300 mg / L) as hard water. Membrane Capacitive deionization (MCDI) is an effective process for removing hardness types. In this study, taking the usage area of treated water in hardness removal, into account, water with different proportions of Ca²⁺ and Mg²⁺, which are classified as hard water, have been treated with MCDI to produce process water and drinking water. As a result of the studies, water containing 300 mg CaCO₃ / L hardness in the process water production in the range of 90% - 97%; in drinking water treatment, it was treated with % 71 - % 82. When cost analysis is performed, costs for process water vary between 0.01 - 0.02 \$ / m³, while this cost for drinking water varies between 0.009 - 0.016 \$ / m³.

Keywords: Hardness, Membrane Capacitive Deionization, Desalination

1. GİRİŞ

Suların sertliği, muhtevasında bulunan iki değerlikli metal katyonlarının sebep olduğu, suyun temas ettiği yüzeylerde tahribata yol açan, suyun tadını bozan ve su kalitesini

belirleyen bir parametredir [1]. Sertlik su içinde çözünen Ca²⁺, Mg²⁺, Sr²⁺, Fe²⁺, Mn²⁺ gibi iki değerlikli iyonların konsantrasyonlarına bağlıdır. Söz konusu bu iyonların HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SiO₃⁻ gibi anyonlar ile oluşturdukları tuzlar sertliği meydana getirir. Sulardaki

*¹Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, ha.uzun@alparslan.edu.tr,

Bu çalışma ISEM2018 sempozyumunda " Membran Kapasitif Deiyonizasyon Prosesi ile Sertlik Giderimi " başlıklı bildiri olarak sunulan çalışmadan geliştirilmiştir.

sertlik, suların temas halinde bulunduğu kayaç veya toprak dolayısı ile oluşur. Sular temas ettikleri sertlik kaynağı olan maddeleri çözerek bünyesine alır. Böylelikle sertlik oluşur. Özellikle yağışlar sırasında yağmur suları atmosfer gazları ile birleşerek asidik karaktere sahip olmaktadır. Bunun yanında toprakta meydana gelen biyolojik faaliyetler sonucunda açığa çıkan CO₂ suda çözünerek ona asidik bir karakter kazandırabilir [2].

Endüstriyel ve içme ihtiyacına yönelik kullanılacak olan sert suların arıtılması hem suların kullanım amaçları yönünden hem de suların nefaseti dolayısı ile önemlidir. Özellikle sertlik oluşturan kalsiyum ve magnezyum gibi +2 değerlikli iyonlar sıcak su kullanan veya üreten teknolojik ekipmanların borulama sistemlerinde ciddi tıkanmalara sebep olmaktadır [3]. Ayrıca arıtma sistemlerinde membranların kirlenerek ve tıkanarak işlevlerini kaybetmesi, kazan taşı oluşumu, temizlik verimliliğinde azalma, temizlik kimyasallarının sarfiyatında artış gibi problemlerin azaltılması ve giderilmesinde sertlik giderimi oldukça önemlidir [4]. Ancak suların arıtılmasında ve özellikle sertlik gideriminde suyun kullanım alanı oldukça önemlidir.

Endüstriyel ihtiyaca yönelik kullanılacak sulardan tüm iyonların giderilmesi istenebilir. Ancak içme sularında kalsiyumun ve magnezyumun sağlık açısından bilinen olumsuz bir etkisi bulunmamaktadır. Diğer taraftan kalsiyum insan vücudu için gerekli minerallerden biridir. Kemik yapısına katılmakla birlikte periferik sinirlerde ve kaslarda işlevin normal devamı için rol oynar. Magnezyum ise vücutta fosfat transferinde önemli rol oynayan elementlerden biridir. Ayrıca nükleik asitlerin yapısal düzenlerinin korunmasında önemli bir element olduğu kabul edilmektedir [5].

Sulardan sertlik gideriminde kimyasal çöktürme, iyon değiştirme, nanofiltrasyon ve ters ozmoz gibi membran prosesleri ile elektrodializ yaygın olarak kullanılan ve artık geleneksel arıtma sistemleri olarak ifade edilen proseslerdir [6]–[12].

Ancak kimyasal çöktürme işleminde kullanılan ilave kimyasallar içme sularında kısıtlanan maddelerdir. İyon değişimi ve membran işlemlerinin rejenerasyonunda açığa çıkan tek değerlikli iyonlar ve asitler, çevreye zararlı etkilere neden olmaktadır [4], [10], [13]. Bu arıtma yöntemleri arıtma yönteminin doğrudan kimyasal bir işleme dayanması, membranları meydana gelecek tıkanmaların azaltılmasında ve giderilmesinde kullanılan kimyasallar gibi ekstra kimyasal kullanımını gerektirmesi, enerji maliyetlerinin yüksek olması gibi dezavantajlar dolayısı ile ekonomik gözükmemektedir [12]. Bu sebeple sert suların arıtılmasında çevre dostu, esnek kullanıma sahip, düşük enerji maliyetleri olan arıtma yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Son yıllarda sert suların kontrolünde etkili bir alternatif olarak gösterilen kapasitif deiyonizasyon (CDI) elektrotlar

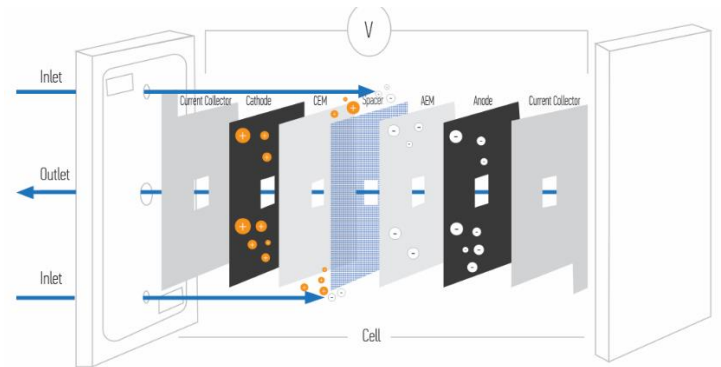
üzerinde elektrokimyasal adsorpsiyon / desorpsiyon yoluyla iyonların bertaraf edildiği bir teknolojidir [14]–[16]. CDI prosesinde uygulanan potansiyeller ile anot ve katot olarak ayrılan elektrotların yüzeyleri üzerinde zıt yüklü iyonları tutmak için elektriksel çift tabaka oluşturulur. Böylelikle zıt yüklü iyonlar karşıt elektrotlarda etkili bir biçimde tutulurlar. Kapasitif deiyonizasyon (CDI) nispeten düşük enerji tüketen, sertlik iyonlarının uzaklaştırılması için oldukça cazip, çevre dostu bir teknolojidir ve ikincil rejenerasyon atıkları oluşturmaz, pahalı membranlar ve yüksek basınç pompaları gerektirmez [17], [18].

Membran kapasitif deiyonizasyon (MCDI) ise CDI sisteminde elektrot yüzeylerine iyon seçici membran eklenmesi ile oluşturulan ve CDI teknolojisinin performansını arttırmada etkili olan bir prostestir [19]. İyon seçici membranlar karşıt elektrotlarda zıt yüklü iyonların etkili tutulmasını sağlarken aynı zamanda desorpsiyon sürecinde zıt iyonların karşı elektrotlara geçişlerini engellemektedir.

CDI prosesi ile tek değerli iyonların sudan bertarafına yönelik bir çok çalışma yapılmıştır ancak CDI kullanılarak sertliğin giderilmesi üzerine yapılan çalışmalar kısıtlıdır [14], [20], [21].

Bu çalışmada sertlik oluşturan kalsiyum ve magnezyum iyonları MCDI prosesi ile ekonomik olarak arıtılarak hem proses suyu kalitesine (%100'e yakın sertlik giderimi) hem de içme suyu kalitesine getirilmeye (%50 - %70) çalışılmıştır. MCDI prosesinde iyonların tercihli olarak giderildiği bilinmekte olduğundan kalsiyum ve magnezyum giderim verimleri ayrı ayrı tespit edilmeye çalışılmıştır. Son olarak MCDI ile sertlik gideriminde enerji sarfiyatları ve maliyetler ortaya konmuştur.

2. MALZEME VE YÖNTEM



Şekil 1. MCDI şematik gösterimi [22].

MCDI çalışmaları Şekil 1'de şematik olarak gösterilen Voltea marka MCDI sistemi ile yürütülmüştür. MCDI sistemi birbirini takip eden 24 adet hücreden oluşmakta, her bir hücre grafit akım dağıtıcı (kalınlık $\delta = 250 \mu\text{m}$), kimyasal olarak aynı katot ve anot görevi görmek üzere gözenekli karbon elektrotlar (PACMM 203, Irvine, CA,

USA, $\delta_e = 362 \mu\text{m}$), iyon geçişi kontrolünü sağlamak üzere anyon ve kation seçici membranlar (Neosepta AM-1 and Neosepta CM-1, Tokuyama Co., Japan, $\delta \approx 130 \mu\text{m}$), su akışını sağlaması ve elektrotları birbirinden ayırması için tekstil bir ayırıcı ($\delta = 115 \mu\text{m}$)'dan oluşmaktadır. Toplam elektrot alanı $1,18 \text{ m}^2$ ve karbon elektrotların direnci $1 (\pm 0,2) \Omega \cdot \text{cm}^2$ 'dir. Anyon ve kation seçici membranların dirençleri yaklaşık $2 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 'dir [23].

MCDI, arıtım (puring), ön hazırlık (prepurifying), desorpsiyon (wasting) şeklinde ifade edilebilecek üç aşamada otomatik ve manuel olarak çalıştırılmaktadır. Aşamaların tamamı aynı reaktörde gerçekleşmek olup fakat bu üç aşamada da arıtılmış su ile konsantrasyon farklı kanallardan otomatik olarak yönlendirilebilmektedir.

Ayrıca MCDI cihazında partikül maddelerin reaktör içine girmesini önlemek amacıyla 1L hacme sahip $0,1 \mu\text{m}$ por çaplı filtrenin bulunduğu bir ön arıtım hücresi bulunmaktadır. Reaktörün besleme ve arıtılmış suyun çıkış kanallarında iletkenlik propları bulunmaktadır ve iletkenlikler otomatik olarak ölçülerek yazılım aracılığı ile bilgisayara aktarılmaktadır. Elektriksel potansiyel (V), akım (A) ve basınç gibi değerler otomatik olarak ölçülebilmektedir.

MCDI sisteminde elektriksel potansiyel hidroliz şartlarının oluşmaması için maksimum $1,5 \text{ V}$ olacak şekilde sabit tutulmuştur. Cihaz reaktörü $0,3 \text{ L}$ hacminde olduğu için, tam karışım bir reaktör kabulü ile debi ve $0,3 \text{ L/dk}$ 'da tutulmuştur. Bu değerlerin üstündeki debilerde enerji sarfiyatı artmakta, altındaki değerlerde ön hazırlık aşamasında reaktörün tam olarak boşaltılması uzun sürmektedir. Bu bağlı olarak konsantrasyon akım hacmi artmaktadır. MCDI sistemi ile yapılan optimizasyon çalışmalarında işletme sürelerinin adsorpsiyon için 1440 saniye, sistemin hazırlık aşaması (reaktörde bulunan konsantrasyonun tamamen bertarafı ve elektrotların adsorpsiyon/desorpsiyon için şarj edilmesi) için 60 saniye olarak tespit edilmiştir. Desorpsiyon süresi giriş iletkenliğine bağlı olarak değişmektedir [24].

Ca^{2+} , Mg^{2+} ölçümleri için standart metotlar kullanılmıştır [Standart Methods].

MCDI cihazının, farklı içeriklerde çok sert sınıfta kabul edilen ($300 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$ sertliğine sahip su numuneleri) suları arıtma performansının ortaya konması için farklı içeriğe sahip numuneler hazırlanmıştır. İçerikte bulunan Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonları $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$ eşdeğeri olarak hazırlanmış ve giderim verimleri de bu eşdeğerler üzerinden hesaplanmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Farklı Konsantrasyonlarda Ca^{2+} ve Mg^{2+} Sertliği Olan Sulardan MCDI ile Proses Suyu Üretimi

Sular sertlik derecelerine göre sınıflandırılmaktadır. Tablo

1'de bu sınıflandırma ve konsantrasyonları verilmiştir.

Tablo 1. Suların $\text{mg CaCO}_3 / \text{L}$ sertlik derecesi sınıflandırması

$\text{mg CaCO}_3 / \text{L}$	Sertlik Derecesi
0 – 75	Yumuşak
75 – 150	Orta Sert
150 – 300	Sert
300 ve üzeri	Çok Sert

Yaklaşık (1:1), (1:2) ve (2:1) ve toplam sertliği yaklaşık $300 \text{ mg CaCO}_3 / \text{L}$ toplam sertliği olan çok sert sınıfa giren MCDI ile %100'e yakın giderim verimi ile artırılarak proses suyu (ultra saf) elde edilmeye çalışılmıştır. Hazırlanan çözeltilerin Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarından kaynaklanan sertlikleri ile toplam sertlikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Hazırlanan Çözeltilerin Ca^{2+} ve Mg^{2+} ile Toplam Sertlik Dereceleri

$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ Giriş Oranları	Ca^{2+} Sertliği mgCaCO_3/L	Mg^{2+} Sertliği mgCaCO_3/L	T.S. mgCaCO_3/L
1:1	155	152	307
2:1	195	110	305
1:2	110	190	310
Ca^{2+}	305	-	305
Mg^{2+}	-	300	300

Farklı oranlarda hazırlanan çözeltiler MCDI cihazı ile proses suyu elde etmek amacıyla ultra saf su üretilecek düzeyde artırılmıştır.

Elde edilen veriler Tablo 2'de verilmiştir. İletkenlik üzerinden giderim verimleri Ca^{2+} : Mg^{2+} için (1:1), (1:2), (2:1) için sırasıyla %97, %94 ve %92'dir. Yalnızca Ca^{2+} iyonlarından ileri gelen sertlik için iletkenlik giderim verimi %99 iken, yalnızca Mg^{2+} iyonlarından ileri gelen sertlik için iletkenlik giderim verimi %92'dir. İyonların elektrotlara göç ettirilmesinde sulu yarı çapları, elektrotların gözenek boyutları ve bu boyutların dağılımları önemlidir. Mikro ve makro gözenek boyutunun dengeli olarak dağıldığı elektrotlarda sulu yarı çapı yüksek olan iyonların daha etkili giderilebileceği söylenebilir [25].

Mg^{2+} ($4,28 \text{ \AA}$) ve Ca^{2+} ($4,12 \text{ \AA}$) sulu yarı çaplarının birbirine yakın olduğu göz önüne alındığında, Mg^{2+} ve Ca^{2+} iyonlarının dengeli olarak arıtılabilir. MCDI ile yapılan çalışmalar sonucunda standart hatalar göz önüne alındığında Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının dengeli olarak arıtıldığı görülmektedir.

Tablo 3. MCDI ile proses suyu eldesinde performans göstergeleri

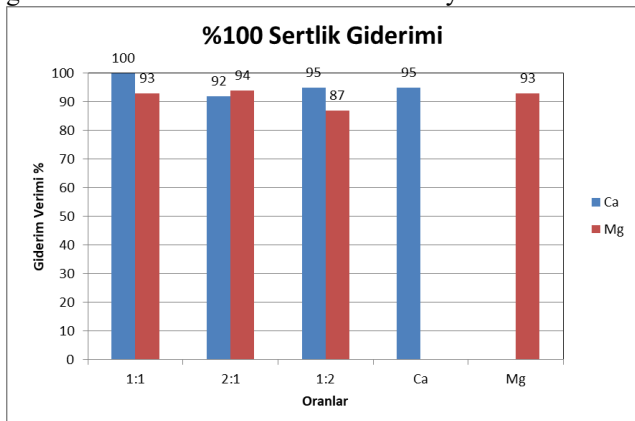
Ca ²⁺ ve Mg ²⁺ Sertliği Oranları	(1:1)	(2:1)	(1:2)	Ca ²⁺	Mg ²⁺
İletkenlik Giderimi (%)	97	94	92	99	92
Ortalama Akım (A)	2,1	1,7	1,9	1,65	3,1
Ortalama Potansiyel (V)	1,41	1,21	1,14	1,17	1,25
Su Geri Kazanımı (%)	91	91	91	91	89
Giriş İletkenliği (µS/cm)	465	367	531	351	677

MCDI ile arıtım sonrası kalan Ca²⁺ ve Mg²⁺ sertliklerinin mg CaCO₃ / L cinsinden miktarları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. MCDI ile proses suyu eldesinde arıtım sonrası kalan Ca²⁺ ve Mg²⁺ iyonlarından kaynaklanan sertlik miktarları

Ca ²⁺ + Mg ²⁺ Sertlik Oranları	Ca ²⁺ Sertliği mgCaCO ₃ /L	Mg ²⁺ Sertliği mgCaCO ₃ /L	T.S. Giderim Verimi %
1:1	<1	10	97
2:1	15	7	93
1:2	5	25	90
Ca ²⁺	15	-	95
Mg ²⁺	-	20	93

Sonuçlara göre Şekil 2'de gösterildiği gibi yaklaşık (1:1) oranında hazırlanan çözelti için Ca²⁺ ve Mg²⁺ sertliklerinin giderim verimleri sırasıyla %100 ve %93; (1:2) oranında hazırlanan çözelti için sırasıyla %92 ve %94; (2:1) oranı için sırasıyla %95 ve %87 şeklindedir. Yalnızca Ca²⁺ veya Mg²⁺ sertliği içeren çözeltinin artırılması ile Ca²⁺ ve Mg²⁺ sertliklerinin giderim verimleri sırasıyla %95 ve %93'tür. MCDI ile arıtımda iletkenlik ilk sürücü kuvvet olarak değerlendirilmektedir. (1:1) oranında hazırlanan çözeltide bulunan Ca²⁺ iyonlarının yalnızca Ca²⁺ iyonları ile hazırlanan çözeltide bulunan iyonlardan daha etkili giderilmesi iletkenlik farklılıklarından kaynaklanmaktadır.

**Şekil 2.** Proses suyu eldesinde Ca²⁺ ve Mg²⁺ giderim verimleri

3.2. Farklı Konsantrasyonlarda Ca²⁺ ve Mg²⁺ Sertliği Olan Sulardan MCDI ile İçme Suyu Eldesi

Sertlik giderimi daha önce ifade edildiği gibi suyun kullanım alanına uygun olarak belirlenmelidir. Bu sebeple içme suyu eldesine yönelik çalışmalarda yaklaşık olarak 300 mg CaCO₃ / L sertlik içeren suların 75 mg CaCO₃ / L düzeyine indirilerek yumuşatılması hedeflenmiştir.

(1:1), (1:2) ve (2:1) oranında Ca²⁺ ve Mg²⁺ iyonları içeren suların MCDI ile arıtılmasında kullanılan akım ve potansiyel verileri Tablo 5'de gösterilmektedir. Bu veriler ile yapılan arıtım sonrasında (1:1), (1:2) ve (2:1) oranlarında Ca²⁺ ve Mg²⁺ içeren suların arıtılmasında iletkenlik giderim verimleri sırasıyla %77, %77 ve %71'dir. Yalnızca Ca²⁺ iyonu ile hazırlanan çözeltide iletkenlik giderim verimi %78 ve yalnızca Mg²⁺ iyonu ile hazırlanan çözeltide iletkenlik giderim verimi %73'tür.

Tablo 5. MCDI ile içme suyu eldesinde performans göstergeleri

Ca ²⁺ :Mg ²⁺ Oranları	(1:1)	(2:1)	(1:2)	Ca ²⁺	Mg ²⁺
İletkenlik Giderimi (%)	77	77	71	78	73
Ortalama Akım (A)	1,7	1,50	2,1	1,29	2,7
Ortalama Potansiyel (V)	1,2	1,1	1,3	1	1,25
Su Geri Kazanımı (%)	91	91	91	91	86
Giriş İletkenliği (µS/cm)	465	367	531	351	677

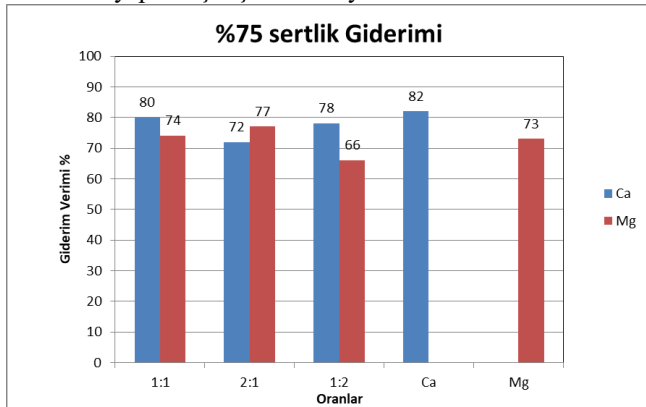
Farklı oranlarda kalsiyum ve magnezyum sertliği içeren numunelerin MCDI ile arıtım sonrası kalan Ca²⁺ ve Mg²⁺ sertliklerinin mg CaCO₃ / L cinsinden miktarları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. MCDI ile içme suyu eldesinde arıtım sonrası kalan Ca²⁺ ve Mg²⁺ iyonlarından kaynaklanan sertlik miktarları

Ca ²⁺ + Mg ²⁺ Giriş Oranları	Ca ²⁺ Sertliği mgCaCO ₃ /L	Mg ²⁺ Sertliği mgCaCO ₃ /L	T.S. Giderim Verimi %
1:1	30	39	77
2:1	55	25	74
1:2	24	65	71
Ca ²⁺	54	-	82
Mg ²⁺	-	82	73

(1:1) oranında hazırlanan çözelti için Ca²⁺ ve Mg²⁺ sertliği içeren sudaki giderim verimleri sırasıyla %80 ve %74; (1:2) oranında hazırlanan çözelti için sırasıyla %72 ve %77; (2:1) oranı için sırasıyla %78 ve %66 elde edilmiştir. Sadece Ca²⁺ ve yalnızca Mg²⁺ ile hazırlanan numunelerin artırılması ile Ca²⁺ ve Mg²⁺ giderim verimleri sırasıyla %82 ve

%73'tür. Şekil 3'de de gösterildiği gibi sonuçlar ultra saf su eldesinde yapılan çalışmalarla uyumludur.



Şekil 3. Proses suyu eldesinde Ca²⁺ ve Mg²⁺ sertliklerinin giderim verimleri

3.3. MCDI ile Sertlik Gideriminde Maliyet

Daha önce ifade edildiği gibi sulardan sertlik gideriminde, arıtılacak suyun kullanım alanı oldukça önemlidir. Fakat geleneksel sertlik giderim yöntemlerinde sertlik giderim verimi üzerinde esneklik bulunmamaktadır. MCDI prosesiyle yürütülen çalışmalarda da görüldüğü gibi istenen verimde arıtım yapmak mümkündür. Bu arıtım ekonomisini açısından da oldukça önemlidir. MCDI ile 300 mgCaCO₃/L sertlik içeren suyun %95 – 100 arasında arıtılarak proses suyu elde edilmesi ile yaklaşık %75 oranında arıtma veriminde içme suyu özelliğinde su elde edilmesinde toplam enerji sarfıyatı ve toplam maliyet hesaplanarak tabloda verilmiştir.

Tablo 7. MCDI ile sertlik gideriminde enerji sarfıyatları ve maliyetler

Ca ²⁺ : Mg ²⁺ Oranları	Proses Suyu Eldesi				
	(1:1)	(2:1)	(1:2)	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Enerji Sarfıyatı kWsa/m ³	0,164	0,114	0,120	0,107	0,215
Maliyet \$/m ³	0,015	0,010	0,010	0,009	0,019
	İçme Suyu Eldesi				
	0,113	0,092	0,152	0,072	0,187
	Enerji Sarfıyatı kWsa/m ³				
Maliyet \$/m ³	0,01	0,008	0,014	0,007	0,016

Tablo 7'den görüleceği gibi MCDI prosesi kullanılarak aynı özellikteki suyun farklı amaçlarla arıtılması ile farklı enerji maliyetleri ortaya çıkmakta, ihtiyaca göre düşük maliyetler elde edilebilmektedir.

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Sert sular içeriğinde bulunan +2 değerlikli metaller dolayısıyla ile temas ettikleri yüzeylerde tahribata yol açmakla birlikte

suyun tadından ciddi bozulmalara da sebep olmaktadır. Bu olumsuzluklar sebebiyle sert suların yumuşatılması gerekmektedir. Geleneksel yöntemler ekonomik olmamaları, ilave kimyasal gerektirmeleri gibi dezavantajlara sahiptir. Kapasitif deiyonizasyon prosesinin iyon seçici membranlarla donatılmış bir modifikasyonu olan membran kapasitif deiyonizasyon prosesi (MCDI) sertlik gideriminde kullanılabilen, ekonomik, kimyasal gerektirmeyen ekonomik yeni bir teknolojidir.

Sertlik giderimi yapılırken, arıtılacak suyun ne amaçla kullanılacağı, arıtım teknolojisi ve maliyet açısından önemlidir. Bu çalışmada endüstriyel amaçla kullanılacak proses suyu üretimi için farklı Ca²⁺ ve Mg²⁺ sertliğine sahip yaklaşık 300 mg CaCO₃/L sertlik içeren numuneler MCDI ile %90 - %97 aralığında arıtılma yapılarak proses suyu elde edilmiştir. İçme suyu eldesine yönelik çalışmalarda ise aynı özellikteki numuneler %71 - %82 oranlarından arıtılarak başarı ile yumuşatılmıştır. Yapılan maliyet analizine göre proses suyu için 0,01 – 0,02 \$/m³ enerji maliyet oluşurken içme suyu eldesi için bu değer 0,009 – 0,016 \$/m³ aralığında değişmektedir.

Sonuç olarak MCDI prosenin istenen kalitede çıkış suyu elde etmek için esnek olarak kullanılabildiği ve böylece daha düşük maliyetlere sebep olduğu ortaya konmuştur.

KAYNAKÇA

- [1].J. M. Symons, L. C. Bradley, T. C. Cleveland, "The drinking water dictionary", American Water Works Association. Mc Graw Hill, 2000.
- [2].Ö. F. Tekbaş, G. Mahir, "Suların Sertlik Dereceleri ve Sağlık Etkileri," *TSK Koruyucu Hekim. Bülteni*, vol. 3.7, pp. 156–161, 2004.
- [3].C. Gabrielli, G. Maurin, H. Francy-Chausson, P. Thery, T. T. M. Tran, and M. Tlili, "Electrochemical water softening: principle and application," *Desalination*, 2006.
- [4].J. S. Park, J. H. Song, K. H. Yeon, and S. H. Moon, "Removal of hardness ions from tap water using electromembrane processes," *Desalination*, 2007.
- [5].B. Boysal, F. Şengörür, "Su Sertliğinin İnsan Sağlığı İçin Önemi," *SAÜ Fen Bilim. Derg.*, vol. 13:1, pp. 7–10, 2009.
- [6].J. G. Dean, F. L. Bosqui, and K. H. Lanouette, "Removing heavy metals from waste water," *Environ. Sci. Technol.*, 1972.
- [7]. A. R. Hauck, S. Sourirajan, "Performance of porous cellulose acetate membranes for the reverse osmosis treatment of hard and waste waters," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 3.12, pp. 1269–1275, 1969.
- [8].M. K. Nagarajan and H. L. Paine, "Water hardness control by detergent builders," *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1984.
- [9].B. H. Wiers, R. J. Grosse, and W. a Cilley, "Divalent and trivalent ion exchange with zeolite A.," *Environ. Sci. Technol.*, 1982.
- [10].S. Ghizellaoui, A. Chibani, and S. Ghizellaoui, "Use of nanofiltration for partial softening of very hard water," *Desalination*, 2005.

- [11].K. H. Yeon, J. H. Song, and S. H. Moon, "A study on stack configuration of continuous electrodeionization for removal of heavy metal ions from the primary coolant of a nuclear power plant," *Water Res.*, 2004.
- [12].J. H. Song, K. H. Yeon, J. Cho, and S. H. Moon, "Effects of the operating parameters on the reverse osmosis- electrodeionization performance in the production of high purity water," *Korean J. Chem. Eng.*, 2005.
- [13].P. Čuda, P. Pospíšil, and J. Tenglerová, "Reverse osmosis in water treatment for boilers," *Desalination*, 2006.
- [14].Y. Oren, "Capacitive deionization (CDI) for desalination and water treatment - past, present and future (a review)," *Desalination*, vol. 228, no. 1–3, pp. 10–29, 2008.
- [15].S. Porada, R. Zhao, A. Van Der Wal, V. Presser, and P. M. Biesheuvel, "Review on the science and technology of water desalination by capacitive deionization," *Progress in Materials Science*. 2013.
- [16].M. E. Suss, S. Porada, X. Sun, P. M. Biesheuvel, J. Yoon, and V. Presser, "Water desalination via capacitive deionization: What is it and what can we expect from it?," *Energy and Environmental Science*. 2015.
- [17].H. J. Ahn, J. H. Lee, Y. Jeong, J. H. Lee, C. S. Chi, and H. J. Oh, "Nanostructured carbon cloth electrode for desalination from aqueous solutions," *Mater. Sci. Eng. A*, 2007.
- [18].J. F. Farmer, J. C., Fix, D. V., Mack, G. V., Pekala, R. W., & Poco, "Capacitive deionization of NaCl and NaNO₃ solutions with carbon aerogel electrodes," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 143(1), p. 159–169., 1996.
- [19].P. M. Biesheuvel and A. van der Wal, "Membrane capacitive deionization," *J. Memb. Sci.*, vol. 346, no. 2, pp. 256–262, 2010.
- [20].J. B. Lee, K. K. Park, H. M. Eum, and C. W. Lee, "Desalination of a thermal power plant wastewater by membrane capacitive deionization," *Desalination*, vol. 196, no. 1–3, pp. 125–134, 2006.
- [21].T. J. Welgemoed and C. F. Schutte, "Capacitive Deionization TechnologyTM: An alternative desalination solution," *Desalination*, vol. 183, no. 1–3, pp. 327–340, 2005.
- [22].H. I. Uzun and E. Debik, "Economical approach to nitrate removal via membrane capacitive deionization," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 209, 2019.
- [23].P. Długolecki and A. Van Der Wal, "Energy recovery in membrane capacitive deionization," *Environ. Sci. Technol.*, 2013.
- [24].E. Debik, H. İ., Uzun, F. İlhan, Y. Avşar, "Yeni Bir Deiyonizasyon Prosesi: Kapasitif Deiyonizasyon," *Uluslararası Katılımlı Çevre Sempozyumu*, vol. 1, pp. 172–177, 2014.
- [25].S. J. Seo, H. Jeon, J. K. Lee, G. Y. Kim, D. Park, H. Nojima, J. Lee, and S. H. Moon, "Investigation on removal of hardness ions by capacitive deionization (CDI) for water softening applications," *Water Res.*, vol. 44, no. 7, pp. 2267–2275, 2010.

Ancient Karez System in Afghanistan: The Perspective of Construction and Maintenance

¹Abobakar Himat, *¹Selim Dogan

¹ Department of Environmental Engineering, Konya Technical University, Konya, 42031, Turkey

selim@SelimDogan.com 

abobakar.himat@gmail.com 

Research Paper

Arrival Date: 02.10.2018

Accepted Date: 29.03.2019

Abstract

Ancient Karez has a history of millennium. Karez is underground tunnel which is constructed in ground by digging the main well of the system and extending underground tunnel in foothills of the mountains. This system extracts groundwater to surface by gravity without using any pumping equipment. Ancient Karez system is viable in hot, arid and semi-arid climate regions. These systems are one of the best ways of extracting groundwater by gravity in such poor regions. Minimum slope is vital for extracting groundwater to the surface in Karez system. In this study, the perspective of construction and maintenance of Karez system in Afghanistan is assessed. Information related to Karez construction and maintenance is provided in order to improve the quality of work during these processes. The Karez system cannot be used effectively if construction and maintenance processes are not carried out properly. This will affect agricultural productions, water supply and social life in the region. Some possible solutions are suggested for the mitigation of the risk of collapsing and extinction of Karez systems. Some recommendations are provided to encourage the associated organizations in Afghanistan for rehabilitation of Karez irrigation and water supply system.

Keywords: Ancient water supply, arid climate, irrigation system, Karez, Qanat.

1. INTRODUCTION

Ancient Karez is environmentally friendly and sustainable irrigation and water supply system in rural Afghanistan. Karez is durable and gravity-driven system with continuous flow. Most of water supply systems including rural infrastructures such as Karez systems have been damaged and destroyed during the past three decades of war and civil conflicts in Afghanistan [1]. Wars, drought and social collapse disrupted land management and agricultural production systems in (Khost, Paktika and Paktya provinces) southeastern parts of Afghanistan [2]. Significant destruction of cultural heritage occurred as a consequence of war and civil conflict in South Central Asia and the Middle East [3].

The Karez systems irrigate about 163,000 ha of land with 6000–7000 individual Karezes throughout Afghanistan [4–5]. The extinction of ancient Karez water supply has been happening in all over the world. According to Hussain et. al. [5], 60–70% of the Karezes are not in use due to drought and low groundwater recharge. Out of total 5887 recorded Karezes in Afghanistan only 11% (611) were identified as being active and 89% (5276) as inactive [3]. There are

several reasons for Karez extinction [6]. The reasons for Karez extinction are environmental and socio-economic effects. The reason of abandonment of traditional structures is that modern structures involve fewer amounts of work and maintenance than traditional structures [7]. The origin of Karez is not known, some researcher has been proposed that the origin of Karez (Qanat) construction was in Persia more than 2500 [8–10] or 2800 [11] or 3000 [12–16] years ago.

Karez is common water extraction technique in such regions where surface water is not available. The initial impact of Karez system on human-environment relations is best examined in hot and arid regions of the world [17]. The rural Afghan inhabitants which are living in remote regions of the country, where rivers are not available rely upon groundwater delivered from Karezes [18]. Location map of Afghanistan and concentrated Karez region of the country is illustrated in Fig. 1.

The water table is shallow in the foothills of mountains. The flow path of groundwater can be interfered by installing the main well of Karez in unconfined aquifer. The extracted water from the main well can be transported to the surface

*1 Corresponding Author: Department of Environmental Engineering, Konya Technical University, Konya, 42031, Turkey, selim@SelimDogan.com, +905326347178

by gravity via underground channels [19]. Constructing Karez is difficult; however, Karez is long lasting once it is constructed. Karez is underground conduit with a gentle slope to transport water from an unconfined aquifer to surface by gravity for irrigation, livestock and other water supply purposes. Karez systems tap into subterranean water in a manner that efficiently delivers large quantities of water to the surface. The water is transported downstream by the gravity in channels from a source which is typically an upland unconfined aquifer. Karez systems allow water to be transported over long distances without much loss via evaporation.

The Karez systems are not well resistant to natural disasters; e.g., earthquake and flood. There is need for risk assessment of Karez to protect these structures from damages and collapsing. The significant source of Karez extracted water is melted snow water, so it can be also counted as less polluted water source due to human contamination. Generally, the Karez systems have been in rural areas away from polluted city centers, thus the groundwater quality itself might be good in terms of anthropogenic pollutions. The Karez system could supply considerably good quality of fresh water than most of surface water for human consumptions. Natural treatment process occurs during the snow melt water infiltration. There is no need for further water treatment for many cases.

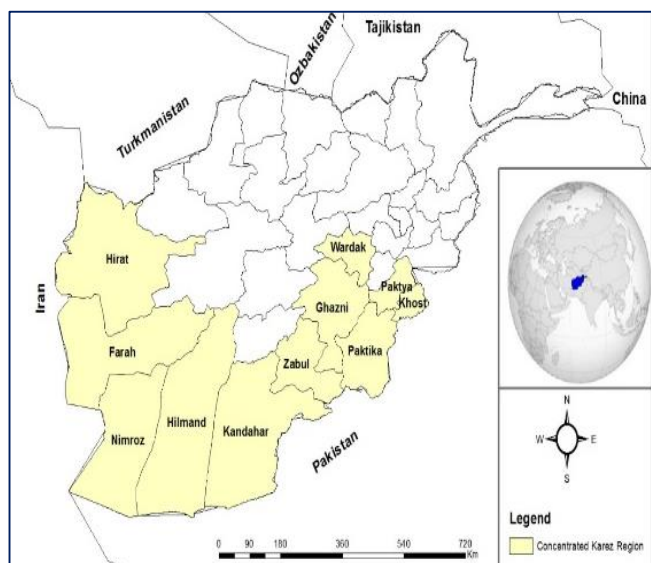


Fig. 1. Location map of Afghanistan and concentrated Karez region

In this study, the perspective of Karez system construction and maintenance measures in Afghanistan are assessed. Recommendations are provided in order to encourage the associated organizations for taking cautions in terms of improvement of cleaning and maintenance of these ancient water supply systems. The objective of this study is to assist the effective use of Karez system which maintains the agricultural productivity and revival of socioeconomic life beside the prevention of the accidents that cause the injuries or loss of lives of the workers. The connection between

migration and revival of socioeconomic life is then discussed.

2. THE FUNCTIONS OF ANCIENT KAREZ SYSTEM IN AFGHANISTAN

Karez systems are ecologically sustainable systems with a substantial potential in water supply in order to reduce the negative consequences of global water deficiency especially in the dry and arid regions [20]. Karez systems have two main functions; which are water supply (technical) and social [21]. Groundwater is the primary source for irrigation and water supply in most parts of Afghanistan. Groundwater contamination map of Afghanistan due to natural factors is shown in Fig. 2. The groundwater of the country might be polluted by natural contaminants such as; Arsenic, Boron, Fluoride and Sulfate as shown in Fig. 2.

The southwestern region of concentrated Karez areas of the country is free of Arsenic contamination except Ghazni, Wardak and northwestern Heart province.

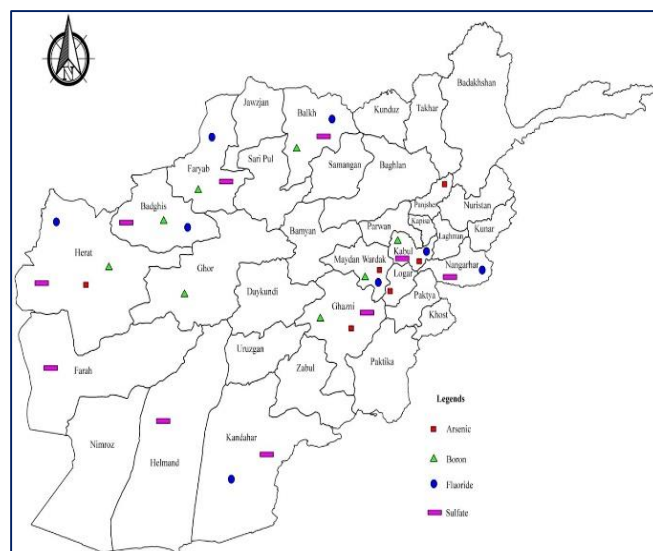


Fig. 2. Natural factors of groundwater contamination of Afghanistan [22]

Sufficient water resources are not available in most regions of the country. Inadequate water resources and unsustainable practices of irrigation have dramatically depleted the groundwater level and dried up Karez systems which resulted in loss of local community control over water resources [23]. The absence of a reliable water supply to farmers is the most significant obstacle to food security and agricultural development in Afghanistan [24]. Agricultural activities without a proper water management system may be possible in temperate humid areas; however, agricultural activities may not be possible without a proper irrigation system in dry regions [25]. Arid climate of southwestern and lack of surface water is the main reason for concentrated Karez existence in these regions of the country. The environmental water demand is provided by groundwater due to the lack of precipitation. The groundwater is recharged by seepage from streams, canals and fields in dry

regions [26]. Most of rural communities in Afghanistan don't have access to tap water and there is absence of state-owned irrigation infrastructures. The residents are supposed to manage water by their own community traditions. Farmers in Afghanistan reserve the water of Karez in small water storage ponds at nights and irrigate their farmlands in the early morning in order to minimize the evaporation losses while growing crops during the summer and spring seasons. The water of Karez is shared among farmers by local community based decisions. The owners of farmlands have share by rotational basis. Generally, the time of rotation varies between 1-2 weeks.

Main well is the source of water and provides most of the water for Karez (Fig. 3). The numbers of main well of Karez should be increased during the dry periods and drought years to provide more water for rural communities. Installing the main well in the foothill of the mountains is very difficult that needs experience and some knowledge about the groundwater route. Karez system would fail in cases the

main well is not installed in the shallowest aquifer of the area.

The length of Karez is directly related to the characters of the Main well. Underground channel of Karez would be longer in case the main well is deeper. This may cause the system not cost-effective due to the construction, maintenance and cleaning costs of Karez which would take more time and more labor force.

The slope of terrain is also important factor for Karez's length. If the terrain is steeper the length of Karez would be short. If the terrain is flat, so the length of Karez would be long. The length of Karez also depends on the water table. There is requirement of experimental works for understanding the favorable slope for Karez water transportation channel. Extracting water to the surface gets easier by gravity in the shallow water table. The underground channel of Karez should be shorter in regions with shallow water table. It is more difficult to extract water to the surface by gravity when the water table is deeper.

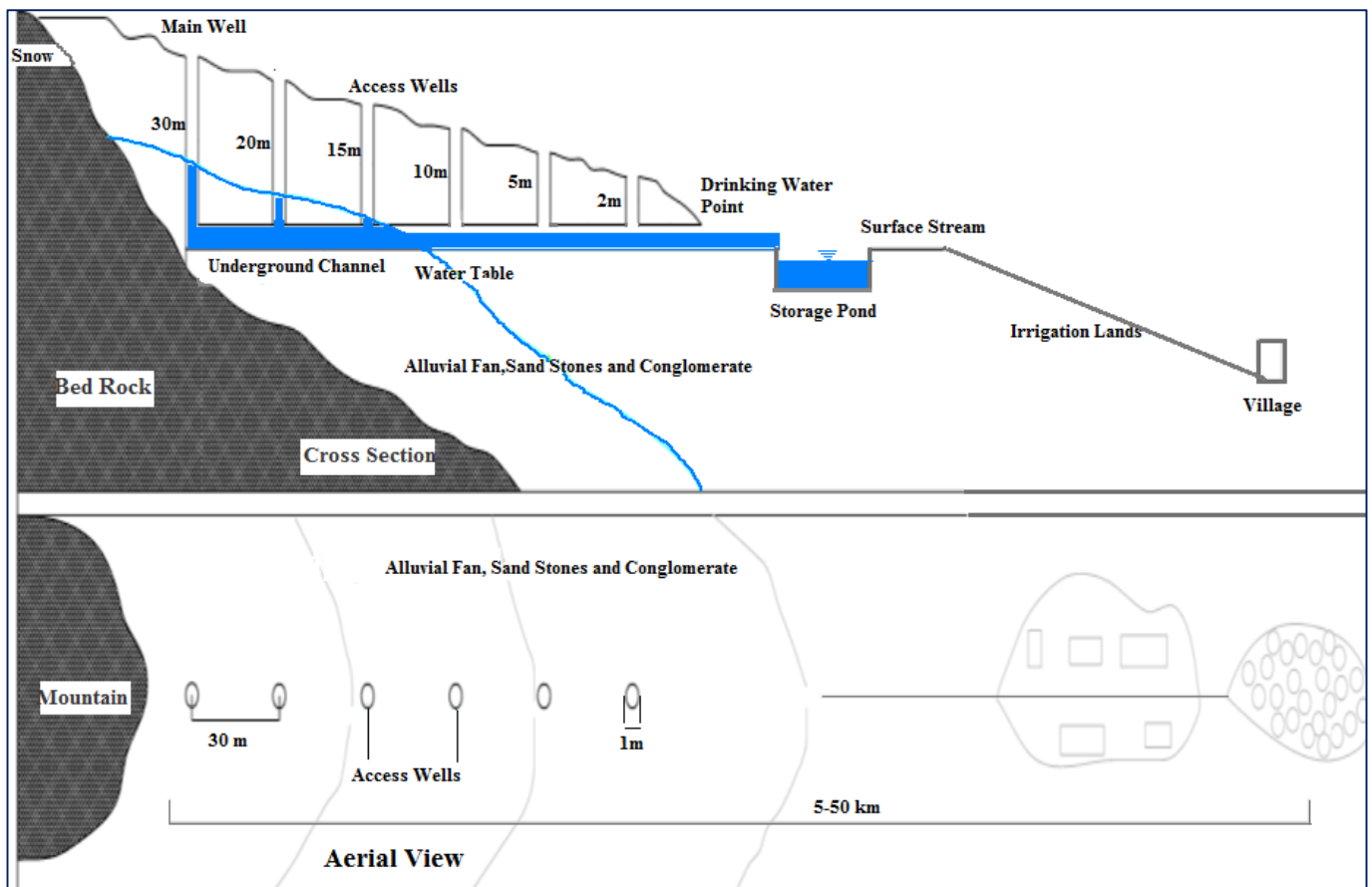


Fig. 3. A Karez cross-section and plan

The access wells are also vital as oxygen supplier to underground Karez workers. In Afghanistan the distance between two access wells is typically 30 meters, however, varies between 15-35 meters due to the soil structure, geological and topographical characteristics of the region. The distance between two access wells should not be exceeded. Exceeded distance between two access wells

would make the system prone to collapse and dangerous for Karez workers. Karez workers used oil lamps in underground tunnels in the last decades; however nowadays they use torches. The use of oil lamps in long and deep underground tunnel is more imminent danger.

Sometimes Karez systems are confused with natural water springs. Some farmers expand the mouth of spring for more water supplies, so in this situation expanded spring mouth may look like a drinking water point of a Karez system. There are some differences between Karez and natural spring. Karez systems have access wells and underground water transportation tunnel and Main well, in contrast to the spring that does not have such components. The transportation of water is in surface canal in natural water springs; however, water flows in underground channel in Karez system.

3. COMPONENTS OF KAREZ SYSTEM

The components of Karez system are; (1) main well (Sarchah), (2) infiltration part of the tunnel, (3) water

conveyance part of the tunnel, (4) open channel, (5) access wells (Chah), (6) small storage pond (Hawz), (7) the irrigation area, (8) sand and gravel, (9) layers of soil, (10) drinking water point (Awkhura) [27]. Karez system has three technical functions; a) water collection (underground), b) water transportation (underground and surface), c) water distribution (surface) [27].

Some major components of Karez system are illustrated in Fig. 3. In this system the most crucial parts are: Main well, underground channel, access wells and drinking water point respectively. The deposit of snow in mountains is vital for feeding the main well of the system. Most of the precipitation occurs as snow during the winter. The accumulated snow on the mountains melts during the spring and summer seasons. The melted snow feeds the Karez dug unconfined aquifers.



Fig. 4. A group of Karezes, a village and irrigated area in Paktia province of Afghanistan [map data: Google, Digital Globe]

Aerial view of three series of Karezes with access wells, drinking water point and the village beside irrigated area in Paktia province of southeastern Afghanistan is illustrated in Fig. 4.

4. CONSTRUCTION OF KAREZ

Geographical, hydrological and topographical maps of the site should be taken into consideration prior to the Karez construction. The knowledge about local hydrology, geography and topography and social conditions are essential for applying historical and traditional structures [7]. The Karez system must be constructed away from the earthquake fault lines and high risk regions of flood. Afghans have used Karez systems for irrigation, livestock and domestic water supply purposes for millennium [28]. The reasons for Karez construction are; the absence of surface

water resources (streams, rivers, lakes), being in an undeveloped remote region, inadequate precipitation, high evaporation and poor financial conditions. These severe conditions rural inhabitants of the country have forced to dig Karez systems in their communities for getting access to water. Karez system is constructed as the series of access wells connected by gently sloping tunnels. Karez systems dug and constructed by professional Karez workers (Karezkan) with manual labor system. There are two kinds of workers for Karez construction and maintenance; a) Skilled Karez labors; which generally work underground, b) Unskilled Karez labors; which usually work in surface. Underground workers are more vulnerable to the risks of injuries and death.

There are three types of Karez in rural Afghanistan; a) Long Karez, b) Short Karez c) Tailed Karez [27]. Short and tailed

Karez systems are not common in Afghanistan. The most common type of existing Karez in the country is long Karez system. The type of Karez is selected due to geographical, physical, topographical, hydrogeological and hydrological conditions of a region which might be a function of the depth of water table, soil properties and slope of terrain. The southwestern region is covered by; conglomerates, sand, loams, sandstones, siltstones, volcanic rocks, limestones, shales and dolomites as shown in Fig. 5.

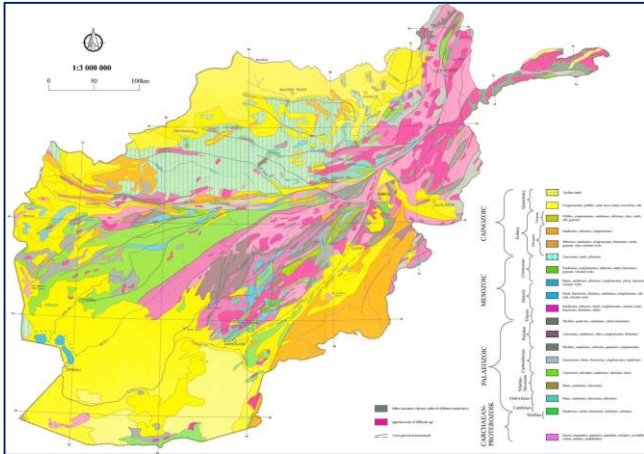


Fig. 5. Geological map of Afghanistan [29]

The installation of main well is the most important part of the system. There are some local experienced Karez workers which are responsible for determination of suitable place for main well of Karez. The most important point for determination of suitable place for main well is to find the shallowest unconfined aquifer for digging the main well.

The most challenging task is to install access wells on a straight line during the construction of Karez system. The access wells on the surface may look lined up very smoothly, however, the underground tunnel is very uneven and complicated. During the excavation process in underground tunnel, in some cases Karez workers faced with big firm rocks in tunnel due to these big firm rocks the workers change their route. This is one of the reason of underground tunnel unevenness. The complexity and unevenness of tunnel make the Karez system more difficult and dangerous for construction, maintenance and cleaning processes. The main purpose of access wells is ventilation. The access wells have also very important role during cleaning and maintenance of Karez system. Adequate drainage system is also important in the surface of Karez near to access wells for protecting the Karez from flood and entry of other contaminants.

5. MAINTENANCE OF KAREZ

The maintenance of Karez is the excavation process which is carried out by Karez workers in order to protect the system for sustainable uses. Sustained maintenance is crucial for preservation of the Karez system [7]. The protection of Karez is economic and social necessity for rural poor communities

[30]. The cleaning and maintenance of Karez system is duty of the concerned community, however some national and international organizations support communities for rehabilitation of Karez systems for a better use. Maintenance of Karez system is crucial in order to use this water supply system in a better way with a minimum water loss. Water distribution in Karez system is respectively effective, however, there is still room for further improvement in order to minimize water losses while transportation which may maximize the available water supply and agricultural productions [31].

The following routines should be undertaken for Karez cleaning and maintenance:

- Cleaning of silt and deposited debris from underground channel,
- Opening and cleaning of access wells,
- Removing collapsed materials from underground tunnel,
- Repairing underground tunnel,
- Repairing access wells,
- Rerouting the underground tunnel where the cleaning of tunnel is impossible and dangerous.

The team of workers for Karez cleaning and maintenance generally comprises from four Karez workers. Two of them generally work in underground and two of them work in the surface. The low stability of the structure and high risk of collapse make Karez system more difficult for further excavation and restoration [32]. The underground workers are more prone to risk than the surface workers are.

Clogging of underground channel in Karez due to deposited silt is one of the biggest problems which threatening the durability of the system. Most of the silt is dropped from the access wells and underground channel walls to the underground channel bed. As an alternative solution, a dry stone masonry should be carried out in Karez access wells and underground channel walls for protecting the underground channel bed from clogging. Dry stone masonry also carried out in order to maintain damaged and collapsed access wells and underground tunnel walls. Experienced workers are required for cleaning and maintenance of Karez.

The flow direction of water in Karez in underground channel is from upstream (main well) to downstream (drinking water point). The water flow in the bed of channel would help Karez workers to transport some deposited silts from upstream to downstream easily via water flow. Thus, the cleaning process of Karez should starts from main well through the drinking water point downstream. Generally the main well of the system installs in the foothill of mountains and extend the channel with installing access wells downstream to the flat areas. Thus, the depth of main well is bigger than the access wells.

5.1 Improvements of Karez Maintenance

Ancient Karez systems are locally developed systems without any installed equipment. Locally available materials

are used for maintenance of these systems. Stones and timbers are available in every part of Afghanistan. Installing stones protect the system from flood damages and help to minimize the erosion of access wells. Installing timbers can protect the system from collapsing during the maintenance periods. Installation of timbers is also vital for occupational health and safety.

There is need for conducting some field studies for improvement of Karez maintenance practices. Therefore, experimental work should be carried out for improvement of Karez maintenance. There is a list of some possible improvement opportunities for Karez maintenance:

- Capping of access wells with stone masonry and other local available materials to protect access wells from flood and another materials entry,
- Improvement of surface channel by pitching stones and other local available materials,
- Capping of storage ponds with local available impermeable layers.

Some equipment for Karez construction and maintenance should be provided; leather/rubber bucket (Salwargha), string, wheel and pulley, wheel barrow, pick, shovel,

sledgehammer, torches etc. Leather/rubber bucket is locally available and use for cleaning the Karez system.

The weight of leather bucket with wet debris varies between 40-50 kg. Generally the shape of leather bucket is circular truncated cone. In most cases the dimensions of the leather bucket are; $d_1=0.15\text{m}$, $d_2=0.35\text{m}$, $h=0.50\text{ m}$. The capacity of leather bucket can be calculated as 30 liters.

The team of Karez workers consists of four Karez workers. Two of them work on the surface and two of them work underground. The duty of each worker is as follows; in underground channel, one of the workers is responsible for excavation and the other one is responsible for excavated material delivery to the surface. In surface, both of the workers are responsible for extracting the excavated materials by pulley from tunnel to the surface. Two of leather buckets are generally used in construction and maintenance process.

6. KAREZ OPERATIONS

Ancient Karez is a system of many advantages; however, there are some Karez related problems. Some Karez related problems and possible solutions are provided in Table 1.

Table 1. Karez related problems and suggestions for possible solutions

Problems	Possible Solutions
Insufficient water flow	Extend the number of main wells, Clean and maintain the system periodically
Losses of water from storage ponds	Store the water during the nights to avoid evaporation losses and use it during the day for irrigation and water supply purposes
Conflict between upstream and downstream stakeholders	Share Karez water between upstream and downstream users fairly
Water losses in surface channel by evaporation and infiltration	Impermeable layer should be installed under the surface channel for infiltration losses, Farmers should try to irrigate their farmlands in the early morning
Extinction of Karez systems	Prevent drilling deep wells, Educate new generation about the importance of these ancient systems, Train professional Karez workers for Karez maintenance
Difficulty and danger of Karez system. A contamination of geological formation and in some cases microbial contamination from snakes and reptiles	Train the Karez workers about occupational health and safety, use occupational safety equipment. Maintain the system seasonally and periodically
Prone to collapse and damage	Protect the system from collapsing and damages by installing local available materials (timber and stones)
Reduction in discharge in consequence of depletion of unconfined aquifer	Prevent drilling deep wells in concerned areas
Cleaning and maintenance cost	Use locally available materials in access wells of Karez to minimize the effects of erosion

7. ADVANTAGES OF KAREZ SYSTEM

Karez is the system of extracting groundwater to the surface without using any equipment. Karez systems should extract water with good quality than most surface water qualities, which allows community to manage these water sources for different purposes.

The list of some highlighted advantages of this ancient water supply system is given below.

- Saving energy; there is no need to any energy-required equipment.
- Low carbon footprint; there is no need for any fuel consumption.
- Efficiency; Transportation of water without any evaporation losses and minimum infiltration rate.

- Convincing water quality; the extracted water is free of atmospheric hazards.
- Natural treatment of water during infiltration process; the transportation occurs mostly in underground tunnel.
- Sustainability; Durable and continuous flow, some amount of water is always available even in dry periods.
- No depletion of water table; there is no excessive usage possible. This makes the Karez system more sustainable than other groundwater extraction systems such as pump equipped wells which may deplete water table.
- Sufficient consumption of water without paying any water related bills.
- Suitable and viable tool for irrigation, livestock and water supply remote regions for undeveloped countries.
- Provides solidarity in social life; common sense of belonging to a concerned community.
- World heritage in peaceful water management. Traditional community-based water management system.
- Inexpensive maintenance.

8. KAREZ AS A TOOL OF INCOME FOR RURAL WORKERS

In Afghanistan adult men of rural families are responsible to work and earn money for their family members. They usually work in their own farmlands and other farmlands for earning money. Many local workers in rural areas of the country have to work for low wages. There would be a good opportunity for rural workers to support agricultural production by operating this ancient water supply system. Due to the low wages in rural areas, rural workers have to migrate to the urban areas of the country and also to foreign countries for better employment opportunities. The operation and new construction of traditional hydraulic structures can be an option to employment opportunities for rural workers and it will reduce the migration rate from rural to urban areas [7]. The surface water resources are not sufficient for irrigation, livestock and domestic water supply purposes in most part of the country. The scarcity of water resources, rural inhabitants of the country forced to rebuild and maintain the ancient Karez system for sufficient water supply purposes. Afghanistan is an agricultural country and most of the agricultural productions come from irrigated agriculture. Thus, sufficient water is crucial for agricultural activities. In recent years migration is an internationally overwhelming issue. Afghans are currently ranked the second largest refugee nation with 2.5 million refugees after Syrians [33]. Creating employment opportunities in agriculture sector especially in rural areas might decrease the rate of Afghan refugees.

9. CONCLUSIONS

The local community is responsible for Karez system rehabilitation without getting any help from the central government. The central government and other international organizations should give some funds for rehabilitation of

these ancient water supply systems and implement some projects in rural areas of the country. Thus, for creating such employment opportunities in rural areas of the country the rate of migration from rural to urban and foreign countries should be decreased.

The construction of new Karez systems may not be cost-effective, but the rehabilitation of existing Karez systems should be. The rural communities may rehabilitate the existing Karezes rather than constructing of new Karezes. Most of the Karezes are under the threat of extinction throughout the country. Further field projects should be carried out to discover the best rehabilitation practices for Karezes in order to revitalize these ancient systems countrywide.

There are no adequate fruit storage facilities in most of the rural areas. Most of the fruit and other vegetable crops are not stored in these regions due to the absence of storage facilities. Therefore, the locals are forced to sell their products under real market value. Karezes can be used as cooling storages for those crops in such regions.

As a result of field experiences and general evaluations, the following suggestions are given in order to manage the Karez systems properly:

- There is need for “Ancient Water Infrastructure Conservation Union” in governmental organizations which they should be responsible for Karez systems rehabilitation. Proposed union may create detailed fit-for-purpose guidelines for the construction, maintenance and rehabilitation of Karez systems. Union may also work as extension center in order to educate occupational health and safety measures to Karez workers.
- Artificial recharge applications such as; managed aquifer recharge, rainwater harvesting and aquifer storage and recovery should be carried out in areas where Karez systems are not able to supply sufficient water for rural communities.
- The government and associated organizations related to water resources management should prioritize the rehabilitation of Karez system rather than constructing new water supply infrastructures, especially drilling deep wells. Deep wells do not only frustrate the solidarity of community due to the unfair use of water by limited people instead of whole community as the exploitation of the source, these deep wells mostly exacerbate the condition of water potential for the Karezes.
- Migration is currently one of the top global issues and a very important challenge for both regional and global scale. The employment opportunities are very limited in rural Afghanistan, which substantially depend on agricultural activities. Good management practices of Karez systems in the country would increase water availability for livestock, domestic uses and agricultural activities. Thus, creating employment opportunities in rural areas of the country would be a part of solution for migration problems.

REFERENCES

- [1] A.S. Qureshi, "Water Resources Management in Afghanistan: The Issues and Options" (Working Paper 49) IWMI. Pakistan Country Series, vol.14, pp.5-15, (2002).
- [2] J.W. Groninger, and R.J. Lasko, "Water for agriculture: Challenges and opportunities in a war zone", *Water international*, vol.36, no.6, pp. 693-707, 2011.
- [3] P.T.Stinson, M.C. Naglak, R.D. Mandel, and J.W. Hoopes, "The Remote-Sensing Assessment of a Threatened Ancient Water Technology in Afghanistan", *Journal of Archaeological Science: Reports*, vol.10, pp. 441–453, 2016.
- [4] A. Azimi, and D. Mccauley, "Afghanistan's Environment in Transition", 1st Edition. Asian Development Bank, Manila, Philippines, pp. 1–12, (2002).
- [5] I. Hussain, O.S. Abu-Rizaiza, M.A.A. Habib, and M. Ashfaq, "Revitalizing A Traditional Dryland Water Supply System, The Karezes in Afghanistan, Iran, Pakistan And the Kingdom of Saudi Arabia", *Water International*, vol.33, no.3, pp. 333–349, 2008.
- [6] B. Remini, R. Kechad, and B. Achour, "The collecting of groundwater by the qanats: A millennium technique decaying", *Larhyss Journal*, no.20, pp.259-277, 2014.
- [7] K. Röttcher, "Combination of Tradition and the Modern Age: New Methods for Efficient Water Management", *Irrigation and Drainage*, vol. 62, no.3, pp. 315-321, 2013.
- [8] P.W. English, "The Origin and Spread of Qanats in the Old World", *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol.112, no.3, pp.170–181, 1968.
- [9] P. Beaumont, "Qanat Systems in Iran", *Hydrological Sciences Journal*, vol.16, no.1, pp.39–50, 1971.
- [10] H. Ahmadi, A.N. Samani and A. Malekian, "The Qanat: A Living History in Iran", *Water and Sustainability in Arid Regions*, Springer Netherlands, pp. 125–138, 2010.
- [11] A. Salih, "Qanats a Unique Groundwater Management Tool in Arid Regions: The Case of Bam Region in Iran", *International Symposium on Ground Water Sustainability (ISGWAS)*, Alicante, Spain, pp.79-87, (2006).
- [12] H.E. Wulff, "The Qanats of Iran", *Scientific American*, pp.94-105, New York, USA, April 1968.
- [13] D.R. Lightfoot, "The Origin and Diffusion of Qanats in Arabia, New Evidence from the Northern and Southern Peninsula", *the Geographical Journal*, vol.166, no. 3, pp. 215–226, 2000.
- [14] M. Javan, A.M. Hassanli and M.A. Shahrokhnia, "The Ancient Qanats of Iran", In: *Proc: 1st IWA Int. Symp. Water and Wastewater Technologies in Ancient Civilizations, Iraklio (Greece)*, pp. 531–534, (2006).
- [15] S.C. Stiros, "Accurate Measurements with Primitive Instruments, the "Paradox" In the Qanat Design", *Journal of Archaeological Science*, vol.33, no.8, pp. 1058-1064, 2006.
- [16] L. Mays, "Ancient Water Technologies", 1st Edition, Springer Dordrecht, the Netherlands, pp. 115-137, 2010.
- [17] P. Magee, "The chronology and environmental background of Iron Age settlement in Southeastern Iran and the question of the origin of the Qanat irrigation system", *Iranica Antiqua*, vol.40, pp.217-231, 2005.
- [18] G.L. Macpherson, W.C. Johnson and H. Liu, "Viability of Karezes (ancient water supply systems in Afghanistan) in a changing world", *Applied Water Science*, pp.1-22, 2015.
- [19] A. Himat and S. Dogan, "The Construction and Maintenance of Ancient Karez System", In: *Proceedings: IWA 2nd Regional Symposium on Water, Wastewater and Environment*, Izmir, (Turkey), pp. 557–565, (2017).
- [20] H. Weingartner, "Water supply by qanats: a contribution to water shortage in Mediterranean areas", In *Proceedings of the 10th International Conference on Environmental Science and Technology*, Kos island, Greece, pp. 5-7, (2007).
- [21] B. Remini, B. Achour and J. Albergel, "The qanat of Algerian Sahara: an evolutionary hydraulic system", *Applied Water Science*, vol.5, no.4, pp. 359-366, 2015.
- [22] E. Hayat and A. Baba, "Quality of groundwater resources in Afghanistan", *Environmental monitoring and assessment*, vol.189, no.7, pp.318, 2017.
- [23] D.R. Lightfoot, "Moroccan Kheftara: Traditional irrigation and progressive desiccation", *Geoforum*, vol.27, no.2, pp. 261-273, 1996.
- [24] S.A. Walters and J.W. Groninger, "Water distribution systems and on-farm irrigation practices: Limitations and consequences for Afghanistan's agricultural productivity", *Water International*, vol.39, no.3, pp. 348-359, 2014.
- [25] B. Schultz, "Irrigation, drainage and flood protection in a rapidly changing world", *Irrigation and Drainage*, vol.50, no.4, pp.261-277, 2001.
- [26] Z. Ruisen, D. Xinguang and M. Yingjie, "Sustainable water saving: new concept of modern agricultural water saving, starting from development of Xinjiang's agricultural irrigation over the last 50 years", *Irrigation and drainage*, vol.58, no.4, pp. 383-392, 2009.
- [27] I.M. Anderson, "Rehabilitation of Informal Irrigation Systems in Afghanistan", *Design Manual*, 1st Edition. United Nations Food and Agricultural Organization (FAO), Peshawar, Pakistan, pp. 68–95, (1993).
- [28] A. Himat and S. Dogan, "Ancient Karez System as a Sustainable Tool for irrigation and Water Supply in Rural Afghanistan", *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*, vol.7, no.2, pp. 269–274, 2017.
- [29] United States Geological Survey, "Geological map of Afghanistan", 2007. https://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_USGS_OFR_2007_1104.html (Accessed on March 20, 2018).
- [30] D. Mustafa and M.U. Qazi, "Transition from Karez to tube well irrigation: development, modernization, and social capital in Balochistan, Pakistan", *World Development*, vol.35, no.10, pp. 1796-1813, 2007.
- [31] M.J. Khan, G. Pacha, M. Shahzad Khattak and R. Oad, "Water distribution of traditional Karez irrigation systems in Afghanistan", *Irrigation and Drainage*, vol. 64, no.2, pp. 169-179, 2015.
- [32] R. Fu, M. Shadeer and R. Tiypujiang, "Study Breaking Mechanism of Karez Systems in Turpan Basin", *Procedia Materials Science*, vol.3, pp. 1786-1791, 2014.
- [33] UNHCR, "The UN Refugee Agency, Figures at a Glance", 2017. <http://www.unhcr.org/figures-at-a-glance.html> (Accessed on March 24, 2018).

Application of Grid Search Parameter Optimized Bayesian Logistic Regression Algorithm to Detect Cyberbullying in Turkish Microblog Data

¹Akın Özçift, ²Deniz Kılınç, ^{*3}Fatma Bozyiğit

¹Manisa Celal Bayar University, Teknoloji Faculty of Hasan Ferdi Turgutlu, Turgutlu, Manisa

²Manisa Celal Bayar University, Teknoloji Faculty of Hasan Ferdi Turgutlu, Turgutlu, Manisa

³Manisa Celal Bayar University, Teknoloji Faculty of Hasan Ferdi Turgutlu, Turgutlu, Manisa



Research Paper

Arrival Date: 12.12.2018

Accepted Date: 24.04.2019

Abstract

There is a huge interaction between users of various social media platforms. This communication produces enormous amount of user data worth to be analyzed from numerous aspects. One of the research area emerging from the user data is a major security issue known as cyberbullying. Since this problem has been recognized as the source of cybercrimes, design of a system to detect cyberbullying attacks/sources through the micro-blog texts is evident. Most of the academic search of this topic has been conducted in English language. The originality of this paper is that we develop an accurate cyberbullying detection system for Turkish language. We used data from Twitter to develop a supervised machine learning model on top of Bayesian Logistic Regression whose parameters are tuned with the use of grid-search algorithm. Since the text data produces a high dimensional training space for machine learning algorithms, we also used Chi-Squared (CH2) feature selection strategy to obtain best subset of features. The optimized version of the proposed algorithm on top of reduced feature dimension has produced an f-measure value of 0.925. Finally, we also compared the results of the proposed algorithm with the frequently used machine learning methods from literature and we provided the corresponding results in related sections.

Keywords: Cyberbullying, Logistic Bayes Regression, Turkish, Machine Learning, Natural Language Processing

Grid Aramayla Optimize Edilmiş Bayes Lojistik Regresyon Algoritmasının Türkçe Mikro Blog Verilerinde Sanal Zorbalık Tespitinde Kullanılması

¹Akın Özçift, ²Deniz Kılınç, ^{*3}Fatma Bozyiğit

Öz

İnternet kullanıcıları ve sosyal medya platformları arasında büyük bir etkileşim vardır. Bu etkileşimin sonucu olarak ortaya çıkan devasa boyutlardaki kullanıcı verileri birçok yönden incelenmeye değerdir. Kullanıcı verilerini baz alarak ortaya çıkan araştırma alanlarından birisi de önemli güvenlik problemlerinden biri olan siber zorbalıktır. Bu sorun, siber suçların kaynağı olarak kabul edildiğinden, mikro-blog metinleri üzerinden siber zorbalık saldırılarını/kaynaklarını tespit etmeyi hedefleyen bir sistemin tasarımı önemli bir konudur. Bu alandaki akademik çalışmaların birçoğu İngilizce dilinde yazılmış metinleri ele almaktadır. Bu çalışmanın özgünlüğü Türkçe metinlerde yer alan sanal zorbalık öğelerini en doğru şekilde tespit edebiliyor olmasıdır. Bu amaçla, Twitter'dan toplanan kullanıcı twitleri üzerinde parametreleri Grid Arama Algoritması ile belirlenen, Bayes Lojistik Regresyon denetimli öğrenme algoritması kullanılmıştır. Metin verilerinin makine öğrenmesi algoritmaları için yüksek boyutlu bir eğitim alanı oluşturması sebebi ile Ki-Kare özellik seçim stratejisi kullanılarak en belirleyici özelliklere karar verilmiştir. Sonuç olarak, çalışmamız özellik sayısının minimum hale getirilmiş versiyonu ile, 0.925'lik bir F-ölçüm değeri üretmiştir. Önerilen yöntemimizin sonuçları literatürde sıkça kullanılan makine öğrenme yöntemleri ile karşılaştırılmış ve ilgili bölümlerde sonuçları paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sanal Zorbalık, Lojistik Bayes Regresyonu, Türkçe, Makine Öğrenmesi, Doğal Dil İşleme

1. INTRODUCTION

The popularity and widespread usage of social networking sites have generated user interactions without geographical location and physical limitations. Any user may be part of a social group and he/she may find opportunities to communicate freely. The result of this interaction is a dynamically growing data which is worthy to be analyzed from different perspectives [1,2]. From cyber-crimes perspective, a few research areas emerging from the mentioned user data are spamming, phishing, malware spread, and cyberbullying [3].

Cyberbullying is defined as “the use of information and communication technology by an individual or a group of users to harass other users” [1,4]. A traditional bully attacks his/her victim before a group that increases the adverse negative effects. In case of cyberbully, the victim is harassed before social groups having enormous number of users. Unfortunately, the social media (e.g., Twitter, Instagram and Facebook) has got innumerable harmful openings from cyber-crimes perspectives [5]. An evaluation of the negative effects of “cyberbullying” highlight that the adverse effect of cyberbullying intensifies with public attacks which is a characteristics of social media [6].

In this context, detection of cyberbullying is an important task to restore the negative results or to prevent the attackers to continue bullying. In other words, being one of the sources of cyber-crimes, design of an intelligent system to discover cyberbullying attacks/sources evolving from social media texts is evident [7].

Intelligent systems are used in numerous domains to automate language processing tasks. In particular, since the user generated data from many social media resources is dynamically increasing in amount, manual investigation of this huge data is impossible. Machine Learning (ML) algorithms are promising solutions to this problem. In the literature, there are many studies conducted on the design of ML systems to detect cyberbullying. However, most of the research is particularly conducted on English language. In this research, we develop an intelligent system to detect cyberbullying attacks on Turkish Twitter data. This work is among the first studies that handles cyberbullying problem through an intelligent system. We therefore first give a brief survey for the most recent English language (or other languages such as Dutch and Spanish) cyberbullying detection systems and then we are going to evaluate Turkish related literature.

The most frequent ML algorithms used in cyberbullying domain are Support Vector Machine (SVM), Naïve Bayes (NB), Random Forests (RF), J48 (Java version of C4.5 algorithm), K-Nearest Neighbour (KNN) and Neural Networks (NN) [8]. One of the recent studies in this domain has been conducted by Cynthia Van Hee et al [9]. The authors made use of SVM algorithm on top of Bag of Words

(BOW) model applied to data collected from ask.fm social media [10] in Dutch language. They obtained F-measure value of 55.39%. Another study evaluating a fuzzy-rule based system applied to myspace [11] dataset has produced F-measure value of 91% [12]. In work [13], a NB method has been applied to social media data and the researchers has obtained an average accuracy of 86%. One recent work that has evaluated a NN model on their data and they obtained 87.3%, 89.4% in terms of precision and recall [14]. In their study, Qianjia Huang et. al. [15] used J48 and SVM algorithms and obtained 62.8% and 70.3% F-measures to classify cyberbullying data.

In case of Turkish language based cyberbullying studies there are only one public dataset collected by Bozyigit et. al [16]. The authors have used Twitter as data source and produced a TurkishCyberBulling sample Turkish dataset for cyberbullying detection problem. To the best of our knowledge there are only two studies that use the mentioned dataset to develop a supervised ML model to detect cyberbullying in social media. The first study that uses a newly collected Turkish Twitter dataset to differentiate cyberbullying text from non-cyberbullying text has been conducted in [17]. The researchers have developed a system based on Information Gain (IG) feature ranking method and KNN ML algorithm. The proposed system produces an accuracy of 84% in terms of F-measure. They also have experimented J48, NB and SVM in their study and the mentioned algorithms have produced 54%, 81%, and 74% in terms of F-measure. The second study in Turkish cyberbullying domain has been conducted in [16]. In their study, the authors evaluated a wide range of the algorithms such as SVM, NB, RF, KNN, Bagging, and J48 correspondingly. Before evaluating the algorithms, they applied IG feature ranking to decrease the dimension of feature space while eliminating irrelevant words. After feature selection, the performance of the algorithms in terms of F-measure have been obtained as 91%, 89%, 88%, 88%, 86%, and 73% respectively.

In our study, we used Turkish Twitter data to develop a supervised machine learning model on top of Bayesian Logistic Regression whose parameters are tuned with the use of grid-search algorithm. Since the text data produces a high dimensional training space for machine learning algorithms, we have used Chi-Squared (CH2) feature selection strategy to obtain best subset of features. The parameter-tuned/optimized version of the proposed algorithm on top of reduced feature dimension has produced an F-measure value of 92.5% higher than the performance conducted in [16]. Finally, we also compared the results of the proposed algorithm with Naïve Bayes (NB), Support Vector Machine (SVM), C4.5, Random Forest (RF) and we provided the corresponding results in Section 3.

This work provides three main contributions: i) To the best of our knowledge BLR algorithm has been used the first time in cyberbullying domain, ii) Parameter-tuning concept is first time evaluated in this particular topic and finally iii) The

proposed method increases cyberbullying detection accuracy 1.5% compared to SVM algorithm used in [16].

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Dataset

TurkishCyberbullying dataset [16] consisting of 3000 twits, which are marked as cyberbullying and non-cyberbullying, is used in order to test proposed approach. Fifty percent of the twits in the data set are tagged as positive (including

cyber bullying) and the other half is tagged negative (without cyber bullying).

2.2. Proposed Architecture

The architecture of the proposed cyberbullying detection system is given in Figure 1. The system consists of four components and the function of each module is explained in related sections.

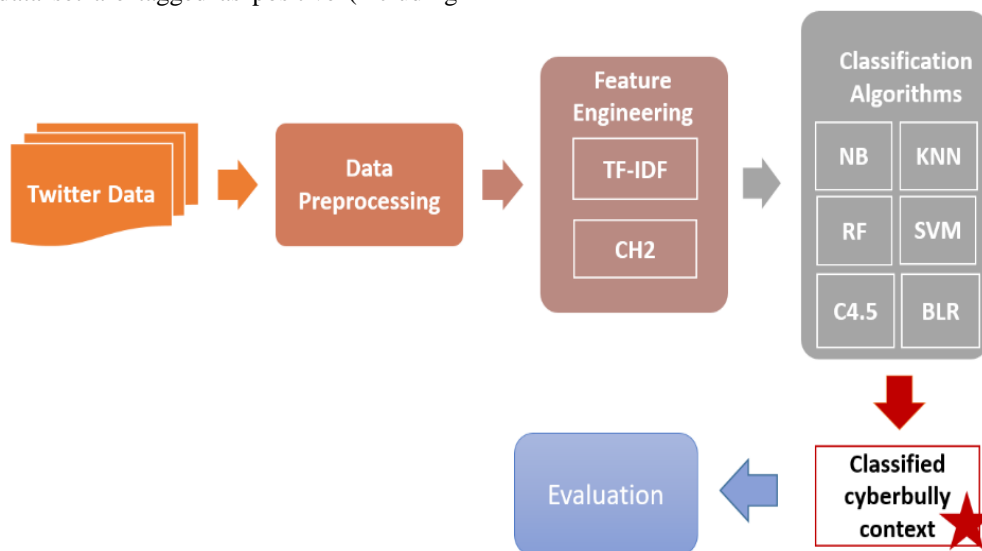


Figure 1. General architecture of the proposed model

As a brief explanation based on Figure 1, the overall system ingests raw Twitter data. Raw data is then pre-processed to increase its quality. Dimension (i.e., 11,534 words) of pre-processed data is then decreased with the use of CH2 strategy and 579 words are obtained. The parameters of BLR algorithm is tuned with the use of grid-search parameter-tuning. As the last step, the prepared dataset is evaluated with tuned BLR algorithm on top of 10-fold Cross Validation (CV). In the following sections, we explain each step of the proposed architecture in detail.

2.3. Data Preprocessing

In this part, a series of preprocessing steps are applied to improve the data set used. Accordingly, non-letter characters, unnecessary website links, and punctuation marks are cleared and all characters are converted to lowercase.

Although there have been studies for the detection and correction of spelling errors for Turkish language, it is seen that they do not perform well. So, we develop an application to normalize tweets including misspelled words. We first create a list of correctly spelled terms related to cyberbullying. Then, we calculate the proximity between the terms in the cyberbullying list and input query. Finally, the misspelled word is normalized considering the alternative correct spelling regarding the value of proximity. The pseudo code of normalization process is shown Figure 2.

<p>Input: CL: Cyberbullying list ut: the word in the user tweet x: the number of characters in the tweet</p>

```

Algorithm:
For each word  $w$  in CL Do
     $y$  = number of the characters in the  $w$ 
    create  $D$  matrix including  $x$  rows and  $y$  columns
    From  $i=0$  To  $x$  Do
         $D[0, i] = i$ 
        End For

        From  $j=0$  To  $y$  Do
             $D[j, 0] = j$ 
            End For

            From  $i=0$  To  $x$  Do
                From  $j=0$  To  $y$  Do
                    If  $w = ut$ 
                         $c=1$ 
                    Else
                         $D[i, j] = \text{Minimum} \{D[i-1, j] + 1,$ 
                             $D[i, j-1] + 1, D[i-1, j-1] + c\}$ 
                    End If
                End For
            End For

            distance =  $D[x-1, y-1]$ 
            max = Maksimum  $\{x, y\}$ 
            similarity =  $(\text{max} - \text{distance}) / \text{max}$ 
            If similarity > 0.8
                 $ut = \text{word}$ 
            End If
        End For
    End For

```

Figure 2. Pseudo code of preprocessing

2.4. Data Representation and Feature Engineering

Automated text analysis requires the data to be represented in a suitable form that may be handled by ML algorithms. In this context, Bag of Words (BOW) representation is used to model the text as an unordered collection of its words. In other words, the texts are represented as frequency of the words they contain. The words and their corresponding weights form the mentioned BOW representation. However, the term frequency BOW representation has a “term weight” problem. More clearly, highly frequent terms in Turkish (“şey (thing)”, “o (that)”, “bu (this)”) may dominate the model without containing discriminative information content. One solution to this problem is known as Term Frequency-Inverse Document Frequency (TF-IDF) that rescales word frequency to eliminate domination of irrelevant terms [19]. Having the data pre-processed and represented as TF-IDF BOW model, another key problem arises to be solved before ML methods applied. In particular, another major problem in text mining field is the high dimensional nature of the data. In more clear terms, BOW model representation generates a high dimensional data model having thousands of terms. A major effect of this high dimensional data on ML algorithms is that redundant or irrelevant terms (i.e. features) in feature space reduces accuracy of the algorithms. This problem is solved with the use of various Feature Selection (FS) strategies [20]. The three other benefits of FS are following: (i) better model understandability, (ii) increase in the generalization

capability of the model and decrease in over fitting risk and (iii) reduction of computational cost in terms of training and execution time [21]. There are mainly three approaches of FS strategies: (i) Filter Approach. The frequently used methods in this group are IG, CH2, and Correlation Feature filtering (CF). The methods make use of a metric such as correlation, entropy, and mutual information to obtain the most valuable feature subset (terms in text mining domain).

In particular, CH2 filtering approach controls independency between two events. In terms of terms and cyberbullying classes, the filter tests the occurrence of specific word and occurrence of a cyberbullying class to be independent or not. The rank of selected terms is calculated with Equation 1.

$$x^2(D, t, c) = \sum_{et \in \{1,0\}} \sum_{ec \in \{1,0\}} \frac{(N_{etec} - E_{etec})^2}{E_{etec}} \quad (1)$$

where et and ec are defined as in Equation 1. N is the observed frequency in D and E the expected frequency.

The other two approaches of FS algorithms are wrappers and embedded strategies. For the details of the two methods the reader is referred to [20] which is an extended survey.

2.5. Baseline Machine Learning Algorithms and Bayesian Logistic Regression Method

After the pre-processing and feature selection steps are utilized, some baseline machine learning algorithms, which are commonly used to classify the textual data, are implemented in the first part of this section. Then, BLR algorithm which has been used the first time in cyberbullying domain is executed on the dataset. These methods are described as following.

Naïve Bayes (NB)

It is a frequently used statistics-based supervised learning algorithm based on Bayes' theorem [22]. In NB algorithm, the classification of text documents is implemented by calculating the conditional probabilities on the education dataset. The main advantage of the NB is that it is easy to implement and it performs well on classification problems.

In our study, we experiment Multinomial NB classifier having default value of parameters which provided by scikit-learn library.

Support Vector Machine (SVM)

It is a classification algorithm based on statistical information theory and basic risk minimization. In SVM method, an unlimited number of hyper planes are created to group the samples in the dataset and the most suitable one of these is selected [23]. The advantage of this method is that it can cope with over-fitting. We set the regulation parameter (C) as 1 and kernel as polynomial. Also, the degree of the

polynomial kernel function ('poly') is set as 3 which is default value in Phyton.

K Nearest Neighbor (K-NN)

It is an instance-based classification algorithm which does not have a training phase [24]. In the K-NN algorithm, the input consists of the k closest neighbor sample with certain tags in the feature space. We set the value of k as 1 in our study. The distance between the samples can be calculated using different metrics such as Euclidean, Manhattan, Minkowski, and Hamming. We measured the distance between the neighbor samples calculating Euclidean distance which is the most commonly preferred one. The advantages of this method are that there is no training phase and it can handle noisy data.

C4.5

It creates a decision tree on the current training set and estimates which class the input data belongs to [25]. This method generates a decision tree by selecting the properties have the most discriminating characteristics of the sample items. The advantages are that it can identify distinctive features, make inference for estimation, and succeed in training sets with lost data.

Random Forest (RF)

It is a supervised learning method in which many decision trees are available. First of all, the properties of the samples in the data set are randomly selected and decision trees are created [26]. Then, the training data is designed to form each decision tree. The RF is created by bringing all the trees together. The classification process is carried out by voting of the trees in the RF and the class with the most votes is returned as a result. This classifier can manage large volume data and work efficiently.

In our study, we experiment RF classifier having default value of parameters which provided by scikit-learn library.

Bayesian Logistic Regression (BLR)

The linear logistic regression is a classification model that aims to predict a target attribute considering one or more predictor attributes. Bayesian model has three basic steps as following (i) setting prior probabilities of parameters, (ii) deciding the marginal likelihood of sample data, (iii) and using Bayes theorem to specify the posterior distribution of the parameters. BLR model finds out the non-linear relation between the predictor attributes and the target attribute applying Bayesian model [27]. The following formula calculates the posterior probability of an instance in a specific class with the integration of conventional logistic function.

$$P = \frac{1}{(1 + \exp(b + w_0 \times c + \sum_{i=1}^n w_i \times f(a_i)))} \quad (2)$$

where, ' a_i ' specifies the predictor attributes, ' c ' is the prior log odds ratio the ' b ' is bias and w_0-w_i are that weights calculated after training, and the i th attribute a_i is utilized to compute the feature $f(a_i)$. In general, the default prior is used as univariate Gaussian having mean ' 0 ' (zero).

BLR algorithm is implemented using the methods in Weka. Though the algorithm has many parameters, the most crucial ones affecting the performance are *maxIteration*, *priorClass*, and *threshold*. In this study, these parameters are tuned with the use of grid-search parameter-tuning which is a brute force method to estimate the hyperparameters [28]. It works in an iterative way and attempts to find the best set of values for the parameters. The grid points (range) for the parameters are experimentally specified as shown in Table 1.

Table 1. The grid points of grid search parameters

Parameters	Min-Value	Max-Value	Step-Size	# of Steps
maxIteration	10	100	10	10
priorClass	Gauss.	Lap.	1	2

The results of the grid-search are obtained as *threshold=0.5*, *priorClass= Gaussian* and *maxIteration=100*. We run BLR algorithm with default parameters (BR1) and with grid-searched parameters (BR2). The results of the experiments are given in the following section.

3. MATERIALS AND METHODS

In this section, various pre-processing methods, feature extraction and selection processes on TurkishCyberBullying [16] dataset, and then the widely used classification algorithms are applied to determine cyberbullying.

The evaluation results of each machine learning method are obtained with the use of 10-fold cross validation. The results of the classifiers are evaluated with F-measure criterion. Overall results of the experiments are given in Table 2.

Table 2. Evaluation results of the experimented methods

ML Algorithm	Precision	Recall	F-measure
NB	0.742	0.723	0.732
SVM	0.913	0.914	0.913
K-NN	0.875	0.864	0.869
C4.5	0.738	0.725	0.731
RF	0.887	0.879	0.887
BLR1	0.924	0.922	0.922
BLR2	0.929	0.925	0.925

3.1. Evaluation Metrics

F-measure (Fm) metric is calculated based on confusion matrix outcomes. In other words, Fm is calculated with the

use of true positive (TP), false positive (FP), true negative (TN), and false negative (FN) outcomes. A TP is a result where classifier correctly predicts the positive label. And similarly a TN is a result of the classification if the algorithm predicts the negative label correctly. FP is the case where the classifier predicts negative class as positive. The last confusion matrix term, i.e. FN, is the prediction of positive label as negative.

The precision in terms of TP, FP, TN is calculated with the Equation 3.

$$\text{Precision (Pr)} = \frac{TP}{TP + FP} \tag{3}$$

Similarly, recall is calculated with the use of Equation 4.

$$\text{Recall (Re)} = \frac{TP}{TP + FN} \tag{4}$$

In order to calculate the accuracy of the proposed model, the harmonic mean of the precision and recall values are obtained and the F-measure is calculated according to the equation given in Equation 5.

$$F_{\text{measure}} = \frac{2(\text{Pr} \times \text{Re})}{\text{Pr} + \text{Re}} \tag{5}$$

The best results of the classifiers in detection of cyberbullying are summarized in Figure 3.

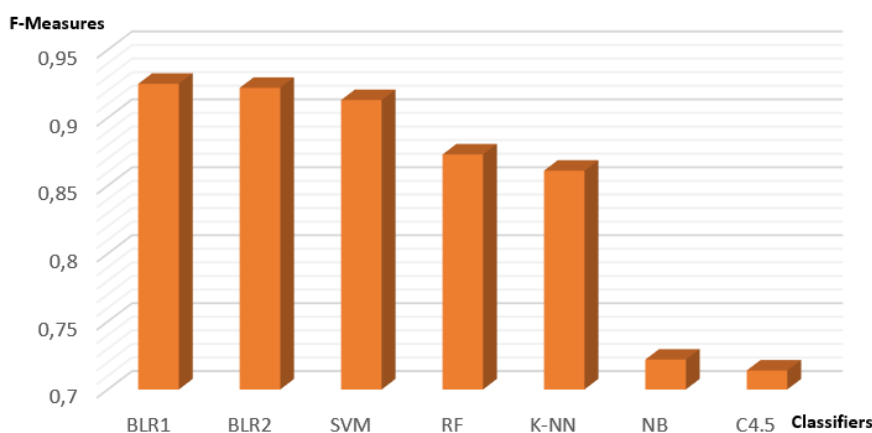


Figure 3. Performance comparison of the experimented methods

Considering the evaluation results of the experimented ML algorithms, it is obviously seen that SVM and RF has better performance scores than the current studies in the literature. Comparison of results is presented in Table 3.

Table 3. Evaluation results of the experimented methods

	[16]	[17]	Our Study
SVM	0.91	0.74	0.913
NB	0.89	0.81	0.732
RF	0.88	Not experimented	0.887
KNN	0.88	Not experimented	0.869
Bagging	0.86	Not experimented	Not experimented
C4.5	0.73	0.54	0.731
BLR1	Not experimented	Not experimented	0.922
BLR2	Not experimented	Not experimented	0.925

4. CONCLUSION

Social networking applications and corresponding user interactions are the new source of cyber-crimes. Automatic

detection of the cyberbullying sources is an important research field. Since the data related to cyberbullying-like risk increases in size, automatic detection of such threads need machine learning algorithms in charge. In this study, a grid-search parameter optimized BLR algorithms is applied to newly collected Turkish cyberbullying dataset and the experimental results have shown that the propped algorithm on top of CH2 feature filtering is precise enough to detect cyberbullying. The result of the optimized BLR is superior to the widely used ML algorithms in the literature. As a future work, we will experiment the combination of various ML algorithms to improve cyberbullying detection performance.

REFERENCES

[1].M. A. Al-garadi, K. D. Varathan, and S. D. Ravana, "Cybercrime detection in online communications: The experimental case of cyberbullying detection in the Twitter network", Computers in Human Behavior, vol. 63, pp. 433–443, 2016. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.05.051>
 [2].N. Tahmasbi and A. Fuchberger, "Challenges and future directions of automated cyberbullying detection", in Twenty-fourth Americas Conference on Information Systems, New Orleans, USA, (2018).


- [3].M. Arntfield, "Toward a cybervictimology: Cyberbullying, routine activities theory, and the anti-sociality of social media", *Canadian Journal of Communication*, vol. 40, pp. 371-388, 2015. doi: <https://doi.org/10.22230/cjc.2015v40n3a2863>
- [4].C. Salmivalli, "Bullying and the peer group: A review", *Aggression and Violent Behavior*, vol. 15, pp. 112-120, 2010. doi: 10.1016/j.avb.2009.08.007
- [5].R. M. Kowalski, G. W. Giumetti, A. N. Schroeder, and M. R. Lattanner, "Bullying in the digital age: A critical review and meta-analysis of cyberbullying research among youth", *Psychological Bulletin*, vol. 140, no. 4, pp. 1073-1137, 2014. doi: 10.1037/a0035618
- [6].E. Menesini et al., "Cyberbullying definition among adolescents: A comparison across six european countries", *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, vol. 15, no. 9, pp. 455-463, 2012. doi: 10.1089/cyber.2012.0040
- [7].K. Dinakar, B. Jones, C. Havasi, H. Lieberman, and R. Picard, "Common sense reasoning for detection, prevention, and mitigation of cyberbullying", *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, vol. 2, no. 3, pp. 1-30, 2012. doi: 10.1145/2362394.2362400
- [8].S. Nadali, M. A. A. Murad, N. M. Sharef, A. Mustapha, and S. Shojaee, "A Review of cyberbullying detection . An overview", in 2013 13th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), Kuala Lumpur, Malaysia, 325-330, 2013.
- [9].C. Van Hee, E. Lefever, B. Verhoeven, J. Mennes, B. Desmet, G. De Pauw, and V. Hoste, "Automatic detection and prevention of cyberbullying", in: International Conference on Human and Social Analytics (HUSO 2015), Julians, Malta, 13-18, Oct. 2015.
- [10]. "Ask and Answer", ASKfm. [Online]. Available: <https://ask.fm/>. [Accessed: 06-Dec-2018].
- [11]. "Featured Content on Myspace", Myspace. [Online]. Available: <https://myspace.com/discover/featured>. [Accessed: 09-Dec-2018].
- [12]. B. S. Nandhini and J. I. Sheeba, "Online social network bullying detection using intelligence techniques", *Procedia Computer Science*, vol. 45, pp. 485-492, 2015. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.085>
- [13]. R. I. Rafiq, H. Hosseinmardi, S.A. Mattson, R. Han, Q. Lv, and S. Mishra, "Analysis and detection of labeled cyberbullying instances in Vine, a video-based social network", *Soc. Netw. Anal. Min.*, vol. 6, no.88, pp. 87-103, 2016. doi: <https://doi.org/10.1007/s13278-016-0398-x>
- [14]. K., A. Sudhir, "A predictive model to detect online cyberbullying", PhD Thesis, Auckland University of Technology, 2015.
- [15]. Q. Huang, V. K. Singh, and P. K. Atrey, "Cyberbullying detection using social and textual analysis", in *Proceedings of the 3rd International Workshop on Socially-Aware Multimedia*, Orlando, Florida, USA, 3-6, 2014.
- [16]. Bozyiğit, S. Utku, and E. Nasiboğlu, "Sanal zorbalık içeren sosyal medya mesajlarının tespiti", in 2018 3rd International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), Sarajevo, 2018. doi: 10.1109/UBMK.2018.8566432.
- [17]. S. A. Ozel, E. Sarac, S. Akdemir, and H. Aksu, "Detection of cyberbullying on social media messages in Turkish", in 2nd International Conference on Computer Science and Engineering UBMK'2017, Antalya, Turkey, September, 366-370, 2017.
- [18]. F. P. Shah and V. Patel, "A review on feature selection and feature extraction for text classification", in 2016 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), Chennai, India, March 2016.
- [19]. S. D. Sarkar, S. Goswami, A. Agarwal, and J. Aktar, "A novel feature selection technique for text classification using Naive Bayes", *International scholarly research notices*, 2014.
- [20]. P. Kumbhar and M. Mali, "A survey on feature selection techniques and classification algorithms for efficient text classification", *International Journal of Science and Research (IJSR)*, vol. 5, no.5, pp. 1267-1275, 2016.
- [21]. S. George K, and S. Joseph, "Text Classification by Augmenting Bag of Words (BOW) Representation with Co-occurrence Feature", *IOSR Journal of Computer Engineering*, vol. 16, no. 1, pp. 34-38, 2014.
- [22]. A. McCallum and K. Nigam, "A comparison of event models for naive bayes text classification", in *Workshop On Learning For Text Categorization*, July 1998, pp. 41-48.
- [23]. A. Soualhi, K. Medjaher, and N. Zerhouni, "Bearing Health Monitoring Based on Hilbert-Huang Transform, Support Vector Machine, and Regression", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 64, no. 1, pp. 52-62, Jan. 2015. doi: 10.1109/TIM.2014.2330494
- [24]. H. Zhang, A. C. Berg, M. Maire, and J. Malik, "SVM KNN: Discriminative Nearest Neighbor Classification for Visual Category Recognition", in 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06), 2006, vol. 2, pp. 2126-2136.
- [25]. D. Kılınç, A. Özçift, F. Bozyigit, P. Yıldırım, F. Yücalar, and E. Borandag, "TTC-3600: A new benchmark dataset for Turkish text categorization", *Journal of Information Science*, vol. 43, no:2, pp. 174-185, 2017.
- [26]. P. Yildirim and D. Birant, "The relative performance of deep learning and ensemble learning for textile object classification", 2018 3rd International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, September 2018, pp. 22-26.
- [27]. A. Genkin, D. Lewis, and D. Madigan, "Large-scale Bayesian Logistic Regression for text categorization", *Journal Technometrics*, pp. 291-304, 2012.
- [28]. R. A Thisted. "Elements of statistical computing", London: Chapman and Hall, 1988.


Ayasofya Müzesi Zemin Yüzey Deformasyonlarının Yeraltı Radarı (GPR) İle İncelenmesi

*¹Efecan Belce, ²Tolga Bekler, ³Yunus Can Kurban, ⁴Cahit Çağlar Yalçın

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği ABD, Çanakkale, efebelce@gmail.com, 

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, tbekler@comu.edu.tr, 

³ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği ABD, Eskişehir, ykurban@gmail.com, 

⁴ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Çanakkale, yalciner@comu.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 04.01.2019

Kabul Tarihi: 01.04.2019

Öz

Tarihin ve İstanbul'un en önemli yapılarından biri olan Ayasofya geçmiş yüzyıllardan bugüne varlığını koruyarak gelmiştir. Tarihi süreçte farklı kültürlere ev sahipliği yapan Ayasofya hem doğal hem de insan kaynaklı tahribatlara uğramıştır. Günümüzde varlığını müze olarak devam ettiren bu yapının zemininde gözlemlenen çatlakların durum tespiti amacıyla müzede, çalışma alanlarına tahribat bırakmayan yeraltı radarı (GPR) tekniği uygulanmıştır. Penetrasyon özellikleri dikkate alınarak farklı frekanslara sahip antenler kullanılarak galeri katı güney kanadı cennet kapısı önünde çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar doğrultusunda hem çatlakların tespiti hem de zayıf bölgelerin durumları tespit edilmesi hem de ince çatlakların ana çatlaklar ile bağlantısının durumu araştırılmıştır. Ayasofya Müzesi'nde galeri katında gerçekleştirilen yeraltı radarı jeofizik yöntemi çalışmaları ile üst galeri katındaki çatlak tipi deformasyonların durumu araştırılmıştır. Radargramların zemindeki çatlak ve çökmelerle birebir uyum sağladığı anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yeraltı radarı (GPR), Ayasofya, Çatlak

Investigation of Floor Surface Deformation of Hagia Sophia Museum with Ground-Penetrating Radar (GPR)

*¹Efecan Belce, ²Tolga Bekler, ³Yunus Can Kurban, ⁴Cahit Çağlar Yalçın

Abstract

One of the most important structures in history and in Istanbul of Hagia Sophia has survived for centuries to reach the present day. Housing different cultures during the progress of history, Hagia Sofia experienced both natural and human-sourced destruction. Currently acting as a museum, the non-destructive ground-penetrating radar (GPR) technique was applied to the study area in the museum with the aim of identifying fractures observed in the floor of the structure. Antennae with different frequencies were used noting the penetration features with studies completed in the south wing of the gallery floor in front of the Marble Door. In line with this study, identification of both fractures and the status of weak sections and the links between fine fractures with main fractures were researched. Crack type of deformations at the gallery floor was investigated by the ground penetrating radar monitoring. Results indicate that the radargrams strongly reflect those cracks and are compatible with some of collapse on the floor.

Keywords: Ground-penetrating radar (GPR), Hagia Sophia, Fractures

*¹Sorumlu yazar: Efecan Belce: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği A.B.D., Terzioğlu Kampüsü, Çanakkale, efebelce@gmail.com, Tel: 05534048879

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze varlığını koruyarak gelen büyük yapılar geçmiş tarihin izlerini bugünlere taşımakla beraber önceki yüzyıllarda ortaya konan mimari, sanat ve mühendislik anlayışlarını bugünün bilim insanlarına da aktarmaktadır. Kültürel ve tarihsel dokularıyla buldukları ülkelere ve şehirlere gerek bilimsel olarak da değer kazandıran bu yapılar günümüzde varlıklarını sürdürüp gelecek nesillere de ışık tutup değer katması amacıyla günümüz mühendislik ve mimari anlayışlarıyla güçlendirme ve restorasyon işlemlerine tabi tutulmaktadır.

Günümüzde varlığını devam ettiren önemli yapılardan biri de ülkemiz sınırları içinde İstanbul'da bulunan Ayasofya Müzesi'dir (Şekil 1). Ayasofya gelişen tarihsel süreçte kilise, cami ve şimdiki haliyle müze olarak yerini almıştır. Manevi, mimari ve mühendislik bakımından çok büyük önem arz eden Ayasofya Müzesi tarihsel süreçte ayaklanmalar, savaşlar, yangınlar, depremler, fırtınalar gibi doğal ve insan kaynaklı birçok hasara maruz kalmıştır.

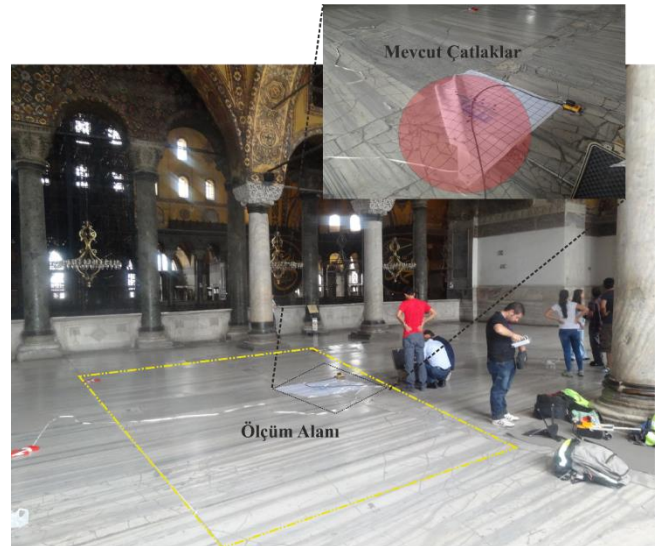


Şekil 1. Ayasofya Müzesi dış görünümü [1]

Ayasofya müzesinin ilk yapımı 4. yüzyılın ilk yarısında başladığı varsayılmaktadır [2]. İnşa edilen ilk yapıdan sonra süreç boyunca ayaklanmalar ve yangınlar neticesinde yıkılıp tekrar inşa edilmiştir. Günümüzde mevcut bulunan bu görkemli yapının inşası 537 yılında tamamlanmıştır [3]. 1453'te İstanbul'un fethi ile birlikte cami olarak kullanılmaya başlanan bu yapıya Mimar Sinan tarafından payandalar inşa edilmiştir [4]. Bu payandalara ek olarak Mimar Sinan yapıdaki deformasyonları önleme amaçlı, galeri tabanının yük taşıyıcı elemanlarını metal ve ahşap kirişlerle desteklemiştir [4].

1930'larda ise Fossati kardeşler, özellikle ana kubbenin restorasyon ve güçlendirilmesini tamamlamıştır [2]. Mimar Sinan'ın takviyesinden sonra Ayasofya'da herhangi bir yıkım olduğuna dair bir kanıt bulunmamakta olup, ancak bölgenin tarihi kayıtlarında çok sayıda deprem kaydedilmiştir. Halen yoğun olarak ziyaret edilen Ayasofya Müzesi'nde, özellikle galeri tabanındaki deformasyon ve zeminde ki çatlakların varlığı dikkat çekmektedir.

Günümüzde varlığıyla önem arz eden Ayasofya galeri zemininde görülen çatlak ve deformasyonların yapının iç kısımlarına bir zararı olup olmadığını ve güncel durumlarını inceleme amacıyla, restorasyon çalışmalarının bir parçası olarak yüksek frekanslı GPR (Ground Penetrating Radar-Yeraltı Radarı) ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Bu ölçümler ışığında belirlenen galeri katı güney kanadı cennet kapısı önünde bulunan bölgede farklı frekanslı antenlerle jeofizik çalışma yapılmıştır.



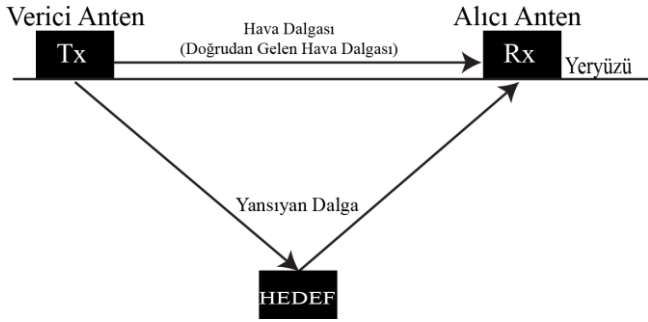
Şekil 2. Ayasofya Müzesi galeri katı çalışma sahası (büyük sarı alan) genel görünümü ve detay ölçüm alanı (daireesel alan) ve mevcut yüzey çatlakları

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Yeraltı Radarı Yöntemi

Yeraltı radarı (GPR) yöntemi gömülü cisimlerin tespitini belirleme amaçlı kullanılan, çalışma alanlarına tahribat vermeyen sıfır jeofizik bir mühendislik yöntemidir. Aynı zamanda yüksek frekanslı görüntülemeye de imkan veren ve temeli elektromanyetik yöntemlere dayanan bu yöntem yere temas eden antenin yere verdiği elektromanyetik dalgaların seyahati boyunca geçen sürenin anomali değişimlerini inceleyerek yeraltında ki yapı veya unsurların anomalileri ile o lokasyon hakkında bilgi tespitini sağlamaktadır.

GPR yöntemiyle, varlığı bilinmeyen gömülü yapıları ve/veya bozulmaları tanımlamak mümkündür [5]. GPR yöntemi, zemine gönderilen yüksek frekanslı radar sinyallerinin iletimi ve alımı arasındaki süreyi araştırmaktadır [6]. Yüzeydeki antenlerin ölçüm lokasyonuna elektromanyetik darbeler ileterek ve daha sonra sinyal gönderene kadar ve yüzeyden geri dönene kadar (iki yönlü seyahat süresi olarak adlandırılır) geçen zamanı ölçen yöntemdir [7]. Yöntemin şematik gösterimi Şekil 3 de ifade edilmiştir.



Şekil 3. Yeraltı radarı sistemindeki antenlerin şematik gösterimi (Tx: Verici Anten, Rx: Alıcı Anten) [8]

Farklı materyallerde ki geçişler ve / veya yansıma hızındaki değişiklikler, radar sinyallerinde farklı yansıma amplitüdülerine neden olur. GPR sinyalinin vericiden ayrılma ve alıcı tarafından alınma süresi hız ile ilgilidir ve derinlik kesitleri oluşturabilir [9]. Yöntem bir anomali elde etmek için tüm izleri kaydeder. Bir hattaki yüzlerce veya binlerce iz ile GPR profili farklı ölçüm aralıklarında (1-50 cm) kayıt yapar ve sonuç olarak 2 boyutlu profil oluşturur. Paralel 2 boyutlu profillerin gridlenmesiyle, yeraltı özelliklerini en iyi temsil eden 3 boyutlu bir görüntü elde etmek mümkündür [5,9]. Bu görüntüleri en doğru şartlarda tespit edebilmek için çalışılan alanın durumuna uygun ve aranan materyalin türüne göre GPR sistemine uygun anten seçimi önem taşımaktadır.

2.2. Ayasofya Müzesi Galeri Katı GPR Çalışmaları

Yeraltı radarı (GPR) çalışmalarını etkileyen iki ana unsur bulunmaktadır. Bunlardan biri, doğru anten sisteminin tespiti ve tespit edilen antenle elde edilen verilerin doğru program ve parametrelerle işlenip görüntülenmesidir. Doğru anten seçimi olmadığı takdirde veride fazla gürültü ve yanıltıcı anomaliler oluşabilir. Aynı şekilde veri işlem parametrelerinde seçimi yanlış olarak belirlenen değerler veri de yanıltıcı sonuçlara sebebiyet verebilir. Bundan dolayı uygun GPR sistemi ve veri işlem parametreleri bu tarz çalışmalarda çok büyük önem arz etmektedir.

Ayasofya Müzesi galeri katında gerçekleştirilen çalışmada yüzey çatlaklarının tespiti için Mala RAMAC ProEx GPR ve 1 GHz anten tercih edilmiştir (Şekil 4a). Bu sistem ile gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilen çatlak haritaları detaylı incelendiğinde galeri katı güney kanadı cennet kapısı önünde bulunan lokasyondaki çatlaklar önemli özellikte olup bundan dolayı o lokasyonda Mala CX radar sistemi 2.3 GHz radar anten sistemi (Şekil 4b) ile detay ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölgedeki alanlar 1 GHz anten sistemi ile 7 m x 7 m, 2.3 GHz anten sistemi ile 1.4 m x 1.4 m büyüklükte ki alanlar ile yapılan ölçümler ışığında

bölge detay çatlak haritası elde edilmiştir. Bu sistemler ile aranan unsurlar göz önünde bulundurularak uygun parametreler belirlenip ölçümler gerçekleştirilmiştir (Tablo 1).



Şekil 4. a) 1 GHz antenli Mala RAMAC ProEx GPR sistemi, **b)** 2.3 GHz antenli Mala CX Radar sistemi

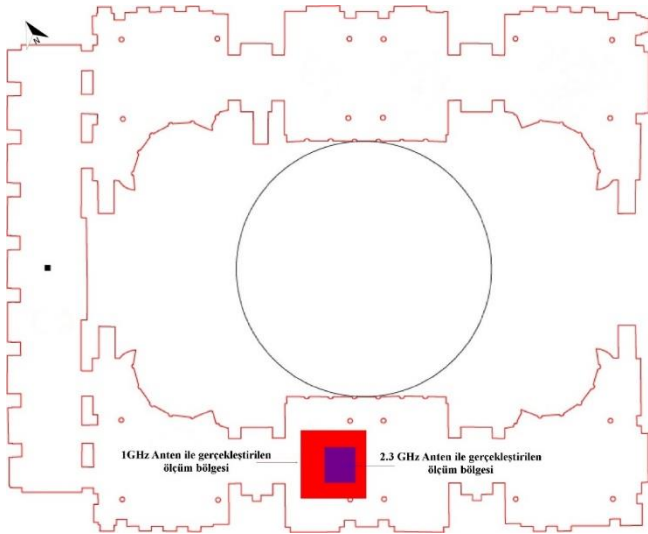
Tablo 1. GPR sistemi (1GHz ve 2.3 GHz anten) ile ölçüm parametreleri

Anten frekansı	1 GHz	2.3 GHz
İz Aralığı	0.02 m	0.004m
Örnekler	480	312
Örnekleme Frekansı	7174.6	17575
Zaman Penceresi	46.34	17.752
Profil Aralığı	0.2 m	0.1 m

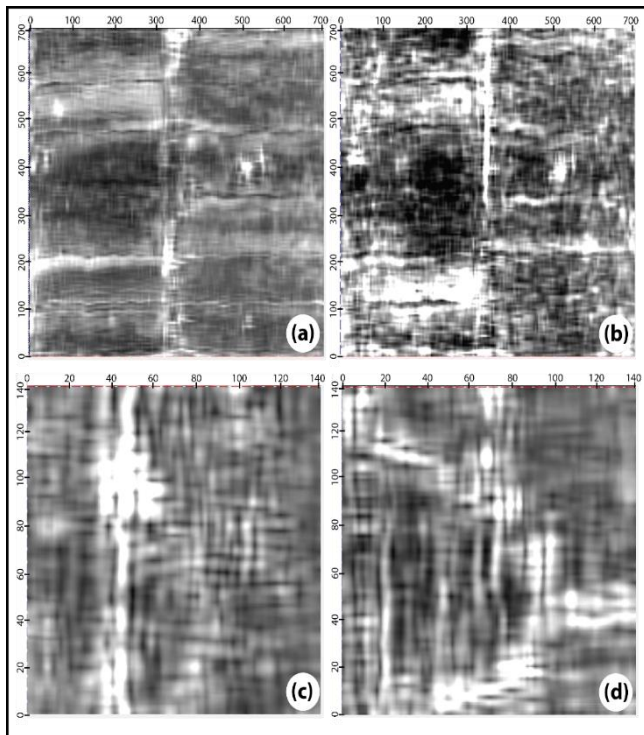
3. BULGULAR

Yeraltı radarı çalışmalarında veri işlem basamakları çok önemlidir. Çalışma yapılan alanda elde edilen veri doğru parametreler belirlenerek işlendiği takdirde aranan ve tespit edilen anomalinin çözülmesinde kolaylık sağlamaktadır.

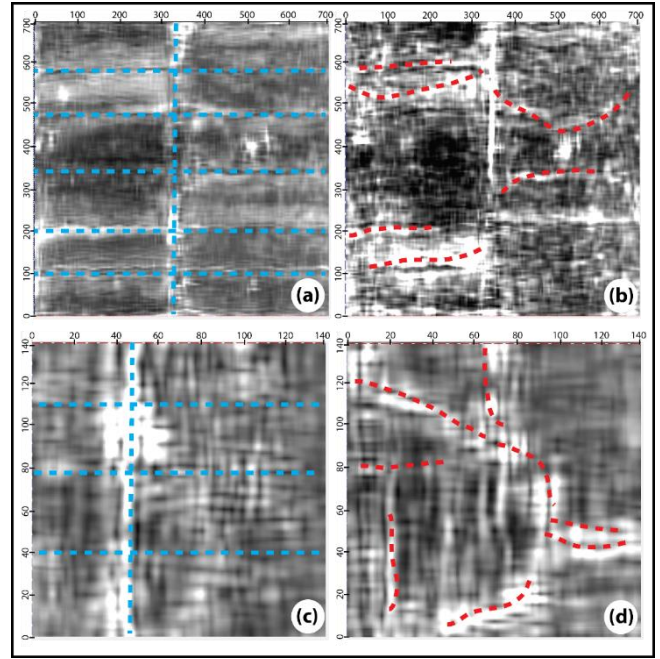
Gerçekleştirilen ölçümler neticesinde toplanan GPR verisinin yorumlanıp incelenmesinde daha iyi sonuçlar elde etmek için Reflex-W[10] ve MALA 3D Vision[11] ticari yazılımları kullanılmıştır. Her alan için uygun veri işlem parametreleri belirlenerek radar verisine uygulanmıştır (Tablo 2). Galeri katı güney kanadı cennet kapısı önünde bulunan bölgede (Şekil 5) yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen veriler ve model gösterimleri Şekil 6 ve Şekil 7 de gösterilmiştir. Şekil 6 da elde edilen veride ki derz arası boşluklar ve çatlaklar gösterilmektedir. Şekil 7 de verinin modellenmesinde düz şekilde süregelen anomalilerin derz arası boşluklar olduğu, ani değişimler ve çizgisel olmayan değişimlerin ise çatlakları ifade ettiği düşünülmektedir.



Şekil 5. Ayasofya Müzesi galeri katı ölçüm bölgesi (Kırmızı alan 1 GHz GPR anteni ile gerçekleştirilen ölçüm bölgesi, mor alan 2.3 GHz GPR anteni ile gerçekleştirilen ölçüm bölgesini göstermektedir)



Şekil 6. Çalışma alanında uygulanan GPR verileri; **a)** 1 GHz anten ölçümlerinde (700 cm x 700 cm) elde edilen derzlerin verisi, **b)** 1 GHz anten ölçümlerinde (700 cm x 700 cm) elde edilen çatlakların verisi, **c)** 2.3 GHz anten ölçümlerinde (140 cm x 140 cm) elde edilen derzlerin verisi, **d)** 2.3 GHz anten ölçümlerinde (140 cm x 140 cm) elde edilen çatlakların verisi



Şekil 7. Çalışma alanında uygulanan GPR ölçümlerinin işlenmiş verileri; **a)** 1 GHz anten ölçümlerinde (700 cm x 700 cm) elde edilen derzlerin işlenmiş verisi (Derz boşlukları mavi kesikli çizgi ile gösterilmiştir), **b)** 1 GHz anten ölçümlerinde (700 cm x 700 cm) elde edilen çatlakların işlenmiş verisi (Mevcut çatlaklar kırmızı kesikli çizgi ile gösterilmiştir), **c)** 2.3 GHz anten ölçümlerinde (140 cm x 140 cm) elde edilen derzlerin işlenmiş verisi (Derz boşlukları mavi kesikli çizgi ile gösterilmiştir), **d)** 2.3 GHz anten ölçümlerinde (140 cm x 140 cm) elde edilen çatlakların işlenmiş verisi (Mevcut çatlaklar kırmızı kesikli çizgi ile gösterilmiştir)

Tablo 2. Veri İşlem Parametreleri

Parametre/Anten	1 GHz Anten	2.3 GHz Anten
Sıfır Zaman Düz.	-1,9 ns	-1 ns
Dewow	1 ns	0.5 ns
Band Geçişli Süzgeç	400/800/1200/1600 MHz	800/1280/2560/3200 MHz
Genlik Azalımı	0.512	0.512
Ortalama Hız Düzeltmesi	0.12m.ns ⁻¹	0.12m.ns ⁻¹

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Süre gelen tarihsel süreçte çeşitli tahribatlara uğrasa da Ayasofya günümüzde halen öneminden hiçbir şey kaybetmeden varlığını devam ettirmektedir. Dünyanın her yerinden on binlerce ziyaretçiyi kabul eden Ayasofya, gerek farklı yüzyıllardaki ibadet yeri olması gerek mimari bakımdan dünya kültür mirasının en önemli yapılarından biri olarak ayakta ve hayatta durmaktadır. Bu önemde bir yapının restorasyon çalışması kapsamında gerçekleştirilen GPR çalışmalarında yapıda meydana gelen çatlaklar detaylı

şekilde incelenip belirlenen lokasyonda yüzey çatlaklarının durumu yapıya hasar vermeden tespit edilmiştir.

Yüzeyde gözlemlenen çatlakların sebebini bulma amaçlı yapılan çalışmada bu doğrultu ile yüksek frekanslı iki farklı GPR anteni ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. 1 GHz antenle yapılan ölçümlerde yüzeyde gözlemlenen ince (kılcal) çatlaklar, daha büyük çatlakları takip etmiştir. Bunun yanı sıra 2.3 GHz GPR anteni ile 1.4 m x 1.4 m lik alanlarda yoğun çatlak gözlenen ölçümlerde kılcal çatlaklar tespit edilmiş ancak birçok kılcal çatlakın kaplama(mermer) altına inmediği anlaşılmıştır. Bu durum yapısal olarak oluşan ana çatlak sistemlerinin daha zayıf kuvvetler ile ziyaretçilerin sebebiyet verdiği etkilerle oluşmuştur. Kılcal çatlaklar ana çatlakların arasında gelişmiştir.

Genel olarak bölgenin sismik aktivitesi ve çevresel koşulların (tramvay hatları, ağır tonajlı araç geçişleri) mikrosismik aktiviteleri ile tarihi yapı üzerindeki kuvvetler hali hazırda zayıflamış olan galeri katı tabanının yüzeyinde ileri zamanlarda daha büyük sorunlar oluşturabilecek çatlaklara neden olabileceği açıktır. Bu çalışma sayesinde mevcut bulunan çatlak yapılarının karakteristiği ortaya konarak geçmişten gelen hasar izlerinin gelecekte alınacak önlemlere ışık tutması sağlanmıştır. Çalışmaların daha sonraki aşamalarında gerek galeri katı gerekse Ayasofya Müzesi'nin zemininde uygulanacak mikrotromör ölçümleri ile hakim titreşim periyodlarına bağlı bağlı hareketlerin kıyaslanması mevcut çalışmanın çıktılarının niteliğini arttıracaktır.

TEŞEKKÜR

Ayasofya Müzesi müdürü Hayrullah Cengiz'e (T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel

Müdürlüğü, Ayasofya Müzesi Genel Müdürlüğü) çalışmalar süresince katkılarından dolayı teşekkür ederim.


KAYNAKLAR

- [1] <http://ayasofyamuzesi.gov.tr/tr/foto-galeri>
- [2] Doğan S., “Ayasofya ve Fossatı Kardeşler (1847-1858)”, Nezih Başgelen, İstanbul: Arkeoloji ve Sanat Yılları, ISBN: 978-605-396-152-9, İstanbul (2011)
- [3] Akşit İ., “Hagia Sophia”, Akşit Kültür ve Turizm Yayıncılık, ISBN 9789757039075, (2004)
- [4] Mainstone R.J., “Hagia Sophia: Architecture, Structure, and Liturgy of Justinian’s Great Church (reprint edition)”, Thames and Hudson, ISBN 0-500- 27945-4, (1997)
- [5] Conyers L.B., “Ground-penetrating radar techniques to discover and map historic graves”, Historical Archaeology, 40(3):64–73,(2006)
- [6] Yalçın C.Ç., Kurban Y., Altunel E., “Research using GPR into the cause of cracks and depressions in the floor of the gallery of Hagia Sophia Museum”, Construction and building materials, 139:458-466, (2017)
- [7] Conyers, L.B., Ground Penetrating Radar for Archaeology, Altamira Press, 2426 California,USA, (2004)
- [8] Conyers, L. B., & Goodman, D., Ground-penetrating radar: An introduction for archaeologists. California: Altamira Press, (1997)
- [9] Yalçın C.Ç., “Investigation of the subsurface geometry of fissure-ridge travertine with GPR, Pamukkale, western Turkey”, Journal Of Geophysics and Engineering, 10: 035001, (2013)
- [10] Sandmeier K.J., Reflexw 4.2 Manuel Book: Sandmeier Software (Karlsruhe, Germany), (2003)
- [11] Guideline Geo Americas INC., MALA 3D Vision, ABEM&MALA



FIR Filter Design Using Genetic Algorithm Implemented MATLAB and Asp.Net Based Web Educational Interface

*¹Zeynep B. Garip, ²Ali Fuat Boz

¹Sakarya University, Adapazarı Vocational School,
zbatik@sakarya.edu.tr, 

²Sakarya Applied Sciences University, Faculty Of Technology Electrical And Electronics Engineering,
afboz@sakara.edu.tr, 

Research Paper

Arrival Date: 06.01.2019

Accepted Date: 15.05.2019

Abstract

Today, the usage of filters in the signal and image processing area has become quite wider. The development in this area has also increased the usage of numerical filters. Understanding the principles and designing steps of these filters well provides a great convenience. In addition to this convenience, in recent years, the usage of Web laboratories in computer-aided education has become widespread. For this purpose, in this study, a new interactional web laboratory is proposed by using MATLAB for the course of numerical signal processing to help engineering students understand the filters and have practice. In the filter design, optimization of filter coefficients was carried out with genetic algorithm that is one of the evolutionary algorithms. For the design of interface, MATLAB Web figure and ASP.NET platform have been used. There is no need to set up MATLAB program in the user computer to use the interface for users/students. Interface can be reached easily by using any free web browser. Thanks to this availability, the laboratory requirement of the students is established without restricting time and place. This web laboratory, which is designed for FIR filter, was tested by the students who are having/had numerical signal processing lecture in Sakarya University, Technology Faculty, Electrical and Electronics Engineering Department and the results are presented in this study.

Keywords: FIR filter, MATLAB Web figure, ASP.NET, Genetic Algorithm, Computer-Aided Learning

1. INTRODUCTION

Web-based education has been expanding its influence on engineering field as in other fields recently. Web-based interfaces help engineering students to improve their knowledge and experience in their field. Regarding the restriction of time and laboratory in traditional education, it can be said that web-based educational interfaces are more flexible, easier, faster and more effective for the education environment. In addition, these user-interfaced applications can be easily reached by devices like computer, tablet, PDA and smart phone by using internet.

In the literature, Web-based education is also called online education, virtual education, internet-based education and computer-mediated education. It provides many opportunities for engineering students for personalized learning, tele-education, distance learning and cooperation without any restriction of time, place or access. In the literature, programs like Java, C, C++, C#, MATLAB and

LABVIEW were used for preparing the web based educational interfaces. In this subject, a web based educational interface to control an electrical motor remotely was designed by BINGOL and AYDOGAN for computer, electrics and electronics fields in 2012[16]. In 2009, IRMAK et al. proposed a web based interface for four-zone speed control of a DC motor using MATLAB web server to use in the electrical engineering education [17]. In 2011, a web interface to test the effectiveness of interactive experimental applications for DC motors, various RLC circuits and real time experiments was designed by COLAK et al [18]. While the authors carrying out this study, mathematical models implemented in MATLAB were combined with ASP.NET web page via .NET platform. After, they tested the page and obtained the numerical and graphical results.

Rapid developments in digital electronics increased not only digital filter usage areas but also the advantages of using them (doing changes easily only by software, low cost, etc.)

*Sakarya Üniversitesi, Adapazarı Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar Programcılığı, zbatik@sakarya.edu.tr, (0264) 295 66 98

too. Thus, finite impulse response (FIR) and infinite impulse response (IIR) filters take place in many common areas.

In the literature, there are many methods for obtaining the coefficients of FIR and IIR filters [1]-[4]. For these methods, high degree filters should be designed to get the closest ideal frequency responses. On the other hand, increasing the filter degrees also cause many operational challenges in the design procedure.

One of the intuitive calculation methods, genetic algorithms gets the result by producing value from different call points and are used in many application areas where classical calculation methods are insufficient and different solution methods are needed to be produced [5]-[8]. Similarly, obtaining filter coefficients by using genetic algorithms also takes place in [9]-[12].

In this study, both Classical methods and genetic algorithms are used to calculate the coefficients of FIR filters. Accordingly, a web laboratory is designed for educational purpose. This program was developed by using MATLAB Compiler processing on the internet as server-client, MATLAB Builder NE [13], ASP.NET [14] based and C# [15]. Thanks to developed software, FIR filter coefficients are calculated by both classical methods and genetic algorithms according to criteria and demand that are determined by the user. Many features of obtained filters (coefficient list, amplitude response, phase response, impulse response, step response, root-locus graph, group and phase delays etc.) are given numerically and graphically. In addition, these results are presented comparatively with the filter features designed by classical methods. With this program, which can also be used for educational purpose easily, animation-supported theoretical information is given about filter design and the effects of parameters on the filter responses can be tried and seen by the students. Thus, either for theoretical or practical purposes, FIR filter designs are done easily by being online as remote access in the web environment and using the genetic algorithms.

In the second part of this paper, FIR filter designs are summarized and some information about genetic algorithms is given in the third part. In the fourth part, designed web laboratory and its application are told and the fifth part includes the evaluation of designed Web laboratory. Finally, in the sixth part, results are summarized.

2. FIR FILTER DESIGN

The general architecture of the FIR filter, which has linear phase characteristic, stable structure and finite impulse response, is given in Figure 1 and the output is obtained by the following equation.

$$y_n = \sum_{i=0}^k a_i \cdot x_{n-i} \tag{1}$$

Filter coefficients can be symmetrical or asymmetrical according to central value. They can also be designed in four different types as given in Table 1 [1]-[4]. Design methods of FIR filters are generally simple, linear and reliable. Calculation equations of not normalized filter coefficients for ideal FIR filters are given in Table 2 [1]-[4].

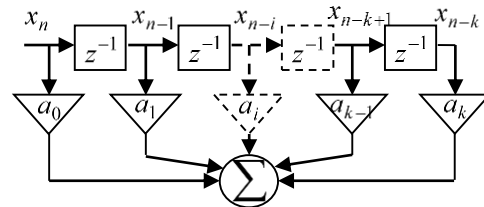


Figure 1. FIR Filter Architecture

Table 1. Features of FIR Filter

Type	Properties			
	Length of filter	Filter coefficients	Frequency response	
			$\Omega=0$	$\Omega=\pi$
I.	Odd integer	Symmetric	Even symmetry	Even symmetry
II.	Even integer	Symmetric	Even symmetry	Odd symmetry
III.	Odd integer	Asymmetric	Odd symmetry	Odd symmetry
IV.	Even integer	Asymmetric	Odd symmetry	Even symmetry

Table 2. Ideal Fir Filter Coefficients

Filter	Central coefficient	Other coefficients
Low pass	$h[0] = \frac{\omega_c}{\pi}$	$h[n] = \frac{\sin(n\omega_c)}{n\pi}$
High pass	$h[0] = 1 - \frac{\omega_c}{\pi}$	$h[n] = -\frac{\sin(n\omega_c)}{n\pi}$
Band pass	$h[0] = \frac{\omega_{c2} - \omega_{c1}}{\pi}$	$h[n] = \frac{\sin(n\omega_{c2}) - \sin(n\omega_{c1})}{n\pi}$
Band stop	$h[0] = 1 - \frac{\omega_{c2} - \omega_{c1}}{\pi}$	$h[n] = \frac{\sin(n\omega_{c1}) - \sin(n\omega_{c2})}{n\pi}$

3. GENETIC ALGORITHM

Based on the biological/evolutional process in the nature and being an intuitive method, genetic algorithm was firstly developed and used in the middle of 1970s. Being the part of the evolutionary calculation, genetic algorithms are iterational and probabilistic solution methods emerging with modeling the related process and they use random search techniques for solution and they are based on parameter encoding. Genetic algorithms are used in solution of optimization problems in different areas, information systems, machine learning etc. [5]. Solution phases of a problem using genetic algorithms can be summarized as in Figure2.

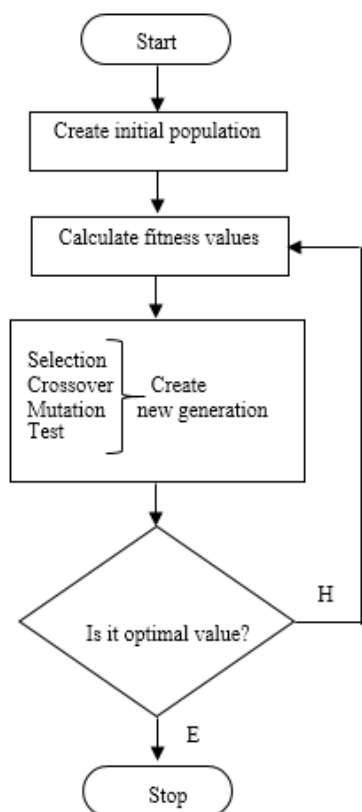


Figure 2. Flow chart of genetic algorithms

4. DESIGN OF WEB LABORATORY AND APPLICATION

In the proposed web interface design, .NET component prepared with MATLAB program and MATLAB Builder NE, and Visual Web Developer 2008 Express Edition program which works with this component compatibly and by which the interface was designed are used. Infrastructure of Web design was chosen as ASP.NET and programming language was chosen as C#. Architecture of the system is shown in Figure 3.

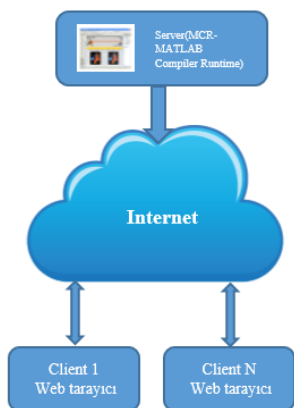


Figure 3. System Architecture

To use MATLAB Web Figure device, the first operation to do is to add “Web Figure Control” device to device box in “Visual Web Developer” program that is used for design as in Figure.4.

As for the second operation, Web figure control device is dragged and dropped in the working area. Name to be used in application is written to “name” part from the web figure features panel and “application” is chosen from the “scope” part.

As the third operation, .NET component prepared with MATLAB should be added as a reference to be used in application.

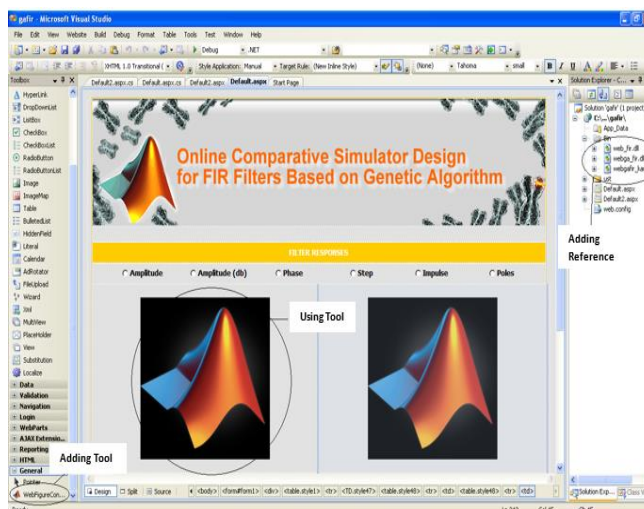


Figure 4. Design of interface

In this Web laboratory design, parameters (filter degree, sampling frequency, lower / upper cut-off frequency) are entered by choosing Filter (Low pass (LPF), high pass (HPF), band pass (BPF), band-stop (BSF)) and type of coefficient (asymmetrical).

A web-based interface is provided for desired FIR filter by organizing the settings of the general algorithms(The size of the population, fitness function {rank, relative peak, linear change} selection function {stochastic uniform, increasing, uniform, roulette, tournament} mutation function {Gaussian, uniform, adaptive}, crossover function {distributed, single-point, two-point, intermediate, heuristic, and arithmetic} and crossover rate) for the simulator both in classical design and by using genetic algorithm.

Firstly, coherence functions are prepared to get low pass filter coefficients by genetic algorithm. After organizing genetic algorithm adjustments/choices, optimization process is done. For example, MATLAB codes according to low pass filter equations given in Table 2 are shown in Figure 5.

```

% Coherence function for the central value coefficient of low
pass filter
function y=h0_lpf(k)
    y=((k*wc1)/(k*pi));
end
% Coherence function for the coefficients of low pass filter
function y=hn_lpf(k)
    y=(sin(k*wc1)/(k*pi));
end
    
```

Figure 5. Sample of coherence function codes

Two screen views of developed Web laboratory design are given in Figure.6. The module in Figure 7 features of filters graphs were given separately whereas in Figure 8, they were given in the same graph comparatively.



(a) first design for web laboratory



(b) second design for the web laboratory

Figure 6. Web Laboratory Designs

When parameters of LPF in the first design is entered and run, result screen in Figure 7 is obtained. Similarly, as the last simulation, the screen view of 20th grade BPF design whose cut off frequencies are 2 kHz and 6 kHz is given in Figure 8.

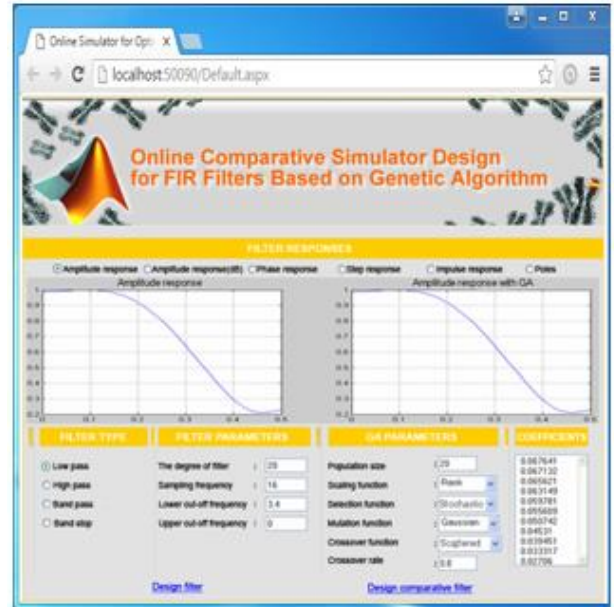
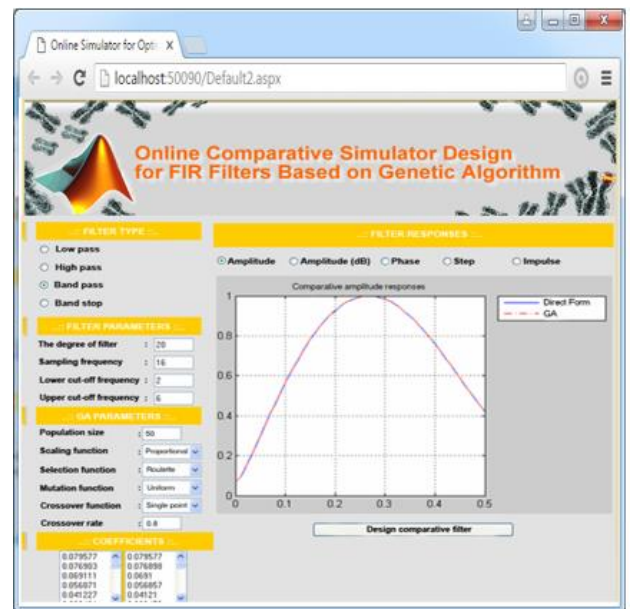
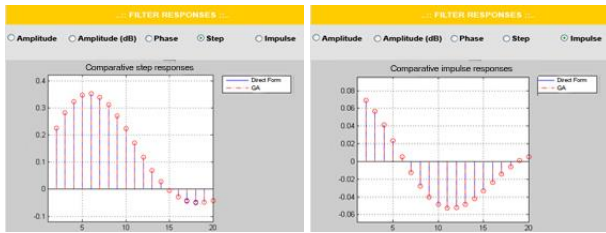


Figure 7. The simulation of first design



(a) The simulation of second design



(b) step and impulse responses obtained from the second design

Figure 8. Simulations obtained from the second design

The web figure graphs that are obtained thanks to this device, can be rotated in three axis by rotating icon, can be got closer to the desired part of the graphic with closing icon and Web Figure environment can be carried to desired place with carrying icon. Fitting in the frame icon reverts the Graph back.

5. EVALUATION OF WEB LABORATORY

To evaluate the prepared web laboratory, which is actually designed for learning and teaching of FIR filters calculated by using classical and genetic algorithms methods, it is presented to the students/users that were studying/had studied numerical signal processing lecture in Sakarya University, Technology Faculty, Electrical and Electronics Engineering Department in 2016 and feedback was got via survey. As processing FIR filter coefficients were taught by classical methods according to the syllabus of numerical signal processing lecture, for a better comprehension of the topic calculated solutions with genetic algorithm are added into the prepared web interface.

The students are surveyed about the prepared web laboratory with the questions seen in Table 3. Likert scale is applied for the evaluation. (5 - strongly agree, 4 - agree, 3 - neither agree nor disagree, 2 - disagree, 1 - strongly disagree). Totally 40 students joined the survey and the results were given in Figure 9. In the survey, neither agree nor disagree, disagree and strongly disagree expressions were accepted as negative.

Table 3. Questions of Survey.

	Please score the following items using the most suitable scales for you.
1	To understand and learn FIR filters, it is useful to use web laboratory.
2	Graphical interfaces support theoretical information.
3	To compare classical and genetical methods in design of FIR filters increases the understanding of the subject.
4	Graphs showing the obtained results from Web laboratory are understandable.
5	Using the Web laboratory is easy and efficient.
6	Working and response time of Web laboratory is enough.
7	Design of the Web Laboratory is successful.
8	Reach to Web laboratory is smooth and easy.
9	Web laboratory can be applied to different subjects in engineering, Please give an example.....

The first two questions were about to understand and learn the Web laboratory. Students/users gave positive answers to the two by the rate of 80% and it is suggested to be used as an educational device as it increases the interaction about the subject. Feedbacks were negative about the third question with the average rate of 60% because it was about comparison of classical and genetical method used in FIR filter design. The reason for the students to give negative answers to this question is that the students did not know the genetical algorithm. From the positive feedbacks to fourth and fifth questions with the rate of average 70%, it can be understood that usage of web laboratory is understandable and easy. Answers to sixth question come out 60% negativity. Reason of this is the delay being too much in the time of work and response.

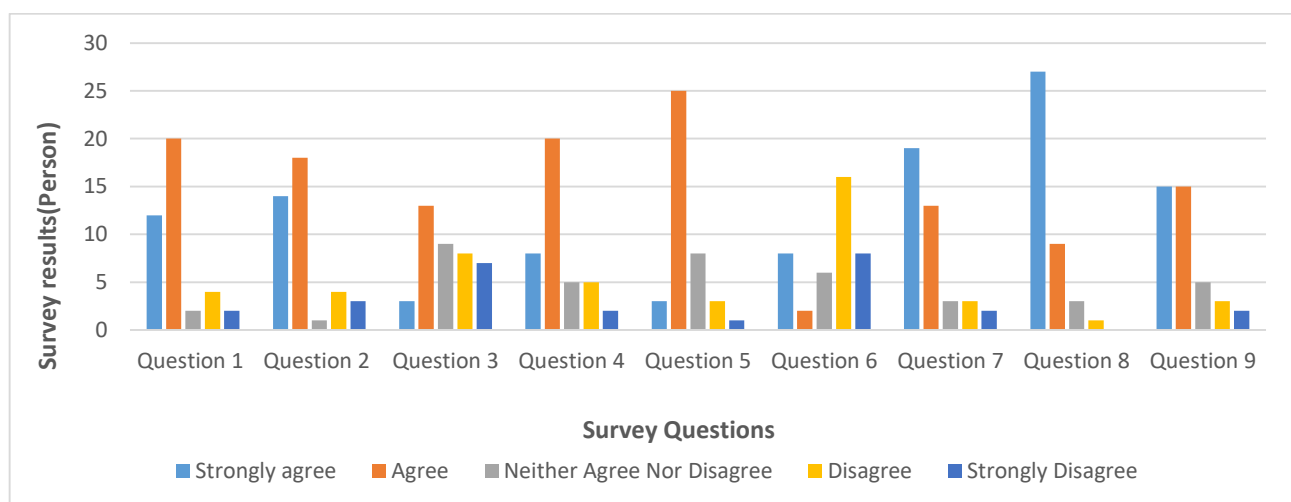


Figure 9. Survey results

Users wait more than one minute as response time, because of the connection between the server and client during the operation. Success of Web laboratory design as seventh factor, was evaluated by the rate of 80% by students/users positively. For the eighth one, 90% positive feedback was got. Due to being an online application, program is easily reached on internet by devices like computer, tablet, PDA, smart phone. The last one is about the applicability on different subjects in engineering area. The given answers about this category are towards that Web laboratory can be usable/applicable interactively in other engineering issues. Given examples to this category are mostly for IIR filters, a subject of numerical signal processing lecture. In this part, Web laboratory is desired to be developed. By this way, interaction with lecture could be increased.

6. CONCLUSION

In this study, to calculate FIR filter coefficients, both classical methods and genetical algorithms are used. In this respect, a web laboratory for educational purposes was designed. Through this program, students/users are provided to see the effects of used parameters for designing filters on filters experimentally through the designed Web laboratory.

The most important feature of the web laboratory is that there is no need for students/users to build MATLAB program in user computer to use the interface.

The interface can be easily reached with any web browser. With this access, the laboratory requirement of the students is satisfied with a flexible, easy, fast and effective education environment without any restriction of time and place. Designed web laboratory was brought into use of the students, feedback was got by the survey method and from the obtained data, it is understood that the program is a useful product in the education of numerical filter design. Furthermore, it is also understood that the program can also be developed for the IIR filters, too.

REFERENCES

- [1]. S. Winder, Analog and Digital Filter Design, Second Edition (Newnes, USA, 2002).
- [2]. W.-K.Chen (Ed.), The Circuits and Filters Handbook, Second Edition (CRC Press, 2003).
- [3]. V.K. Ingle, J.G. Proakis, Digital Signal Processing Using

MATLAB (V.4, PWS Publishing Company, Boston, 1997).

[4]. L. Thede, Practical Analog and Digital Filter Design (Artech House Publication, 2004).

[5]. D.E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning (Addison Wesley, 1989).

[6]. S. Duman, A. Öztürk, Robust Design of PID Controller for Power System Stabilization by Using Real Coded Genetic Algorithm, International Review of Electrical Engineering (IREE), vol. 5 n. 5, September-October 2010, pp. 2159 – 2170.

[7]. M. Eslami, H. Shareef, A. Mohamed, M. Khajehzadeh, Damping of Power System Oscillations Using Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization, International Review of Electrical Engineering (IREE), vol. 5 n. 6, December 2010, pp. 2745 – 2753.

[8]. M. Rashidi, F. Rashidi, Power System Stabilizer Tuning Using Multi-Objective Genetic Algorithm, International Review of Electrical Engineering (IREE), vol. 6 n. 4, July-August 2011, pp. 356 – 363.

[9]. A. Dey, A. Saha, S. Saha, S.A. Ghosh, A Method of Genetic Algorithm (GA) for FIR Filter Construction: Design and Development with Newer Approaches in Neural Network Platform, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 1, no. 6, 2010, pp.

[10]. S. Goyal, J. Raina, Design of Low Power FIR Filter Coefficients Using Genetic Algorithm, vol. 1, no. 2, 2010, pp. 1-5.

[11]. A. Ahmad, Design of Digital Filters Using Genetic Algorithms, Ph.D. [9]. dissertation, University of Victoria, Electrical and Computer Engineering, 2010.

[12]. D. Suckley, Genetic algorithm in the design of FIR filters, IEE Proceedings-G, vol. 138, no. 2, 1991, pp.

[13]. The Matworks, MATLAB 2009

[14]. Visual Web Developer 2008 Express Edition

[15]. J.H. Holland, Adaption in Natural and Artificial Systems (Cambridge, MA, MIT Press, 1975).


[16]. O Bingol, O Aydogan ,Web based remote controlled electrical motor laboratory used as educational tool, Electrical review, 2012

[17]. E. Irmak,Design of a remotely accessible e-laboratory platform, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 24(2):311-322,2009

[18]. İlhami C., Erdal I., Ersan K., Fatih I., Design and Implementation of a Remote Laboratory Platform Using MATLAB Builder for NE, ,Comput Appl Eng Educ 22:617–629, 2014

Bound Water and Hydroxyproline are the essential contributors to collagen molecular stability: A Computational Analysis

*Mustafa Ünal

¹Karamanoglu Mehmetbey University, Karaman, Turkeymustafaunal@kmu.edu.tr, 

Research Paper

Arrival Date: 20.01.2019

Accepted Date: 23.06.2019

Abstract

Being the primarily organic phase of bone, collagen type I is an important contributor to bone's mechanical resistance to fracture. Gaining mechanistic insight into collagen stabilization mechanism is critical to developing new targets to prevent bone fracture. The role of water and hydroxyproline (Hyp) in collagen stability mechanism is still controversial. The aim of this study was to investigate the influences of Hyp and bound water on the collagen molecular stability. Four collagen like-peptide (CLP) models were compared in terms of conformational energies and hydrogen bonding types. CLP1 model represents regular collagen structure without water molecules while CLP2 model represents collagen structure without water and Hyp residue. CLPW1 and CLPW2 are the models of CLP1 and CLP2 with water molecules around them, respectively. Cumulative interpreting of four CLPs models was shed light on the factors influencing collagen stability in the frame of steric energy. Total steric energy was ordered as: CLP2 > CLP1 > CLPW2 > CLPW1, indicating that CLPW1 was the most stable collagen model. On the other hand, CLP2 was the least stable collagen model based on the steric energy comparison. In addition, the hydrogen bonding observed in the four models revealed that water molecules around the models help in binding collagen triple helix through different water bridges since they contributed extra way for binding of triple chains. Moreover, some of the observed water bridges involved directly the presence of Hyp residue. Cumulative results suggested the important role of bound water molecules and Hyp on collagen molecular stability.

Keywords: Collagen, Bound Water, Hydroxyproline, Computational Molecular Mechanics, Bone

1. INTRODUCTION

Bone is a complex natural material comprised of mineral, organic matrix and water [1]. Type I collagen (~ 90% of total organic matrix) in a hydrated environment is the main composition of bone's organic phase. Other components of organic matrix include non-collagenous proteins such as osteopontin, osteocalcin, and fibrillin [1, 2]. Bone's resistance to fracture originates from both its unique composition and unique arrangement of the primary constituents [1]. While mineral phase of bone primarily contributes to strength and stiffness of bone, interlinked collagen matrix in hydrated environment confers bone's ductility (toughness) and post-yield deformation [1, 3]. Collagen molecules' structural integrity is one of the main contributors to the structural integrity of bone's organic matrix that consequently influences mechanical behavioral of bone [4].

The current concept of collagen molecule is triple polypeptide helices composed of two identical α -1 chains and one slightly different α -2 chain (each chain of collagen

molecule includes more than 1000 amino acid residues) [5-7]. The supercoiled right-handed triple helix (tropocollagen) is almost 300 nm in length and 1.6 nm in diameter [5, 6]. The most common amino acid sequence of collagen molecule is the multiple repeated of (Glycine(Gly)-X-Y)_n triplet, where X and Y refer mostly to Proline (Pro) and Hydroxyproline (Hyp), respectively [8, 9] (Figure 1). Hyp is the result of post-translational enzymatic modification of Pro, and always finds in collagen molecules in bone.

The structure of collagen molecule and its stability mechanism have been studied for the decades. In 1954, the first collagen model was developed by Ramachandran and Kartha [10] and this model was later refined by Rick and Crick in 1961 [6]. In 1980, the first crystal structure of collagen was obtained as (Pro-Pro-Gly)_n [11]. The first high resolution of collagen-like peptide (CLP) was reported in 1994 [12] and this structure confirmed to the existence model of Ramachandran and Kartha in 1954 [10]. Afterwards, many studies on collagen triple helix have been performed to characterize tropocollagen structural properties, collagen stability as well as folding mechanism [7].

*Corresponding author: Karamanoglu Mehmetbey University, Karaman, Turkey 70100, email: mustafaunal@kmu.edu.tr

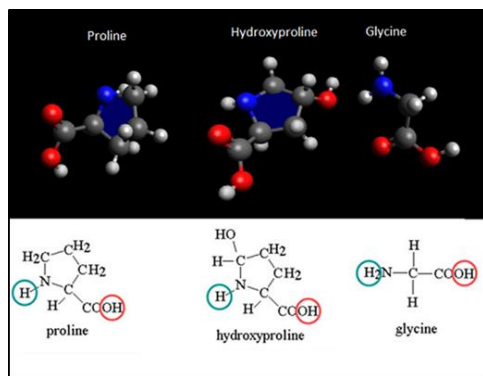


Figure 1. Individual amino acid types which were used in this study for modeling CLP and CLPW models. Blue and red circles indicate bonding site of amino acids.

In the literature, both experimental (i.e., thermodynamics experiment, X-ray crystallography or NMR) and computational molecular modeling research (i. e; molecular modeling simulation) have been directed to gain mechanistic insight to collagen stabilization mechanism [7]. However there is still no consensus of the role of Hyp and water on collagen stability/integrity. Some previous studies indicated that the presence of Hyp residue and water molecules have a major role in stabilization of collagen molecule through water bridges (interstitial water). These water bridges are connecting between amide and carbonyl groups at the site of substitution [7, 12-20]. On the other hand, other studies (based on mainly experimental analysis) concluded that Hyp or/and water bridges cannot have a fundamental importance of collagen stability because when comparing $(\text{Pro-Hyp-Gly})_n$ with $(\text{Pro-fPro-Gly})_n$ types of collagen-like peptide indicated that $(\text{Pro-fPro-Gly})_n$ was much more stable than $(\text{Pro-Hyp-Gly})_n$ even though hydrogen bonding ability of fPro (fluoroproline) is very weak [21-26]. Holmgren et al. [22, 23] suggested that the hydrogen bonding is not necessary to play an important role for stabilization of collagen. Furthermore, Engel et al [27] reported that $(\text{Pro-Hyp-Gly})_n$ was more stable than $(\text{Pro-Pro-Gly})_n$ even in non-aqueous solution, suggesting that stability role of Hyp is not related to water bridges. Therefore, collagen stability mechanism has been still controversial, especially for the role of Hyp and water on collagen stability.

The aim of the study was to investigate the influences of Hyp and bound water architecture on the molecular stability of collagen using a computational molecular mechanics.

2. METHODS

2.1. Construction of the molecular models

Since atomic level analysis of full-length collagen has been difficult due to size of collagen and its fibrous structure, the collagen model with small number of residues (20-30 amino acid residues in the different form of (Gly-X-Y)) has been generally used for computational molecular modeling. This type model has been called as collagen-like peptide (CLP)

[12]. The initial CLP model was obtained from the RCSB Protein Data Bank (PDB) (PDB ID: 1CAG) [12], and all models were created by modifying this original CLP model such as replacing Hyp with Pro for CLP2 model or adding water molecules around it. In this study, the CLP model refers to collagen-like peptide without hydration environment while CLPW refers to collagen-like peptide with hydration environment. CLP1 model included $(\text{Gly-Pro-Hyp})_{10}$ peptide repeats, representing the regular collagen structure. CLP2 model is the repeat of $(\text{Gly-Pro-Pro})_{10}$ sequence with Hyp residue absent (Figure 2). The coordinates of an idealized triple helix for process of coiling chains were adapted from the literature [12, 28]. To create hydration environment around the CLP models, approximately 130 water molecules were firstly created by Avogadro software and same water construction was added with suitable distance around CLPW1 and CLPW2 models (Figure 3).

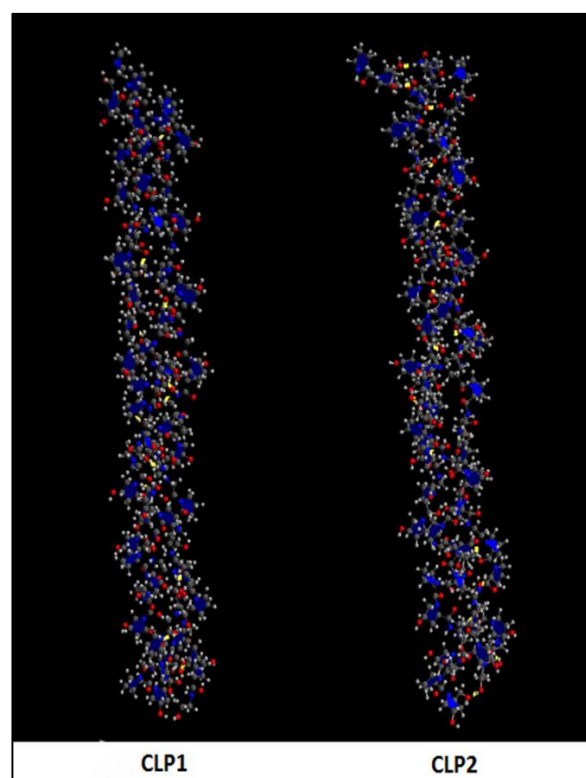


Figure 2. CLP1 and CLP2 models, representing collagen-like peptide without water molecules, after energy minimization process. Yellow shapes indicate the existence of hydrogen bonding sites.

2.2. Software and parameters

Molecular mechanics (MM) analyses were performed by using both Avogadro software with Merck Molecular Force Field (MMFF94)[29] and ChemBio3D Ultra version 12.0 with Molecular Mechanic force field (MM2) [30]. The main difference between MM2 and MMFF94 is that MMFF94 has generally more terms in the force field such as more cubic terms in angle bending potential energy and more cubic and

quartic terms in the bond stretch [31]. MMFF94 is mostly used for protein analysis (see details in [29]). Since both force fields have some well-known advantages and disadvantages, using both of them provided better approach for energy minimization process.

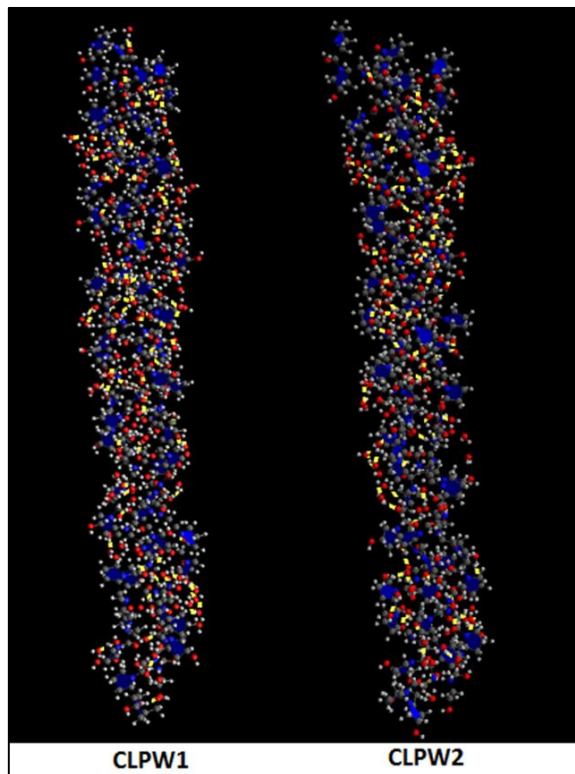


Figure 3. After energy minimization process, CLPW1 and CLPW2 models, representing collagen-like peptide with water molecules. Yellow shapes indicate existence of hydrogen bonding sites.

2.3. Computational Analysis

The stability collagen was analyzed in the perspective of steric (conformational) energy concept [31]. Steric energy is the energy due to geometry and molecule conformation, and is an important concept of computational biochemistry, especially for large molecules like proteins. Steric energy includes energy due to the bending, bond stretching, stretch-bend, out of plane, and torsion interactions as well as electrostatic interaction and Van der Waals interaction (see details in [31]). In the steric energy calculation, conformation of a molecule has the lowest energy conformation level because energy also wants to minimize itself in nature [31]. The lowest energy conformation, which is called energy minimization process, is set of bonded and angles, providing the smallest steric energy, and is inversely related with collagen stability: lower the steric energy, higher the collagen stability. In order to eliminate geometric strain and close contact in the CLP models and find steric

(conformational) energy, resulting of stability of CLP model conformation, energy minimization process was performed with the following scheme: first, the CLP and CLPW models were minimized for 50 steps by steepest decent (SD) method with force field MMFF94 and $10e-5$ convergence value. These parameters were chosen with considering computer limitations and avoiding time consumption (see details in [31, 32] for choosing parameter). Each energy minimization process of CLP models took 30 hours and process of CLPW models took slightly more than 30 hours. After first step completed, the processed models were minimized for a second time by MM2 force field with 0.1 RMS (root mean square) gradients. After energy minimization process was done, the model conformation was verified by comparing reported main chain conformational angles (dihedral angles) with the reported values in literature. Structural stability of CLP and CLPW models were analyzed by comparing the steric energies and by investigating the number and observed type of hydrogen bonds in the models.

3. RESULTS

Visual inspection of the models showed that structure of two models (CLP1 and CLP2) generally coincided with original tropocollagen conformation. CLP1 and CLP2 models were generally uniform and models were able to protect their integrity between triple helix ends (Figure 2 and 3). The structural conformation was confirmed through comparing mean torsion (dihedral) angles, ϕ and ψ , of the two models obtained from previously published works. The average ϕ angle was between -67.78° and -72.90° and the average ψ angle was between 160.12° and 164.80° for CLP1. For CLP2, these values were between -71.67° and -83.03° and between 162.40° and 167.18° , ϕ and ψ respectively. Table 1 summarized comparison of the torsion angles of CLP models with available data from literature. Especially, ψ angle value of Y position differed by up to 20° between the CLP models and the values reported in the literature although rest of values coincided, depending on type of structure, with one or more data obtained from the literature.

Table 2 and 3 summarized the calculated conformational (steric) energies. Total steric energy of CLP1 was 683.7994 kcal/mol while it was -903.6372 kcal/mol for CLPW1 (Table 2). The main reason of considerable difference between steric energy of CLP1 and CLPW1 was related to values of total van der Waals (VDW) and Dipole/Dipole interaction energy. The absolute value of total van der Waals energy (Non-1,4 VDW and 1,4 VDW) increased from 220.6782 to 897.6418 kcal/mol while the absolute value of Dipole/Dipole interaction energy increased from 148.2414 to 1117.2804 kcal/mol and the difference was 969.039 kcal/mol. However, the bend, stretch and torsion energy were comparable between CLPW1 and CLP1 (Table 2).

Table 1: Comparison of average main chain conformational (torsion) angles of CLP1 and CLP2 models with the angles of the previously published models.

Angles	Residue Position	CLP1	CLP2	Crystal structure of collagen[33]	(XYG) ₂₈ [28]	Collagen 10 ₇ Helix[34]	(PPG) _{10 75} Helix[11]	Collagen-like peptide [12]
φ (°)	X	-72.90	-71.67	-71	-87	-72.1	-75.5	-72.60
	Y	-72.18	-73.79	-66	-69	-75.0	-62.6	-59.60
	Gly	-67.78	-83.03	-68	-81	-67.6	-70.2	-71.90
ψ (°)	X	161.32	163.57	160	155	164.3	152	163.8
	Y	160.12	167.18	148	146	155.8	147.2	149.8
	Gly	164.80	162.40	167	173	151.4	175.4	174.1

Table 2: Steric energy values of CLP1 and CLPW1 after energy minimization/geometry optimization process.

Conformational (Steric) Energy (kcal/mol)	CLP1	CLPW1
Stretch	47.0139	47.3994
Bend	366.1212	414.3564
Stretch-Bend	12.8326	13.4466
Torsion	626.7514	636.0825
Non-1,4 VDW	-630.6017	-1303.3514
1,4 VDW	409.9235	405.7097
Dipole/Dipole	-148.2414	-1117.2804
Total Energy	683.7994 kcal/mol	-903.6372 kcal/mol

Table 3: Steric energy computation of CLP2 and CLPW2 after energy minimization/geometry optimization process.

Conformational (Steric) Energy (kcal/mol)	CLP2	CLPW2
Stretch	47.9900	45.9011
Bend	383.9867	401.3347
Stretch-Bend	13.7077	12.7939
Torsion	626.8381	641.8941
Non-1,4 VDW	-614.7183	-1256.2341
1,4 VDW	407.0030	415.2250
Dipole/Dipole	-137.3287	-1114.0146
Total Energy	727.4786 kcal/mol	-853.1001 kcal/mol

Total steric energy of CLP2 was 727.4786 kcal/mol while total steric energy of CLPW2 was -853.1001 kcal/mol (Table 3). The difference between the steric energies was again related to VDW and Dipole/Dipole interaction energies. The total steric energies can be ordered as follows: CLP2 > CLP1 > CLPW2 > CLPW1.

Hydrogen bond numbers with cut-off radius 2.00 angstroms (Å) and cut-off angle 120° were calculated by visual inspection. Table 4 summarized the observed hydrogen bond number of the models. Both CLW1 and CLPW2 had highest number of hydrogen bonds than CLP1 and CLP2 models have.

Several different types of hydrogen bonding were observed with respect to water and type of models (Figure 4-8). The most common interchain hydrogen bonding in the CLP models was NH_(Gly)...O=C_(Pro) and it existed without hydration environment (Figure 5).

CLPW models had mostly two kinds of hydrogen bonding by contribution of water bridges: N-H_(Gly or Pro) ... (Water)_n... O-H_(Hyp) and O-H_(Hyp) ... (Water)_n... O=C_(Gly or Pro) and both were observed as intrachain and interchain hydrogen bonding (Figure 6 and 7). C=O_(any residue) ... (Water)_n... O=C_(any residue) and N-H_(any residue) ... (Water)_n... O=C_(any residue) were other types of intrachain and interchain hydrogen bonding (Figure 8).

Table 4: Total existed hydrogen bond numbers (cut-off radius: 2.00 angstroms and cut-off angle: 120°) of the models

Models	Existed Hydrogen Bond numbers
CLP1	20
CLPW1	128
CLP2	19
CLPW2	129

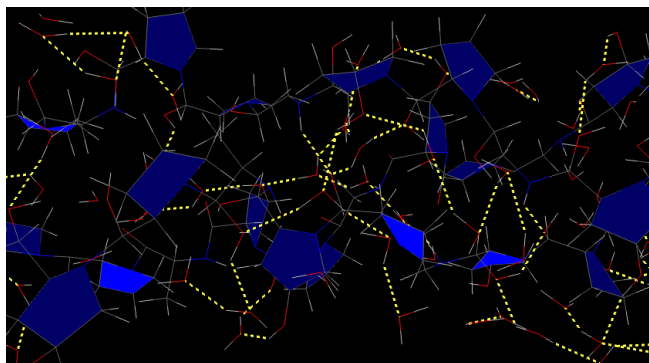


Figure 4. Overall view of several types of hydrogen bonding between the residues and water molecules in CLPW models. Yellow dot lines show the hydrogen bonds.

4. DISCUSSION

In the present study, four CLP models were analyzed to gain mechanistic insight to the effects of Hyp and bound water on collagen stability. The structural conformation of these models were confirmed by comparing dihedral (torsion) angles, ϕ and ψ with obtained data from the literature [11, 12, 28, 33, 34]. The models have slightly different angle values from some of the previously published studies [10, 11, 26-28]. This difference could be related to using data from crystallographic experiments and geometry optimization process of the models. Nevertheless, each torsion angle coincides with one or more angles from the previous studies (Table 1). This result supports that overall structure of models is sufficiently suitable to analyze the stability of collagen.

The present study showed that CLPW1 has lesser steric energy compared to CLP1 (Table 2). Moreover, the steric energy value of CLPW2 has lower than that of CLP2 (Table 3). Previously, Tamilselvan and Zhang also showed that the value of steric energy of CLP with hydrated environment has lesser than that of the value without hydrated environment for several models obtained from RSCB Protein Data Bank [19].

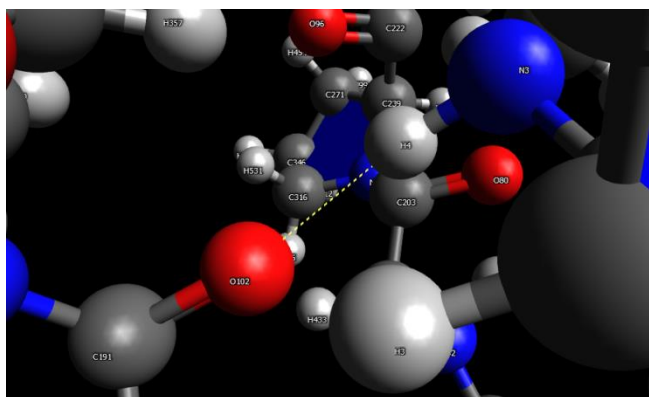


Figure 5. $\text{N-H}_{(\text{Gly})} \cdots \text{O}=\text{C}_{(\text{Pro})}$ hydrogen bond can exist even without hydrated environment.

The main difference between CLPs and CLPWs models in this study is whether the models include water molecules around them. As showed in Table 2 and 3, the main reason of steric energy differences between CLP and CLPW models is related to VDW and dipole/dipole interaction energies which are directly associated with the existence of water molecules. As expected, the observed hydrogen bonding numbers in CLPW models have higher than that of CLP models (Table 4). Furthermore, the types of hydrogen bonding observed in the models suggest that bound water molecules help in binding collagen triple helix as intrachain and interchain by created water bridges (Figure 6, 7, and 8).

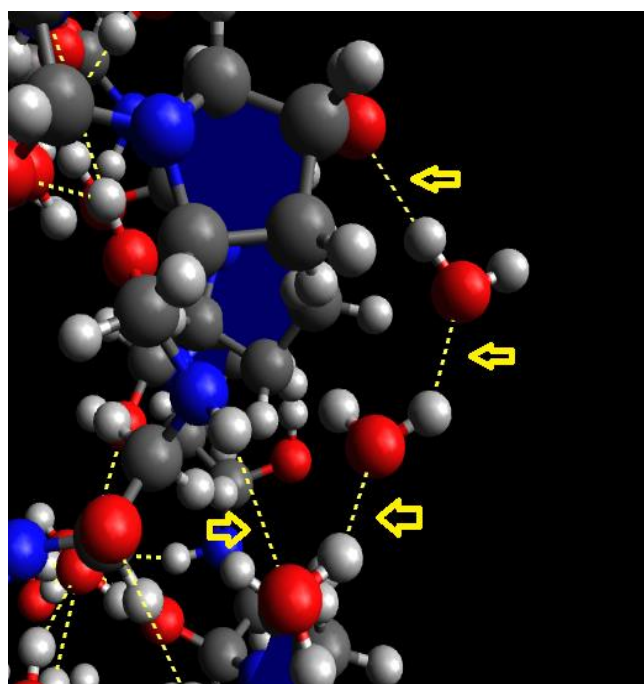


Figure 6. Hydrogen bonding between hydroxyl group of Hyp and N-H group of Gly or Pro through contribution of water bridges ($\text{N-H}_{(\text{Gly or Pro})} \cdots (\text{Water})_n \cdots \text{O-H}_{(\text{Hyp})}$).

These results cumulatively suggest that the presence of water inside and around collagen molecule has an important role: increasing the hydrogen bonding sites among collagen chains. Such water molecules create attractive forces on the collagen molecule, resulting in lower energy in collagen. Thus, the structure of collagen becomes more stable with water molecules through providing an extra way for binding triple chains like intrachain and interchain. In the original study by Bella et al [7, 12, 16], they extensively discussed the role of water molecules on the stability of collagen, and showed that water bridges can effectively mediate intrachain and interchain hydrogen bonding. Engel et al. [27] also reported that the stability of both $(\text{Pro-Pro-Gly})_n$ and $(\text{Pro-Hyp-Gly})_n$ peptide increase with the existing of water molecules. Confirming with the previously published studies [7, 35-37], this present study also demonstrates the critical role of water mediating hydrogen bonding.

The second important finding of the present study is related to role of Hyp. The results showed that total steric energy of CLPW1 has lesser than that of CLPW2 and the value has lesser than CLP2 for CLP1. Although the only difference between CLP1 and CLP2 was to replacing Hyp residue with Pro, this small modification in the model leads to a dramatic change in steric energies (Table 2). The hydrogen bond numbers of CLP1 and CLPW1 are much higher than those of CLP2 and CLPW2 (Table 4). Furthermore, some specific water bridges involve directly the presence of Hyp residue and they only exist with the presence of Hyp such as: $O-H_{(Hyp)} \cdots (Water)_n \cdots N-H_{(Gly \text{ or } Pro)}$ and $O=C_{(Gly \text{ or } Pro)} \cdots (Water)_n \cdots O-H_{(Hyp)}$ (Figure 7 and 8).

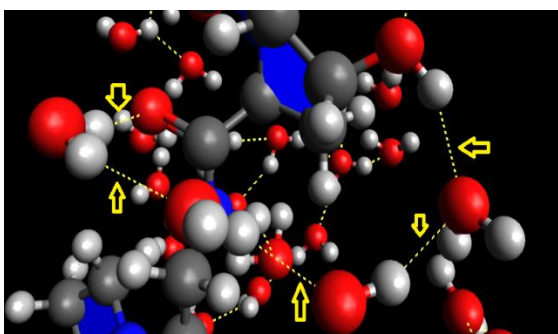


Figure 7. Hydrogen bonding between hydroxyl group of Hyp and carbonyl group of any residues through contribution of water bridges ($O-H_{(Hyp)} \cdots (Water)_n \cdots O=C_{(Gly \text{ or } Pro)}$).

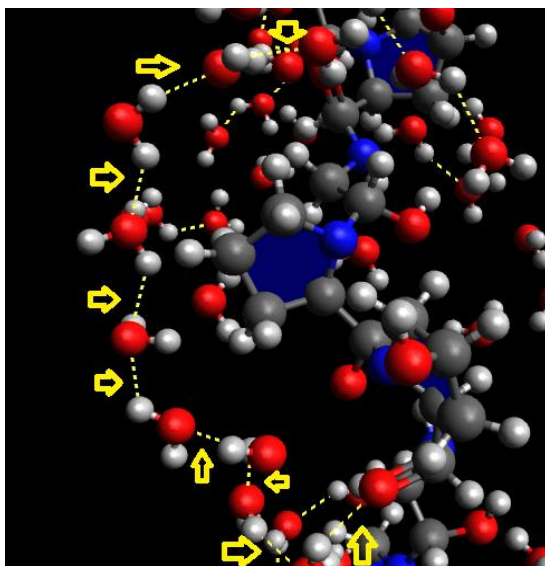


Figure 8: Hydrogen bonding between two carbonyl groups of any residues through contribution of water bridges ($C=O_{(any \text{ residue})} \cdots (Water)_n \cdots O=C_{(any \text{ residue})}$).

All these results indicated the essential role of Hyp for the collagen molecular stabilization. Previously, Kawahara et al. [38] showed that $(Pro-Hyp-Gly)_n$ peptide is more stable than $(Pro-Pro-Gly)_n$, suggesting that Hyp residue provides an increase in stability of collagen structure. Furthermore, the studies of Bella et al. [7, 12, 16] showed that Hyp residues

mostly interact with surrounding water molecules of collagen and this situation provides more hydrogen bonding with water molecules: thereby, significantly enhancing stability of collagen. Using steric energy concept, this work also confirms this important role of Hyp in collagen stabilization mechanism.

5. CONCLUSION

Using steric energy concept, the overall results suggest that Hyp residue and water molecules around the collagen significantly contribute to the stability of collagen structure with providing extra way to bind each collagen chains each other through several types of water bridges. Such water bridges around the collagen molecule are cumulatively created more attractive forces which consequently decrease the potential energy of collagen molecule, leading to more stable collagen molecule. Previously, the importance of water on mechanical behavior of single collagen molecule has been reported computationally [39-42]. Since uncoiling of collagen type I is one of the toughening mechanisms observed in bone, the collagen stability could be thought as another essential determinant of bone's resistance to fracture. But, to date, there is no study available showing such association between collagen stability and bone fracture resistance. Therefore, future studies are necessary to investigate the direct relationship between collagen stability and mechanical properties of bone, and the role of Hyp and bound water in this relationship.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to thank Prof. Dr. Ozan Akkus at Case Western Reserve University for providing valuable feedback and suggestions during conceiving the study and drafting the manuscript.

REFERENCES

- [1] M. Unal, A. Creecy, and J. S. Nyman, "The Role of Matrix Composition in the Mechanical Behavior of Bone," *Curr Osteoporos Rep*, vol. 16, pp. 205-215, June 01 2018.
- [2] L. Knott and A. J. Bailey, "Collagen cross-links in mineralizing tissues: a review of their chemistry, function, and clinical relevance," *Bone*, vol. 22, pp. 181-187, 1998.
- [3] J.-Y. Rho, L. Kuhn-Spearing, and P. Zioupos, "Mechanical properties and the hierarchical structure of bone," *Medical Engineering & Physics*, vol. 20, pp. 92-102, 1998.
- [4] M. Unal, H. Jung, and O. Akkus, "Novel Raman Spectroscopic Biomarkers Indicate That Postyield Damage Denatures Bone's Collagen," *Journal of Bone and Mineral Research*, vol. 31, pp. 1015-1025, 2016.
- [5] G. N. Ramachandran and G. Kartha, "Structure of collagen," *Nature*, vol. 176, pp. 593-5, Sep 24 1955.
- [6] A. Rich and F. H. Crick, "The molecular structure of collagen," *J Mol Biol*, vol. 3, pp. 483-506, Oct 1961.
- [7] J. Bella, "Collagen structure: new tricks from a very old dog," *Biochemical Journal*, vol. 473, pp. 1001-1025, 2016.

- [8] M. D. Shoulders and R. T. Raines, "Collagen Structure and Stability," *Annual Review of Biochemistry*, vol. 78, pp. 929-958, 2009.
- [9] C. L. Jenkins and R. T. Raines, "Insights on the conformational stability of collagen," *Natural Product Reports*, vol. 19, pp. 49-59, 2002.
- [10] G. N. Ramachandran and G. Kartha, "Structure of collagen," *Nature*, vol. 174, pp. 269-70, Aug 7 1954.
- [11] K. Okuyama, K. Okuyama, S. Arnott, M. Takayanagi, and M. Kakudo, "Crystal and molecular structure of a collagen-like polypeptide (Pro-Pro-Gly) 10," *J Mol Biol*, vol. 152, pp. 427-443, 1981.
- [12] J. Bella, M. Eaton, B. Brodsky, and H. M. Berman, "Crystal and molecular structure of a collagen-like peptide at 1.9 Å resolution," *Science*, vol. 266, pp. 75-81, 1994.
- [13] S. Sakakibara, Y. Kishida, K. Okuyama, N. Tanaka, T. Ashida, and M. Kakudo, "Single crystals of (Pro-Pro-Gly) 10, a synthetic polypeptide model of collagen," *J Mol Biol*, vol. 65, pp. 371-373, 1972.
- [14] E. Suzuki, R. Fraser, and T. MacRae, "Role of hydroxyproline in the stabilization of the collagen molecule via water molecules," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 2, pp. 54-56, 1980.
- [15] T. V. Burjanadze, "Thermodynamic substantiation of water-bridged collagen structure," *Biopolymers: Original Research on Biomolecules*, vol. 32, pp. 941-949, 1992.
- [16] J. Bella, B. Brodsky, and H. M. Berman, "Hydration structure of a collagen peptide," *Structure*, vol. 3, pp. 893-906, 1995.
- [17] N. K. Shah, J. A. Ramshaw, A. Kirkpatrick, C. Shah, and B. Brodsky, "A host-guest set of triple-helical peptides: stability of Gly-XY triplets containing common nonpolar residues," *Biochemistry*, vol. 35, pp. 10262-10268, 1996.
- [18] R. Berisio, L. Vitagliano, L. Mazzarella, and A. Zagari, "Crystal structure determination of the collagen-like polypeptide with repeating sequence Pro-Gyp-Gly: Implications for hydration," *Biopolymers*, vol. 56, pp. 8-13, 2001.
- [19] A. Tamilselvan and D. Zhang, "Effect of hydration on molecular stability of bone collagen," *Proceedings of the Ieee 28th Annual Northeast Bioengineering Conference*, pp. 197-198, 2002.
- [20] K. Mizuno, T. Hayashi, D. H. Peyton, and H. P. Bächinger, "Hydroxylation-induced Stabilization of the Collagen Triple Helix ACETYL-(GLYCYL-4 (R)-HYDROXYPROLYL-4 (R)-HYDROXYPROLYL) 10-NH₂ FORMS A HIGHLY STABLE TRIPLE HELIX," *Journal of Biological Chemistry*, vol. 279, pp. 38072-38078, 2004.
- [21] J. A. Howard, V. J. Hoy, D. O'Hagan, and G. T. Smith, "How good is fluorine as a hydrogen bond acceptor?," *Tetrahedron*, vol. 52, pp. 12613-12622, 1996.
- [22] S. K. Holmgren, K. M. Taylor, L. E. Bretscher, and R. T. Raines, "Code for collagen's stability deciphered," *Nature*, vol. 392, p. 666, 1998.
- [23] S. K. Holmgren, L. E. Bretscher, K. M. Taylor, and R. T. Raines, "A hyperstable collagen mimic," *Chemistry & biology*, vol. 6, pp. 63-70, 1999.
- [24] T. Hiyama, K. Kanie, T. Kusumoto, Y. Morizawa, and M. Shimizu, "Properties of fluoroorganic compounds," *Organofluorine Compounds: Chemistry and Applications*, pp. 10-12, 2000.
- [25] Y. Nishi, S. Uchiyama, M. Doi, Y. Nishiuchi, T. Nakazawa, T. Ohkubo, and Y. Kobayashi, "Different effects of 4-hydroxyproline and 4-fluoroproline on the stability of collagen triple helix," *Biochemistry*, vol. 44, pp. 6034-6042, 2005.
- [26] R. W. Newberry and R. T. Raines, "4-Fluoroproline: Conformational analysis and effects on the stability and folding of peptides and proteins," in *Peptidomimetics I*, ed: Springer, 2016, pp. 1-25.
- [27] J. Engel, H. T. Chen, D. J. Prockop, and H. Klump, "The triple helix \rightleftharpoons coil conversion of collagen-like polytripeptides in aqueous and nonaqueous solvents. Comparison of the thermodynamic parameters and the binding of water to (L-Pro-L-Pro-Gly) n and (L-Pro-L-Hyp-Gly) n," *Biopolymers: Original Research on Biomolecules*, vol. 16, pp. 601-622, 1977.
- [28] D. L. Bodian, R. J. Radmer, S. Holbert, and T. E. Klein, "Molecular dynamics simulations of the full triple helical region of collagen type I provide an atomic scale view of the protein's regional heterogeneity," in *Biocomputing 2011*, ed: World Scientific, 2011, pp. 193-204.
- [29] T. A. Halgren, "Merck molecular force field. I. Basis, form, scope, parameterization, and performance of MMFF94," *Journal of computational chemistry*, vol. 17, pp. 490-519, 1996.
- [30] U. Burkert, "Molecular mechanics," *ACS monograph 177*, 1982.
- [31] T. W. Shattuck, "Colby College Molecular Mechanics Tutorial," ed: Colby College, Waterville, 2008.
- [32] M. D. Hanwell, D. E. Curtis, D. C. Lonie, T. Vandermeersch, E. Zurek, and G. R. Hutchison, "Avogadro: an advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform," *Journal of cheminformatics*, vol. 4, pp. 1-17, 2012.
- [33] R. Fraser, T. MacRae, and E. Suzuki, "Chain conformation in the collagen molecule," *J Mol Biol*, vol. 129, pp. 463-481, 1979.
- [34] J. K. Rainey and M. C. Goh, "A statistically derived parameterization for the collagen triple-helix," *Protein Science*, vol. 11, pp. 2748-2754, 2002.
- [35] I. Streeter and N. H. de Leeuw, "A molecular dynamics study of the interprotein interactions in collagen fibrils," *Soft matter*, vol. 7, pp. 3373-3382, 2011.
- [36] I. Fu, D. A. Case, and J. Baum, "Dynamic water-mediated hydrogen bonding in a collagen model peptide," *Biochemistry*, vol. 54, pp. 6029-6037, 2015.
- [37] M. C. Tourell and K. I. Momot, "Molecular dynamics of a hydrated collagen peptide: insights into rotational motion and residence times of single-water bridges in collagen," *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 120, pp. 12432-12443, 2016.
- [38] K. Kawahara, Y. Nishi, S. Nakamura, S. Uchiyama, Y. Nishiuchi, T. Nakazawa, T. Ohkubo, and Y. Kobayashi, "Effect of hydration on the stability of the collagen-like triple-helical structure of [4 (R)-hydroxyprolyl-4 (R)-

hydroxyprolylglycine] 10," *Biochemistry*, vol. 44, pp. 15812-15822, 2005.

[39] D. Zhang, U. Chippada, and K. Jordan, "Effect of the structural water on the mechanical properties of collagen-like microfibrils: a molecular dynamics study," *Ann Biomed Eng*, vol. 35, pp. 1216-1230, 2007.

[40] A. Gautieri, S. Vesentini, A. Redaelli, and M. J. Buehler, "Intermolecular slip mechanism in tropocollagen nanofibrils," *International Journal of Materials Research*,

vol. 100, pp. 921-925, 2009.

[41] A. Gautieri, M. I. Pate, S. Vesentini, A. Redaelli, and M. J. Buehler, "Hydration and distance dependence of intermolecular shearing between collagen molecules in a model microfibril," *J Biomech*, vol. 45, pp. 2079-2083, 2012.

[42] H. Ghodsi and K. Darvish, "Investigation of mechanisms of viscoelastic behavior of collagen molecule," *J Mech Behav Biomed Mater*, vol. 51, pp. 194-204, 2015.

Oxidation Behavior of Y_2O_3 and Er_2O_3 -doped- α/β -SiAlON Ceramics

*Ali Çelik

Bilecik Şeyh Edebali University Metallurgical and Materials Engineering Department, Bilecik/Turkey,
ali.celik@bilecik.edu.tr, 

Research Paper

Arrival Date: 21.01.2019

Accepted Date: 07.05.2019

Abstract

SiAlON ceramics are successfully utilized in applications such as refractories used for metal melting and cutting tools for high speed machining of metals in which high temperature properties are important. As being one of the main indication of high temperature resistance for such applications, oxidation resistance of this materials are affected by microstructural features, type and amount of the rare-earth (RE) elements in α -SiAlON and grain boundary phase (GBP). In this study, oxidation behavior of α/β -SiAlON ceramics prepared by Er_2O_3 as well as Y_2O_3 , which is one of the most widely used RE-oxide in commercial SiAlON compositions, was investigated comparatively. A slight difference was observed in oxidation resistance of Er_2O_3 and Y_2O_3 containing SiAlON ceramics due to their slightly different crystallinity of GBPs.

Keywords: Oxidation, SiAlON, Rare-earth elements

Y_2O_3 ve Er_2O_3 -katkılı α/β -SiAlON Seramiklerinin Oksidasyon Davranışları

*Ali Çelik

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Bilecik/Türkiye,
ali.celik@bilecik.edu.tr, 

Öz

SiAlON seramikleri metal ergitme işleminde kullanılan refrakterler ve metallerin yüksek kesme hızlarında talaşlı imalatında kullanılan kesici takımlar gibi yüksek sıcaklık özelliklerinin ön planda olduğu uygulamalarda başarıyla kullanılan malzemelerdir. Bu malzemelerin oksidasyon ve korozyon direnci gibi yüksek sıcaklık özellikleri ise mikroyapısal özellikleri, faz özellikleri ve kullanılan nadir toprak (RE) elementleri ile belirlenmektedir. Bu çalışmada ve sağladığı yüksek oksidasyon direnci ile SiAlON seramiklerinin üretiminde en yaygın kullanılan nadir toprak elementi oksitlerinden bir tanesi olan Y_2O_3 ile birlikte önemli bir potansiyele sahip olan Er_2O_3 ilaveleri kullanılarak hazırlanan α/β -SiAlON seramiklerinin kıyaslamalı oksidasyon davranışları incelenmiştir. Oksidasyon direnci açısından her iki ilavenin benzer özelliklere sahip olduğu, farklılığın ise tane sınırı fazlarının kristalizasyon derecelerinden kaynaklandığı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Oksidasyon, SiAlON, Nadir toprak elementleri

1. INTRODUCTION

SiAlON ceramics are one of the most attractive engineering materials for various applications due to their high hardness, fracture toughness, thermal shock and corrosion resistance. The possibility to obtain all these properties in a single material by just altering the types and amounts of α -SiAlON, β -SiAlON and GBP makes this material suitable for many

challenging applications. α -SiAlON phase is 40% harder than β -SiAlON, which has higher fracture toughness due to its elongated grain shape [1-3]. Since both high fracture toughness and hardness are required for many structural applications, in-situ α/β -SiAlON composites are more suitable in comparison to the single phase monolithic SiAlONs. Cutting tools for high speed machining of gray cast iron and superalloys are the most well-known

*Corresponding Author: Bilecik Şeyh Edebali University Metallurgical and Materials Engineering Department, Bilecik/Turkey,
ali.celik@bilecik.edu.tr

application and crystallization of GBP as well as combination of hardness and toughness provided by α and β -SiAlON phases are critically important for high temperature resistance for SiAlON based cutting tools [4].

The oxidation is one of the main problems for not only SiAlON ceramics but also the other Si-based synthetic ceramic materials such as SiC, Si₃N₄, etc. due to their thermodynamic instability in open atmosphere at high temperatures. Çelik et al. [5] manufactured SiAlON based ceramic milling tools and tested them on high speed milling of superalloys. According to author's conclusions on test results, the cutting zone temperature exceeded to 1000°C, and oxidation and other diffusion processes became dominant at given test conditions. Therefore, the investigation of effective parameters on the oxidation behavior of SiAlON ceramics was considered as an important subject for improving high temperature properties of these ceramics and subjected to many researches in the literature. For β -SiAlON phase, z value in the general formula of Si_{6-z}Al_zO_zN_{8-z}, indicating the solubility of Al and O atoms in crystal structure of β -Si₃N₄, is an effective parameter on the formation of the oxide crystal products as the result of oxidation reactions since it affects the amount and viscosity of the GBP [6,7]. On the other hand, the RE element oxides are highly effective on the nature of oxidation resistance of α -SiAlON phase. Yu et al. [8] investigated the oxidation behavior of α -SiAlON ceramics doped with Yb, Y, Nd, Ca and Li-oxides between 1000-1300°C and reported that the oxidation resistance increased in the order of Li, Ca, Nd, Y and Yb. They concluded that the refractoriness of the oxidation products on the surface and crystallinity of GBP, which are strongly dependent on type of the RE used, play an important role on the oxidation resistance. In a similar work, Corapcıoğlu and Kurama [9] examined the oxidation resistance of Y and Sm single doped and Y/Sm multi-doped α -SiAlON ceramics at the temperatures between 1300-1450°C and found the viscosity of GBP as an effective parameter on oxidation resistance of the ceramics. It was reported by the authors that using of both Sm and Y as multi dopant resulted in a slight increase in oxidation resistance in comparison to the single doped SiAlON compositions. Nordberg and et al. [10] utilized Y, Yb, Sm and Nd in α -SiAlON compositions and investigated the oxidation behavior of these ceramics. Oxidation resistance of ceramics doped with Nd and Sm was found lower than that of Y and Yb doped counter-parts due to lack of N-rich melilite phase crystallization at the grain boundaries of Sm and Nd doped SiAlONs.

In this study, comparative oxidation behavior of Er₂O₃ and Y₂O₃-doped α/β -SiAlON ceramic at 1250-1550°C was investigated by a scanning electron microscope (SEM) and an x-ray diffractometer (XRD). The weight change of the SiAlON ceramics due to oxidation reactions was also analyzed.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Production of SiAlON samples

α/β -SiAlON compositions doped with Y₂O₃ and Er₂O₃, labelled as Y-S and Er-Si, respectively, were designed as the ratio of α/β is 25/75% and z value of β -SiAlON (Si_{6-z}Al_zO_zN_{8-z}) is 0.2. α -Si₃N₄ powder, as the main component of SiAlON compositions, and Al₂O₃ AlN, Y₂O₃ and Er₂O₃ powders, which provides formation of liquid phase and stabilization of α -SiAlON phase during sintering were charged to the chamber of an attritory mill. The powders were milled for 2 hours in aqueous medium in the presence of Si₃N₄ milling balls with a diameter of 3 mm for an efficient milling process. After mixing the slurries with organic pressing additives in a separate chamber for 30 min., spray drying (LTC-2 Nubilosa) was performed to obtain granules with high flowability. The average particle size of the granules with a moisture content of ~1 wt.% was 100 μ m. In shaping step, SiAlON granules were transferred to a cylindrical flexible polyurethane mold of cold isostatic press (MSE-CIP200) and then 200 MPa isostatic pressing pressure was applied to the mold setup in order to obtain SiAlON compacts with a green density of ~55% of theoretical density. Subsequent to a binder removal step performed at ~600°C prior to sintering, the green cylindrical compacts were placed to the chamber of gas pressure sintering (GPS) furnace (FCT-FPW180/2200). The samples were densified to >99,8 % of theoretical density at a maximum temperature and N₂ gas pressure of 1900°C and 100 bar, respectively.

2.2. Oxidation tests and characterization

After sintering, cylindrical SiAlON samples were cut into pellets with a thickness of 5 mm and top and bottom grinding of the sintered pellets was performed by a polymer bonded diamond wheel (average diameter of diamond particles is 120 μ m). Then, the pellets were oxidized at 4 different temperatures (1250, 1350, 1450 and 1550°C) with a soaking time of 2 hours under normal atmospheric conditions. Before and after each oxidation tests, the samples were weight with a four-digit scale in order to find the weight change depending on the oxidation reactions. The phases inside as-sintered samples and formed on the surface of oxidized samples were identified by an x-ray diffractometer (XRD) (Rigaku-Miniflex). From the XRD spectrum, intensity of the peaks of α -SiAlON phase at $2\theta=34.5$ ve 35.3° and of β -SiAlON phase at $2\theta=33.7$ ve 36° were used to calculate the α/β -SiAlON phase ratio by following equation:

$$\frac{I_\beta}{I_\beta + I_\alpha} = \frac{1}{1 + K [(1/w_\beta) - 1]} \quad (1)$$

where I_β and I_α are the x-ray intensities of β and α -SiAlON peaks respectively, K is constant (0.518 for the peaks diffracted by (101) plane of β -SiAlON and (102) plane of α -SiAlON and 0.544 for the peaks diffracted by (210) plane of β -SiAlON and (210) plane of α -SiAlON), w_β is the

concentration of β -SiAlON phase in volume %. z value of β -SiAlON in general formula of $\text{Si}_{6-z}\text{Al}_z\text{O}_z\text{N}_{8-z}$ was determined by the shifts of corresponding peaks due to solubility of Al_2O_3 in Si_3N_4 crystal lattice and calculated by taking the average of z_a and z_c which are given in Equations 2 and 3 as follow:

$$z_a = \frac{a - 7.6044}{0.031} \quad (2)$$

$$z_c = \frac{c - 2.9075}{0.026} \quad (3)$$

The degree of crystallization of GBP was determined by taking the ratio of the intensity of the peak diffracted by (32-2) plane of $(\text{RE})_5\text{Si}_4\text{Al}_2\text{O}_{17}\text{N}$ phase at 2θ value of $32,70^\circ$ and the intensity of the peak diffracted by (101) plane of β -SiAlON phase at 2θ value of $33,40^\circ$.

Microstructures of the as-sintered and as-oxidized samples were investigated by SEM (Zeiss-Supra 50VP) in back-scattered electron (BSE) mode, and the concentration of the elements in the content of oxidation products were analyzed by energy dispersive x-ray spectroscopy (EDX) which was attached to this SEM. The amount of GBP in as-sintered ceramics were visually determined by analyzing of SEM images with Image J analysis program.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Microstructural characterization of as-sintered ceramics

Figure 1 (a) and (b) show the BSE-SEM images of Y-S and Er-S ceramics, respectively and (c) shows the XRD spectrum of these ceramics. While the dark gray elongated grains were β -SiAlON phase, α -SiAlON phase was observed as light gray equiaxed grains in the images. The GBP distributed through-out the microstructures homogeneously is seen as white small pockets due to their high atomic number RE concentration. Although the distribution of α and β -SiAlON grains in both microstructures are quite similar, the aspect ratio of β -SiAlON grains was seen slightly higher for Er-S sample (Fig 1 (a) and (b)). Moreover, a more bimodal distribution of β -SiAlON phase was detected for Er-doped sample since much finer β -SiAlON grains were formed in addition to the large elongated ones compared to Y-S. The bimodal distribution of β -SiAlON grains is an important indication of the material resistance against to crack propagation [11-13]. According to XRD spectrum given in Fig.1 (c), a crystalline GBP apart from α and β -SiAlON phases was formed in a stoichiometric formula of $(\text{RE})_5\text{Si}_4\text{Al}_2\text{O}_{17}\text{N}$. In Table 1, the amounts and degrees of crystallization of GBPs as well as β -SiAlON content and z values were summarized. It was seen that the main difference

between Y_2O_3 and Er_2O_3 was their effects on the crystallization behavior of GBP rather than α/β ratios, z values and/or GBP amounts. While the degree of GBP crystallization value of Y-S ceramic was calculated as 0.13, it was determined more than twice for Er-S ceramic due to a possible formation of liquid phase with lower viscosity during sintering as suggested by Hampshire and Pomeroy [18].

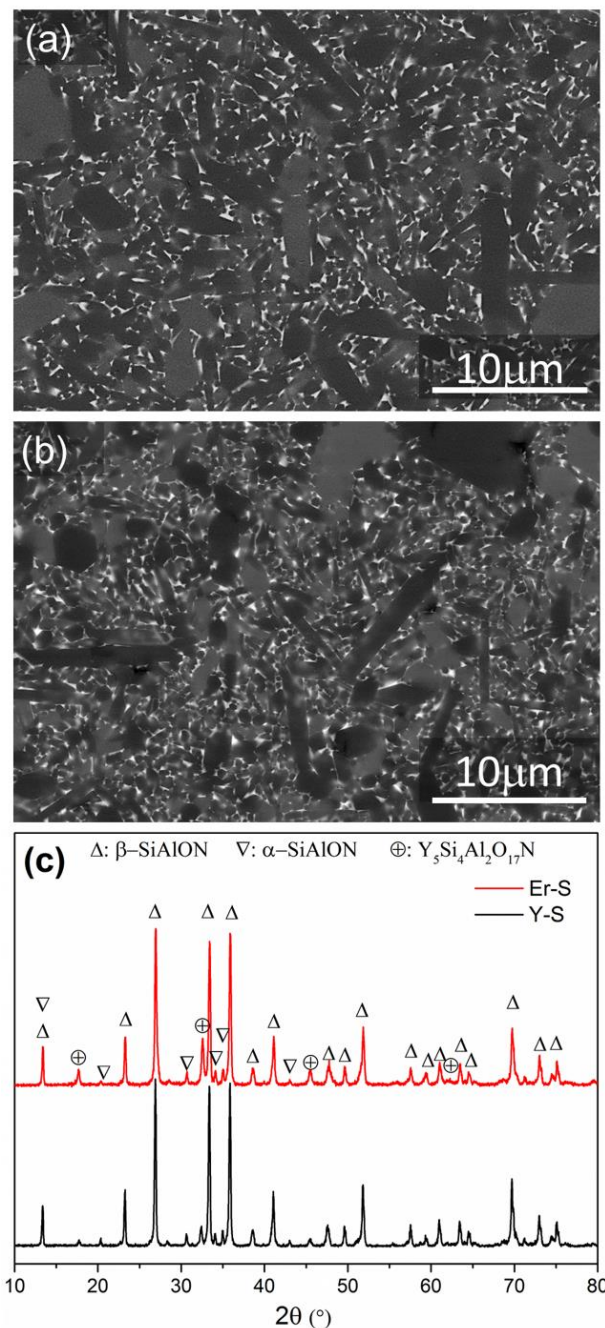


Figure 1. BSE-SEM images of as-sintered (a) Y-S ve (b) Er-S samples and (c) XRD spectrum of these compositions

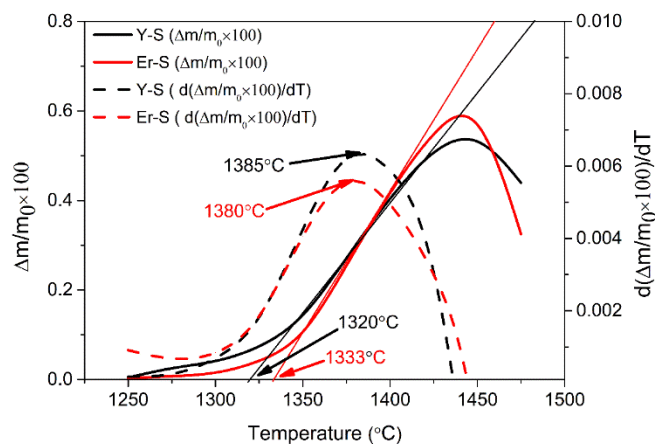
Table 1. Phase properties of as-sintered Y-S ve Y-Er ceramics

	Y-S	Er-S
Dopant type	Y ₂ O ₃	Er ₂ O ₃
β/α (%)	86	86
z value of β-SiAlON (Si_{6-z}Al_zO_zN_{8-z})	1,06	1,02
Amount of GBP (vol.%)	8,13	7,73
Crystallization degree of GBP (I_{GBP}/I_{β-SiAlON})	0,13	0,34

3.2. Oxidation behavior of SiAlON compositions

3.2.1. Weight change

The oxidation behavior of Y and Er-doped SiAlON ceramics was examined by the weight change resulted by the oxidation reactions and a standard test method, the details of which was given in [14] and [15], was used to compare the oxidation resistance of these ceramics, quantitatively. Figure 2 shows the weight change curves ($\Delta m/m_0 \times 100$) of the Y-S and Er-S compositions as a function of oxidation temperature and the first order derivative of these curves ($d(\Delta m/m_0 \times 100)/dT$), which indicate the temperature at which the oxidation rate is maximum. It is clear in the graphs that while only a slight weight gain was observed at the temperature above 1250°C, the rate of weight gains due to oxidation reactions increased significantly above 1325°C for both Y-S and Er-S ceramics. While the tangent of weight gain curve for Y-S composition intersects the temperature axis (y-axis) at 1320°C, a slightly higher value was found for Er-S composition (1333°C) which indicated that the starting temperature of oxidation for Er-S sample was higher than that of Y-S sample. Although the starting oxidation temperature of Y-S was lower, the

**Figure 2.** Weight change ($\Delta m/m_0 \times 100$) and derivative weight change ($d(\Delta m/m_0 \times 100)/dT$) curves of Y-S and Er-S ceramics as a function of oxidation temperature.

weight gain rate was also lower for this sample with increasing temperature due to its lower slope in comparison to Er-S composition. The maximum value of the slope shows the temperature at which the oxidation rate is the highest [14,15]. These temperatures were obtained from the peak of derivative curves and were found close to each other as 1385 and 1380°C for Y-S and Er-S compositions, respectively. At higher temperatures above this, the oxidation rate became slower and finally the samples started to lose weight due to evaporation of the gas products as a result of severe oxidation reactions.

3.2.2. Surface analysis

In Figure 3, micrographs of the surfaces of Y-S and Er-S ceramics after oxidation tests performed at 1250-1550°C with 100°C intervals. It was seen in Fig 3 (a) and (b) that white elongated crystals with a length of 3-5 μm formed throughout a dark gray matrix on the surface of the samples at 1250°C. The XRD analysis from the oxidized surfaces of the samples (Figure 4), showed that the elongated crystals and dark gray matrix are RE-silicates ((RE)₂Si₂O₇) and cristobalite (SiO₂), respectively. The formation of silicate crystals on the surface of SiAlON ceramics prepared by trivalent RE cations such as Y⁺³, Yb⁺³, Sm⁺³ was also reported in [8-10]. At 1350°C, a significant growth of the silicate crystals was observed and almost whole surface of the samples was covered by these crystals (Fig. 3 (c) and (d)).

Moreover, the amount of cristobalite phase increased at this temperature according to increase in the intensity of (111) plane of cristobalite peak at $2\theta \sim 21.6^\circ$ in Fig 4. While a significant formation of middle-like mullite phase (Al₆Si₂O₁₃) apart from silicate and cristobalite phases was detected for Y-S composition, a limited mullite formation was detected for Er-S sample. Crystallization of mullite from the melt which was rich in Si, Al and O atoms during oxidation is a common process for many SiAlON ceramics [16]. It is well known that highly dense oxide scale which contains cristobalite and mullite phases without any micro-cracks increases the oxidation resistance of the substrate by inhibiting the inward and outward diffusion of the atoms. In this case, however, some interconnected cracks on the oxide scale were started to form as seen in Fig. 3 (c) and (d). Furthermore, the silicate and aluminate crystals available on this oxide scale can also alter the chemical composition and therefore, protection capability of the oxide scale [8]. In order to explain the oxidation resistance of SiAlON ceramics as a function of RE elements used, ionic field strength (IFS) which is an indication of the interaction of cation with its surrounding atoms were generally used.

IFS, which was defined as the ratio of valance of a cation to square of its radius mathematically, proportional with the mechanical and chemical durability as well as high temperature resistance of the silicate phase [17]. For the silicate phases in this study containing Y⁺³ and Er⁺³ RE elements with the radii of 90 and 89 pm, respectively, the IFS values were calculated as 3,70 and 3,79 1/Å². It can be

concluded that similar oxidation resistance of the Y-S and Er-S compositions were observed by considering corresponding IFS values as well as maximum oxidation

temperatures obtained from weight change results as given in previous section.

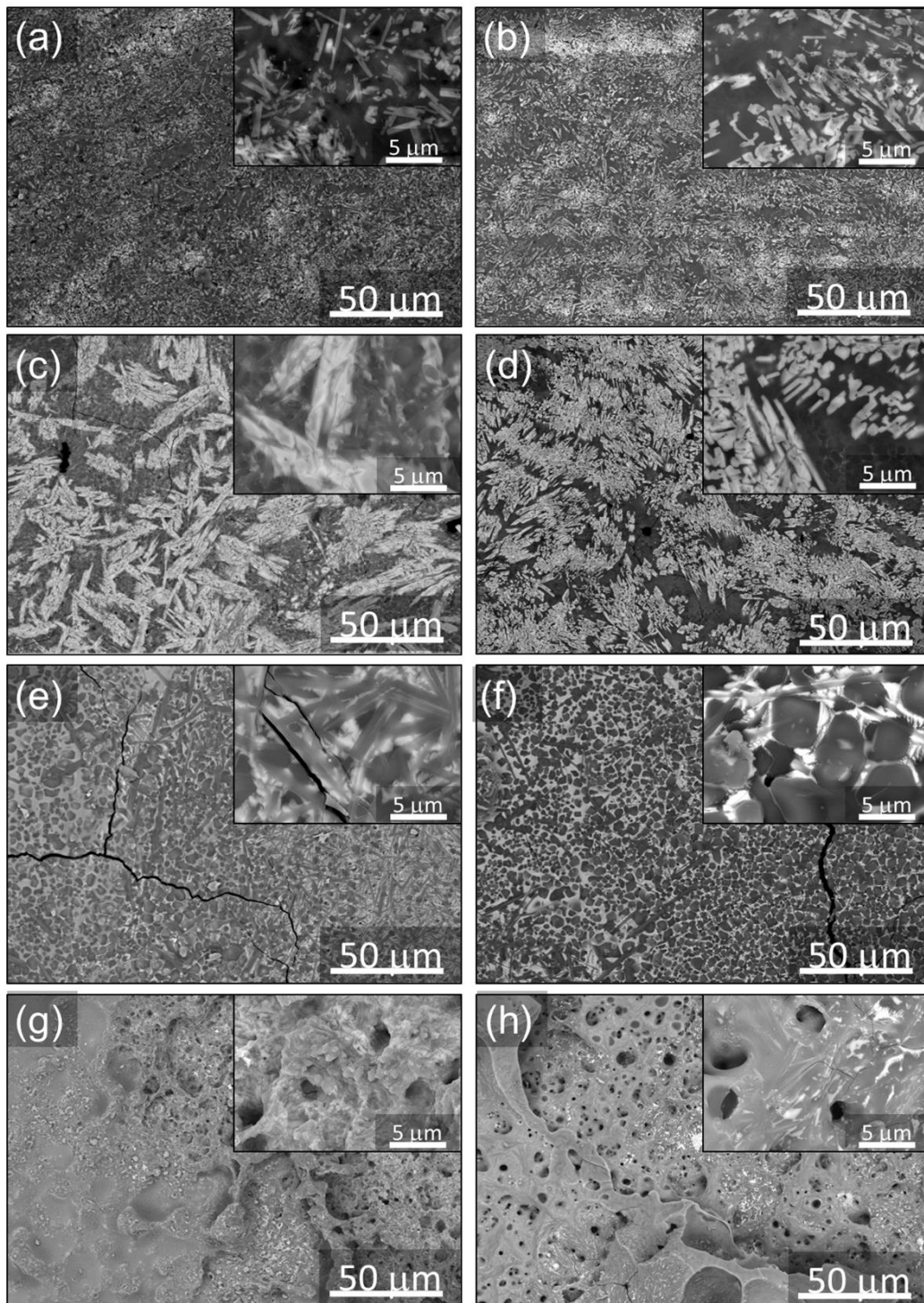


Figure 3. The surface BE-SEM images of Y-S and Er-S samples oxidized at (a) and (b) 1250°C, (c) and (d) 1350°C, (e) and (f) 1450°C and (g) and (h) 1550°C, respectively.

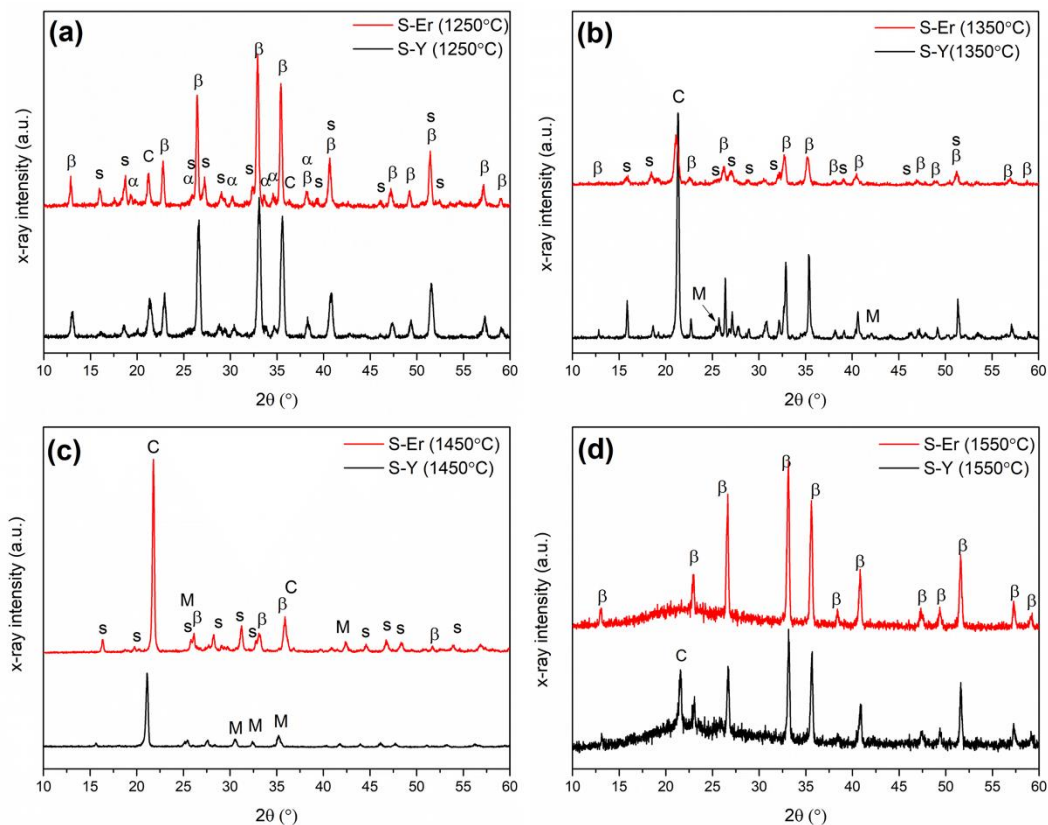


Figure 4. The XRD spectrum of surfaces of Y-S and Er-S samples oxidized at (a) 1250°C, (b) 1350°C, (c) 1450°C and (d) 1550°C

At above 1400°C, significant dissolution of dendritic silicate crystals into the melt due to a possible eutectic reaction at ~1400 was observed in accordance with Corapcioglu and Kurama [9]. It was clear that the oxidation rate of Y-S and Er-S samples increased above 1450°C due to increase in diffusion rates of Y and Er RE elements in SiO₂ based melt in comparison to that of in silicate crystals, and therefore, weight loss rather than weight gain was started to be observed. The melt showed high tendency to crystallize as cristobalite and mullite during cooling from oxidation temperature as seen in Fig. 4. Besides, it was obvious in micrographs and XRD patterns given in Fig 3 and Fig 4, respectively that a considerable silicate phase nucleation around the cristobalite and mullite grains occurred for Er-S composition in contrast to Y-doped sample in which the silicate nucleation was quite limited. When the oxidation temperature was 1550°C, some vapor products resulted by severe oxidation reactions were started to escape from the surfaces of the samples. Therefore, a porous morphology was obtained as illustrated in micrographs given in Fig. 3 (g) and (h). The XRD analysis given in Fig. 4 (d) also confirmed severe evaporation of the oxidation products from the surface due to significant increase in the peak intensities of SiAlON phases which were almost invisible at previous oxidation temperature (1450°C). While the oxide scale remained on the surface was totally amorphous for Er-S sample since no peaks were observed except β-SiAlON, a partial cristobalite crystallization was also detected for Y-S.

3.2.3. Cross-section analysis

The inward and outward diffusion of atoms takes place at high temperatures along the cross-section of the samples during oxidation process. In Figure 5, the cross-section SEM images of Y-S and Er-S samples which were oxidized at 1350°C, were given. It was seen that three distinguished regions were formed as the result of diffusion processes. The first region far from the surface is the main material which was not affected by the oxidation-based reactions. In the second region, a microstructure free of GBP due to partial/total diffusion of Al, Si, N, RE atoms in GBP towards to the surface of the samples was observed. While a complete diffusion of GBP which left a highly porous structure was seen for Y-S composition, higher density region due to partial diffusion of the GBP was occurred in case of Er-S sample. It was assumed that the diffusion rate of the elements directly dependent on the crystallization of the phases at the grain boundaries [9]. Consequently, slightly higher stability for Er-S composition was expected compared to Y-S due to its remarkable crystallization of GBP (Table 1). Besides the diffusion of the elements towards to surface which was derived by the chemical potential, the diffusion of oxygen in atmosphere from surface to inner regions and of nitrogen in SiAlON from inner parts to surface were also took place [8-10]. During oxidation process, a silicate melt, in which SiAlON grains rich in oxygen dissolved, was formed. When the concentration of RE elements in this silicate melt became

supersaturated, $(RE)_2Si_2O_7$ crystals started to nucleate in the oxide scale on the surface of the samples. Then, the concentration of RE elements in remained silicate phase became much lower and cristobalite and mullite

crystallization occurred from this silicate melt. The bubbles on the third layer (oxide layer) was created by the N_2 evaporation from this low viscosity oxide layer.

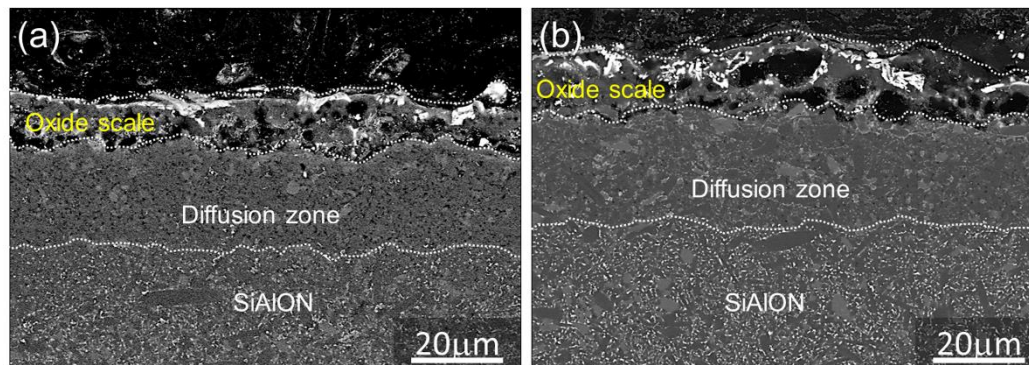


Figure 5. The cross-section micrographs of (a) Y-S and (b) Er-S ceramics oxidized at 1350°C.

4. CONCLUSIONS

The relative oxidation behavior of α/β -SiAlON ceramics prepared by Er_2O_3 and Y_2O_3 was investigated and the following results were obtained:

- 1) While the α/β -SiAlON ceramics doped with Y_2O_3 ve Er_2O_3 had similar microstructural properties, the crystallization of GBP in Er-S composition was found remarkably higher. However, the difference in GBP crystallization was not observed as highly effective parameter on oxidation resistance of these two samples. Only a small microstructural difference on diffusion zone was detected between these two compositions.
- 2) After oxidation tests performed at 1250-1550°C, a similar weight change was observed for both Y and Er-doped SiAlONs. The maximum oxidation temperatures for Y-S and Er-S compositions were pointed out as 1385 and 1380°C, respectively.
- 3) At 1250°C, the formation of silicate crystals as well as cristobalite phase were detected on the surface of the samples. The growth of these crystals with increasing temperature was also recorded. At 1450°C the silicate crystals were started to be dissolved in oxide melt, and a weight loss rather than weight gain were measured due to evaporation of gaseous products from the system.
- 4) During oxidation process, three distinct regions were observed at the cross-section of the samples. A porous structure was resulted in case of Y-S composition due to complete diffusion of GBP towards to the surface of the sample. The difference in structure of this zone was believed due to different crystallinity of the GBPs in as-sintered samples.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author thanks to the Head of Materials Science and Engineering Department, Eskisehir Technical University for facilitating characterization experiments and MDA Co Inc. for kindly providing raw powders.

REFERENCES


- [1] D. Hardie and K. H. Jack, "Crystal structures of silicon nitride," *Nature*, vol. 180, no. 4581, pp. 332–333, 1957.
- [2] I. W. Chen and A. Rosenflanz, "A tough SiAlON ceramic based on α - Si_3N_4 with a whisker-like microstructure," *Nature*, vol. 389 (6652), pp. 701–704, 1997.
- [3] T. Ekström and M. Nygren, "SiAlON ceramics," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 75, no. 2, pp. 259–276, 1992.
- [4] N. C. Acikbas, H. Yurdakul, H. Mandal, F. Kara, S. Turan, A. Kara, and B. Bitterlich, "Effect of sintering conditions and heat treatment on the properties, microstructure and machining performance of α - β -SiAlON ceramics," *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 32, no. 7, 1321–1327, 2012.
- [5] A. Çelik, M. S. Alağaç, S. Turan, A. Kara, and F. Kara, "Wear Behavior of solid SiAlON milling tools during high speed milling of Inconel 718," *Wear*, vol. 378, pp. 58-67, 2017.
- [6] M. H. Lewis and P. Barnard, "Oxidation mechanisms in SiAlON ceramics," *J. Mater. Sci.*, vol. 15, no. 2, 443-448, 1980.
- [7] M. J. Pomeroy and S. Hampshire, "Oxidation processes in a high substitution β '-sialon," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 13, no. 5, 437-448, 1985.
- [8] J. Yu, H. Du, R. Shuba and I. W. Chen, "Dopant-dependent oxidation behavior of α -SiAlON ceramics," *J. Mater. Sci.*, vol. 39, no. 15, pp. 4855-4860, 2004.


- [9] G. Corapcioglu and S. Kurama, "Oxidation behaviour and kinetics of α -SiAlON ceramics," *Mater. High Temp.*, vol. 26, no. 2, pp. 145-151, 2009.
- [10] L. O. Nordberg, M. Nygren, P. O. Käll and Z. Shen, "Stability and oxidation properties of RE- α -Sialon ceramics (RE= Y, Nd, Sm, Yb)," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 81, no. 6, 1461-1470, 1998.
- [11] M. Zenotchkine, R. Shuba, J. S. Kim and I. W. Chen, "R-curve behavior of in-situ toughened α -SiAlON ceramics," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 84, no. 4, 884-886, 2001.
- [12] E. Y. Sun, P. F. Becher, K. P. Plucknett, C. H. Hsueh, K. B. Alexander, S. B. Waters and M. E. Brito, "Microstructural design of silicon nitride with improved fracture toughness: II, effects of yttria and alumina additives," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 81, no. 11, 2831-2840, 1998.
- [13] J. Kim, A. Rosenflanz and I. W. Chen, "Microstructure control of in-situ-toughened α -SiAlON Ceramics," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 83, no. 7, 1819-1821, 2000.
- [14] X. T. Wang, Y. J. Zhang, X. Ling, P. Xiao, L. Lin., Q. Chen, J. Wang, S.W. Jia, W. M. Zhu, X. C. Zhu, F. Y. Ji, "Testing of the oxidation resistance of MgAlON materials with non-isothermal oxidation method," in *Proceedings of International Conference on Materials Science and Engineering Application (ICMSEA)*, April 21-23, Nanjing, China, 2017.
- [15] X. T. Wang, Y. Zhang, P. Xiao, B. Wang, L. Xu, L. Lin and J. Huang, "Characterization of the oxidation resistance property of SiAlON materials with the standard method of GB/T 32329-2015", in *Proceedings of 6th International Conference on Mechatronics, Materials, Biotechnology and Environment (ICMMBE 2016)*, August 13-14, Yinchuan, China, 2016.
- [16] W. D. Kingery, H. K. Bowen and D. R. Uhlmann, *Introduction to Ceramics*, Wiley, New York, 634-643, 1975
- [17] P. F. Becher, S. B. Waters, C. G. Westmoreland and L. Riester, "Compositional effects on the properties of Si-Al-RE-based oxynitride glasses (RE= La, Nd, Gd, Y, or Lu)," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 85, no. 4, 897-902, 2002.
- [18] S. Hampshire and M. J. Pomeroy, "Grain boundary glasses in silicon nitride: a review of chemistry, properties and crystallization," *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 32, no. 9, 1925-1932, 2012.

Fiziksel Performans Etkisinde Mental Aktivitenin Elektrofizyolojik Bulgularının Değerlendirilmesi

*¹Dilek Göksel Duru, ¹Elif Işıkcı Koca

¹Yazar İstanbul Arel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İstanbul/Türkiye,

*dilekgokseldu@arel.edu.tr, 

elifisikci@arel.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 01.02.2019

Kabul Tarihi: 29.05.2019

Öz

Bu çalışmada, zihinsel işyükü paradigmasının yorgunluk ile ilintisine yönelik elektrofizyolojik ölçüm sonuçları iki farklı grup üzerinden incelenmiştir. Ayrık grup olarak, sporcular ve sedanterler ele alınmış olup, bu grupların beyin dinlenim durumu bulguları ile mental performans esnasındaki gerçek zamanlı elektrofizyolojik ölçümleri karşılaştırılmış ve bu bulgulardaki değişimler incelenmiştir. Mental aritmetik işlem ile zihinsel işyükü yaratılarak, kontrollü bir fiziksel performans öncesinde ve sonrasında VO₂max değeri ve eşzamanlı EEG, PPG, EDA ve EKG ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Farklı gruplara ait dinlenim durumu mental performansları ve fiziksel aktivite sonrasında oluşan mental işyükü arasındaki kalp atım hızı değişkenliği, oksijen tüketimi miktarı tartışılmıştır. Bulgularda, zihinsel işyükü süresince ölçümlenen EEG’de alfa frekansında baskılanma ile elektriksel deri direncinde artış görülmüştür. Ölçümlenen kalp atım hızı verileri parametrik olmayan istatistik test ile incelenmiş ve 0.15–0.4 Hz arası aralığındaki dinlenim durumu için istatistiksel anlamlı bulgular elde edilmiştir (p<0.05). Sonuç olarak, zihinsel aritmetik işyükünün kontrollü yorgunluk sağlanmış ölçümlerde, elektriksel beyin aktivitesinde alfa tutulumuna yol açtığı gözlemlenmiş ve ayrıca alfa değişiminin sporcu grup içinde daha az olduğu saptanmıştır. PPG sinyalleri değerlendirildiğinde, sporculardaki değişimin daha az olduğu, ayrıca sporcu gönüllülere ait PPG sinyallerindeki değişimin varyasyon sergileyebileceği gözlemlenmiştir. Raporlanan öncül bulgular doğrultusunda, fiziksel yorgunluk şartlarında incelenen iki grup için, sporcuların odaklanmalarının daha başarılı olduğu ve zihinsel işyükünden daha az etkilendikleri öngörülebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Alfa Baskılanması, Aerobik Kapasite, Mental İşyükü, Nöral Yetkinlik

Assessment of Electrophysiological Findings during Mental Workload in the Effect of Physical Performance

*¹Dilek Göksel Duru, ¹Elif Işıkcı Koca

¹Istanbul Arel University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Biomedical Engineering, Istanbul/Turkey,

*dilekgokseldu@arel.edu.tr

Abstract

The present study examines the findings of electrophysiological measurements of two groups related to the correlation of the mental workload paradigm to tiredness. Athletes and non-athletes (sedentary) are investigated as discrete groups. The aim here is to investigate the findings of the resting state brain network and the electrophysiologic measurements during mental performance of these groups and the changes and variations related to these findings. Mental workload is achieved via mental arithmetic backward counting, while aerobic capacity VO₂max, EEG, PPG, EDA and ECG are being measured simultaneously, before and after physical performance. The study also discusses the oxygen consumption rate and the heart rate variability (HRV) between the resting state mental performance and the mental workload occurred after physical activity of varying groups. Thus, findings on the investigation of the effects of physical tiredness on the mental workload of the subjects from two different groups, can be summarized as follows: Increase in the alpha suppression and electrodermal activity during mental work performance has been detected. The heart rate variability data has been investigated with nonparametric statistical test. Statistical test results of

*¹Sorumlu Yazar: İstanbul Arel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, dilekgokseldu@arel.edu.tr, +0850 850 2735/1300

Doi: 10.21541/apjes.520952

resting state for eye closed paradigm for frequency range of 0.15–0.4 Hz are determined as statistically significant ($p < 0.05$). Alpha frequency suppression is detected as a result for brain electrical activity analysis which are in agreement with literature. The EEG alpha activity detected while mental performance reflects more suppression than the eyes closed resting state alpha activity. To conclude, EEG alpha suppression is caused by mental arithmetic workload in volunteers with controlled physical performance, and the alpha suppression within sportsmen group is less, where the suppression of alpha activity obtained in sportsmen EEG is more explicit than in sedentary. Assessing the PPG signals results less variation in sportsmen. Results specify that PPG signals of sportsmen group represent less variances than PPG data of sedentary group. Also another finding specifies, that PPG signals within group may vary like in sportsmen group. According to these preliminary results, it can be predicted that the athlete group is less affected by mental workload despite being more focused and physically tired.

Keywords: Aerobic capacity, Mental workload, Neural efficiency, Alpha suppression

1. GİRİŞ

Zihinsel işyükü (mental efor), bir görev gerçekleştirirken bireylerin performansı üzerinde doğrudan etkisi olması nedeni ile önemlidir [1]. Zihinsel işyükü, mental harcanan enerji olarak düşünülebileceği gibi, hafıza eforu, karar verme veya uyanıklık (alertness) durumu olarak düşünülebilen, bireyin eforunu, farkındalığını ve ilgi seviyesini sergileyen bir göstergedir. Karar verme mekanizmasının yanı sıra zihinsel işyükü paradigması ile bireylerin bir operasyon esnasında mental durumlarının değerlendirilmesi ve yeteneklerinin (iletişim becerisi, yöntemlerin uygulanma şekli gibi) iyileştirilmesi mümkün olabilecektir.

Dikkate ayrılan kaynakların zaman içinde verimli bir şekilde kullanılması karar verme mekanizması ve performans (başarı kriteri) açısından oldukça önem taşımaktadır. Zihinsel faaliyet gerektiren görevlerde kişilerin performansları farklılık göstermekte ve karar verme mekanizmasını etkilemektedir. Nöral yetkinlik (neural efficacy) hipotezinde, bir konuda uzmanlık derecesine ulaşmış kişilerin, sedanter kontrollerle karşılaştırıldığında bilişsel testlerde daha düşük beyin aktivitesi gösterdikleri belirtilmektedir [2,3]. Burada kastedilen görece düşük beyin aktivitesinin daha yeterli ve yetkin anlamında olduğudur. Az enerji ve düşük beyin aktivitesi ile aynı bilişsel işlevin yerine getirilmesi kastedilmektedir. Dolayısıyla konusunda eğitilmiş bireylerin öğrenme ile beyin aktivitelerini efektif kullandığı ve profesyoneller ile amatörler arasında karar verme mekanizmasının farklılığı söylenebilmektedir [4].

EEG literatüründe mental işyükü değerlendirmesi için sıklıkla beyin elektriksel aktivitelerinin alfa (8-13 Hz) ve teta (4-8 Hz) frekans bantları, özellikle Pre-Frontal Cortex (PFC) ve Posterior Parietal Cortex (PPC), incelenmiştir [5,6]. Özellikle PFC üzerinde görülmekte olan teta bandı, mental işyükü arttığı durumlarda artarak pozitif korelasyon sergilemektedir [7,8]. Alfa bandı, özellikle PPC üzerinde gözlenmekte ve ters korelasyon sergilemektedir [9,10,11,12,13]. Sadece birkaç çalışma, diğer EEG bantları olan delta, beta ve gamma bandını raporlamıştır. Onton ve diğ. (2005) [14], frontal orta teta bandının hafıza yüklenmesi ile arttığını belirtirken literatürdeki önceki sonuçlarla örtüşür biçimde, frontal teta EEG aktivitesinin ve mental işyükü ile

korelasyonunu onaylayan bulgular raporlamıştır [8, 11]. Zihinsel işyükünün aynı zamanda EEG alfa bandını baskıladığı ve teta bandını arttırdığı bilinmektedir [15-19]. Çoklu görev performansına dayalı bir başka çalışmada, öğrenme ile görev talebi arasındaki etkileşim psikofizyolojik reaksiyon açısından, EEG, kardiyak aktivite ve solunum sayısı kullanılarak incelenmiştir [20]. Görev talebine yanıtın parasempatik inhibisyonunda azalma ve göz kırpması süresinde azalma ile karakterize olduğunu göstermişlerdir. Böylece, vagal tonun azaldığı ve kalp atım hızının (heart rate, HR) arttığı belirtilmiştir. Bu fizyolojik yanıt ile çoklu görev için gerekli odaklı konsantrasyonun karşılandığı öngörülmüştür. Bir başka deneysel çalışmada, 10 pilotun 90 dakikalık uçuş yapmaları istenen bir senaryo düzenlenerek işyükünün psikofizyolojik dayanağı incelenmiştir [21]. Kalp ritmi ölçümleri, elektrodermal ve elektriksel beyin aktiviteleri ölçümleri yapılmış ve uçuş ihtiyaçlarına göre değişimler sergiledikleri ve yüksek korelasyon gösterdikleri raporlanmıştır [21].

Kalp atım hızı (Heart Rate, HR) bilgisi, pek çok zihinsel işyükü çalışmalarında güvenilir bir ölçüt ve işyükü ile doğrudan ilintili olarak sunulmuştur [22-27]. Çalışmamızda gözlemlenen parametrelerden biri olan kalp atım hızı değişkenliği (HRV) otonom sinir sistemi ile etkileşimde olduğu için duygusal değişime bağlı olarak meydana gelen tepkilerin elektrofizyolojik ölçümlerinde rahatlıkla değerlendirilebilmektedir. HRV akut strese de duyarlıdır ve zihinsel baskılama yapıldığı zaman azaldığı gözlenmektedir. Bu şekilde, frekans analizleri sonucunda kalp atım hızı değişkenliği üzerinde sempatik ve parasempatik sinir sisteminin etkisi incelenebilmektedir. Frekans aralıkları yüksek, düşük ve çok düşük olmak üzere, 0.15-0.4 Hz arası ise yüksek frekans, 0.04 Hz değerinin aşağısı çok düşük frekans ve 0.04-0.15 Hz arası düşük frekans olarak tanımlanmaktadır [28]. Fonksiyonel MR görüntülemesi metodu ile yürütülen çalışmalar, yine mental aktivite ile beyin ağlarının dinlenme durumu ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, dinlenme durumu beyin ağlarının Precuneus-Posterior Cingulate korteks bölgelerinin deaktivasyonu ve Anterior Cingulate korteks bölgesinin aktivasyonunun elektrodermal aktivite (deri direnci seviyesi, EDA) ile anlamlı seviyede ilintili bulunduğu raporlanmıştır [29].

Alfa baskılanması ve nöral yetkinlik hipotezinin strese ve zihinsel yüklenmeye bağlı olma durumu esas alınarak, çalışmamızda deneklerde fiziksel yorgunluk oluşturulmaya çalışılarak, stres yaratılması hedeflenmiştir. Strese bağlı olarak sempatik sinir sistemi aktifleşmekte ve bu durum periferde ekrin ter bezlerini uyarmaktadır. Oluşan bu uyarının ölçülmesi ise EDA yanıtını ifade etmektedir. Stresin ve yorgunluğun olduğu durumlarda beyin elektriksel aktivitesinde senkronizasyon bozukluğu oluşmakta ve bu durumda beta frekansının baskın olduğu bilinmektedir. Stresin etkin olmadığı durumlarda nöral yetkinlik hipotezine uygun biçimde EEG üzerinde alfa frekansı baskın olduğu bilinmektedir [16,19].

Beynin, merkezi sinir sistemi ve otonom sinir sistemi yanıtları stres altında farklılıklar sergilemektedir. Çalışmamızda, dinlenme durumu ve mental performans esnasında beklenen bu farklılıkların, eğitilmiş/deneyimli ve eğitimsiz/deneyimsiz fizyoloji (sporcu ve sedanter) olmak üzere bağımsız iki gönüllü ölçüm grubu üzerinden analizi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Zihinsel aritmetik görevi ile yaratılan zihinsel işyükü esnasında elektrofizyolojik ölçümler yapılmış aynı zamanda fizyolojik aktivite ile kontrollü yorgunluk ile stres yaratılarak, fiziksel performansın etkisi altındaki ölçümler ile dinlenme durumu ölçümleri karşılaştırmalı incelenmiştir. Oluşturulan deney paradigması ile farklı nitelikteki sporcu grupları üzerinde, aynı zamanda mental işyükü performansı sergilendiği durumda elektrofizyolojik değişimlerin gözlenmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda, görev talebini karşılama başarıları ve karar verme mekanizmalarının (görevin başarıyla yürütülmesi) durumları raporlanmış ve bulguları ile değerlendirilmiştir. Dinlenme durumunda ve fiziksel aktivite sonrasında mental işyüküne bağlı olarak EEG alfa bandı, kalp atış hızı, fotopleitismografi (PPG) ve EDA ölçümlerinde oluşan değişkenlikler incelenmiştir. Dinlenme durumunda ve zihinsel aritmetik ile uyarılan beyin elektriksel aktivitesi devinimlerinde, uyanıklık (arousal) durumu alfa frekansı gücü ile tanımlanmış ve incelenmiş, otonom sinir sistemi göstergesi olarak HRV ölçülmüştür. Çalışmanın bir diğer amacı, eğitilmiş (elit) anatomi ve fizyolojilerde oksijenlenme ile ilintili biçimde, performans ardından elektrofizyolojik yanıtların elit olmayan normal gruba göre ayrışma veya benzerliğinin nicel olarak irdelenmesi olmuştur.

2. YÖNTEM

2.1. Oksijen Tüketiminin Belirlenmesi

Çalışmamıza gönüllü olarak katılan bireylerde, kontrollü fiziksel yorgunluk oluşturulabilmesi için, aerobik kapasitenin ölçülmesinde literatürde standart olan ve en yaygın olarak kullanılan, doğrudan olmayan ölçüm saha testlerinden mekik koşu (shuttle run) testi tercih edilmiştir [30]. Mekik koşusu testi, istatistiksel anlamlılık için seçilmektedir, ayrıca kolay uygulanabilirliği ve kontrol edilebilirliği açısından oldukça fazla kullanılmaktadır [31]. 20. Mekik testi, bip testi (beep test), çok seviyeli fitness testi

(Multi Stage Fitness Test) olarak da anılan testte, bireyin oksijen tüketiminin maksimum değeri (VO₂max) dolaylı olarak saptanmaktadır. Görev, metronom yardımıyla belirlenen sürelerde, 20 m. uzunluğundaki koşu aralığını koşmaktır. Koşu süresi ve belirli değerler bir akıllı telefon uygulaması (BH Test) ile takip edilmektedir (Şekil 1). İlk turda, 20m.lik parkuru betimleyen iki sinyal arası 9 sn iken, ilerleyen evrelerde 3.892 sn'e kadar inerek uygulayıcının hızlanmasını sağlamaktadır. Bu ölçüt ile başlangıçta denek hızı 8.5 km/saat iken, kademeli olarak dakika başına 0.5 km/saat artırılmaktadır. Mekik koşu testi sırasında, iki sefer zaman uyarısını kaçıran/geciktiren deneklerden testi sonlandırması istenir. Katılımcılar, parkurun tamamlanması için verilen sürenin uygulama tarafından belirlendiği şekilde kısalmasıyla hızlanarak koşmaktadırlar, maksimum fiziksel yorgunluğa ulaştıkları zaman ise koşu sonlandırılmaktadır. Toplam koşu bilgisi, literatürde belirlenmiş tablolara dayanarak [30,31], program ile otomatik hesaplanmakta ve kişinin en yüksek VO₂ değeri yaklaşık olarak belirlenmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Elit sporculara ait örnek mekik testi arayüzü

2.2. Elektrofizyolojik Verilerin Toplanması

Çalışmada, ölçüm gruplarından öncül dinlenme durumu alınarak, fiziksel aktivite sonrasında oluşan elektrofizyolojik değişimlerin (kalp atım hızı, EDA yanıtı, PPG ve EEG alfa bandı değişimi) mental aktivite ile olan bağlantısının incelenmesi amaçlanmıştır.

Dinlenme durumu ölçümleri, pilot araştırmalarımızın devam çalışması olarak tamamı göz kapalı süreçte üç faza ayrılarak gerçekleştirilmiştir. Göz kapalı (GK) ve mental aktivite (MA) olmak üzere 90 saniyelik birinci faz olan göz kapalı dinlenme durumu (GK1), ikinci faz olarak 3 dakika boyunca yine göz kapalı durumdayken verilen dört basamaklı sayıdan yedişer geri sayma görevi ile MA fazı, son faz olarak da zihinsel işlem sonlandırılarak GK dinlenme periyodu (GK2) 90 saniye için uygulanmıştır. Dinlenme durumu ardından gönüllü katılımcıların kontrollü yorgunluk amaçlı 20m. mekik koşu testi ile maksimum oksijenlenme miktarlarının %80' i tespit edilerek, her bir katılımcının kendi ölçütlerinde eşit oranda yorulması sağlanmıştır. Bir başka deyişle, her katılımcı kendine ait bireysel performansın %80 değerine ulaştığında 20m. mekik koşu testi sonlandırılmıştır (Şekil 1).

Deneklere üç dakika dinlenme süresi verilmesinin ardından dinlenme durumunda uygulanan elektrofizyolojik ölçümleme prosedürü aynı şekilde tekrar uygulanmıştır (Şekil 2). Böylelikle fiziksel yorgunluğun mental aktiviteyle bağlantılı olarak EEG, kalp atım hızı, EDA ve PPG'de yol açtığı değişimlerin gözlemlenmesi sağlanmıştır.

Elektrofizyolojik ölçümler BIOPAC MP36 cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Sözkonusu ölçümler, elektrokardiyogram (EKG), PPG, elektrodermal aktivite (EDA) ve EEG'den oluşmaktadır ve örnekleme frekansı 2kHz olarak uygulanmıştır. EEG kaydı literatüre uygun şekilde Ag/AgCl elektrotu ile alınmıştır [6,32,33]. EKG, EDA ve EEG ölçümleri için kullanılan bant geçiren süzgeçler sırasıyla 0,01 - 35 Hz, 0 - 35 Hz ve 0,5 - 35 Hz'tir. PPG frekans bant genişliği ise 0,5-4.0 Hz'tir.



Şekil 2. Elit sporcu, örnek ölçüm.

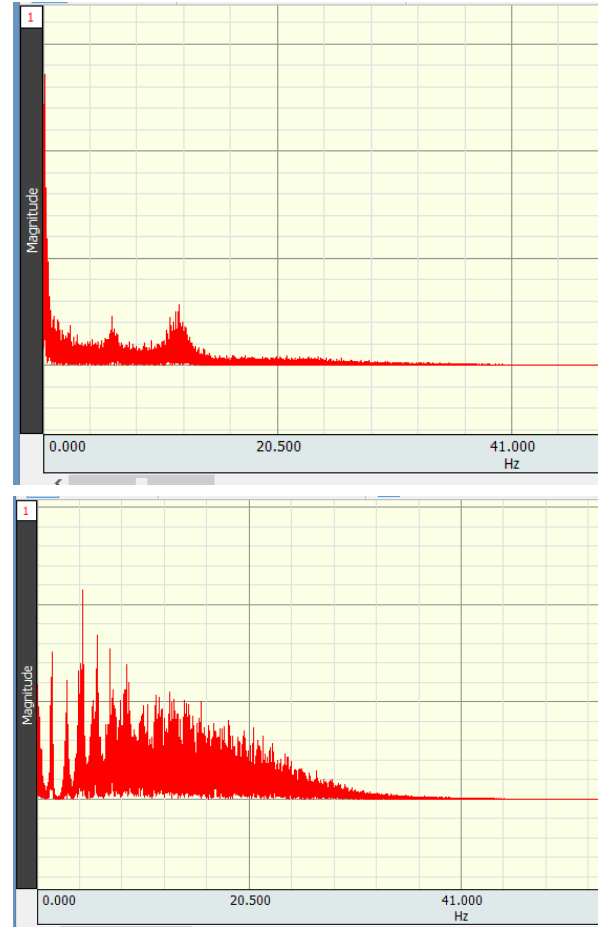
2.3. Elektrofizyolojik Verilerin İşlenmesi

Süreğiden EEG verisi durağan olarak kabul edilen birer saniyelik uzunlukla dilimlenmiştir. Dilimlenen zaman serilerinin ayrı ayrı güç izgeleri (1) MATLAB ortamında hesaplanmıştır. İlâveten frekans çıktıları ortalanmıştır. 2 numaralı denklem kullanılarak beyin elektriksel aktivitesi alfa bandı gücü (8-13 Hz), tüm frekans gücü $F_n(p)$ üzerinden normalize edilmiştir.

$$F(x) = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} x_k e^{-2\pi jk/N}, \quad x = 0, \dots, 35. \quad (1)$$

$$F_n(\alpha) = \frac{F(\alpha)}{F(p)}, \quad \alpha = 8, \dots, 12. \quad (2)$$

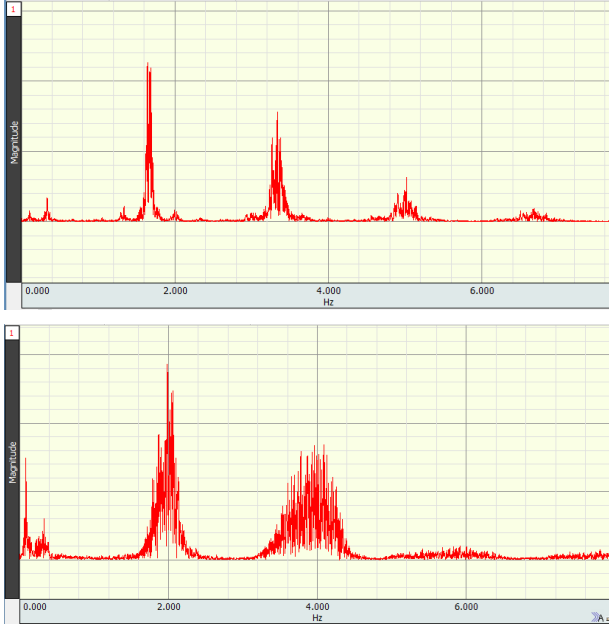
Gerçekleştirilen ölçümlerde, PPG örnekleme hızı 1kHz'tir. Tüm ölçüm gruplarındaki deneklerin verilerinde, dinlenme durumunda kaydedilen PPG sinyalleri ile, fiziksel aktivite sonrası alınan PPG sinyalleri genlik ve frekans farkı açısından niceliksel olarak grup içi ve gruplararası karşılaştırılmıştır. Araştırmamızda, fiziksel yorgunluk koşulu ön plana alınmış olup, mekik koşu testi ile sağlanan bu kontrollü yorgunluk ardından kayıtlanan PPG sinyalleri incelenmiş ve FFT genlik değişimleri analiz edilmiştir. Sporcular ile sedanter (normal) gruptaki gönüllülerin ölçüm değerleri FFT değişimleri üzerinden ve frekans farklılığı üzerinden incelenmiştir. Doğası gereği gürültülü olan PPG sinyalleri (Şekil 4), bu gürültüden temizlenerek analiz edilmiştir (Şekil 5), bu şekilde kontrollü yorgunluğa karşı tepki yanıtları daha iyi anlaşılacaktır.



Şekil 4. PPG sinyallerinin FFT analizi: Üstte sporcu ve altta sedanter grupların test ardından kayıtlanan PPG sinyallerinin (mV) FFT analizi görülmektedir.



Şekil 3. PPG sinyali örneği (yatay eksen saniye biriminden zamanı temsil etmektedir, dikey eksen ise mV cinsinden genliği göstermektedir).



Şekil 5. Güç izgesi: Üstte sporcu, altta sedanter grup olmak üzere test ardından ölçümlenen PPG sinyallerinin frekans spektrumu görülmektedir.

PPG ölçümü ile kişinin durumuna dair bilgi sağlanabilmektedir. Bunun nedeni, PPG sinyalinin solunum veya hareket gibi bireyin sergilediği performanstan, çevresel faktörlerden etkilenmesidir.

PPG verisinden elde edilebilen değerler arasında, solunum frekansının 0.04 Hz ile 1.6 Hz arasında değiştiği, kişi bazlı hareket artefaktlarının frekans aralığının 0.1 Hz olması gibi ayrımlar ve periferik oksijen doyumu (SpO₂), anestezi durumu, nabız gibi bilgiler yer almaktadır [34, 35, 36]. Gürültü ayrıştırması amacıyla PPG sinyallerine *FIR sonlu darbe yanıtı* alçak geçiren (Finite Impulse Response) filtreleme (3) uygulanmıştır (Şekil 5).

$$y_k = \sum_{m=0}^{M-1} h_m x_{k-m} \quad (3)$$

FIR alçak geçiren filtre evrişim teoremi temellidir (1) ve tepki yanıtı giriş sinyalinin katlarının toplanması ile ortaya çıkmaktadır. Burada h_m katsayısı filtrenin karakteristiğini yansıtır ve filtrenin frekans özelliklerinin ters Fourier dönüşümü şeklinde saptanmaktadır [37]. Teoride M , sonsuz değerde atanmış olup, h_m pozitif ve negatif indis değerleri olarak öngörülmektedir. Filtrenin tepki yanıtı, ölçümlenen x için k zamanında, geçmiş ($x_{k-1}, x_{k-2}, \dots, x_{k-m}$) ve gelecek ($x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_{k+m}$) zaman şeklinde bulunmaktadır [37]. Çalışmamızda, verilen tepki sinyaline sonlu yanıt alınabileceğinden ötürü, incelenen grupların ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde FIR alçak geçiren filtre ile çalışılmıştır.

2.4. İstatistiksel Analiz

Onaltı kişinin iki farklı oturumda, EEG, EKG, EDA ve PPG ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her oturumda, mental işyükü

ve dinlenme durumuna dair alınan ölçümlerin farkı alınarak iki grup arasında non-parametrik Mann Whitney U testi kullanılarak karşılaştırılmıştır. EEG sinyalinin alfa bandı baskılanması (delta, Δ), EKG'nin farklı frekanslarına (yüksek, düşük ve çok düşük olmak üzere, 0.15 – 0.4 Hz arası ise yüksek frekans, 0.04 – 0.15 Hz arası düşük frekans ve 0.04 Hz değerinin aşağısı çok düşük frekans olarak) tekabül eden güçlerinin dinlenme ve mental işyükü arasındaki farkları, EDA sinyalinin tonik ve fazik bileşenlerinin dinlenme ve mental işyükü arasındaki farkları ve PPG nin dinlenme ve mental işyükü arasındaki genlik farkı istatistiksel karşılaştırmaya ayrı ayrı konu edilmiştir. İstatistiksel anlamlılık seviyesi 0.05 olarak kabul edilmiştir.

2.5. Katılımcılar ve Etik Beyan

Nöral yetkinlik hipotezinin incelenmesi amacıyla sporcular ve sedanter katılımcılar gönüllü olarak çalışmamıza katkı sağlamışlardır. Ulusal ve uluslararası başarıları olan milli sporcular ve amatör ligde sportif faaliyet yürüten katılımcılar sporcu grubu ve hiçbir sportif faaliyette bulunmayan gönüllüler sedanter grubu oluşturmuştur.

Araştırmaya katkıda bulunan gönüllü grup, eğitim seviyeleri eşdüzey, yaş ve cinsiyet açısından da eş kriterler barındıran (20-30 yaş, erkek), herhangi bir nörolojik rahatsızlık geçirmiş bulunmayan ve ilaç kullanmayan 16 kişiden oluşmaktadır.

Bu çalışma İstanbul Arel Üniversitesi Etik Kurulu 2016/06 numaralı ve 23.12.2016 tarihli onayı ile, ve Helsinki Deklarasyonu prensiplerine uygun şekilde yürütülmüştür.

3. BULGULAR

Mekik koşusu testi ile öncelikle deneklere ait maksimum fiziksel performans değerleri belirlenmiştir. Gönüllü sporculardan oluşan deneklere ait örnek değer tablosu Tablo 1'de belirtilmiştir.

EEG ölçümünden gelen zaman serilerinin birer saniyelik pencerelerde epoklanması ile güç izgesi elde edilmiş ve frekans çıktıları ortalanarak hesaplanmıştır. EEG'nin 8-13 Hz arasındaki alfa frekansı incelenerek gücü normalize edilmiş ve tüm frekans gücüne ulaşılmıştır.

Ortalama EEG frekans spektrumu Şekil 6'da görülebilmektedir. Bu spektrumda, mavi renk göz kapalı dinlenme durumunu, yeşil renk ise mental aritmetik faza ait ortalama EEG frekans dağılımını göstermektedir. Tüm gruplara ait dinlenme durumları sol sütunda, mental aritmetik paradigmasına ait tüm grupların frekans spektrumu ise sağ sütunda verilmiştir.

Şekil 6 ve Şekil 7'de gözlemlendiği üzere, literatürle örtüşür şekilde elit sporcularda diğer denek gruplarına göre EEG alfa baskılanması daha belirgin olduğu görülmektedir.

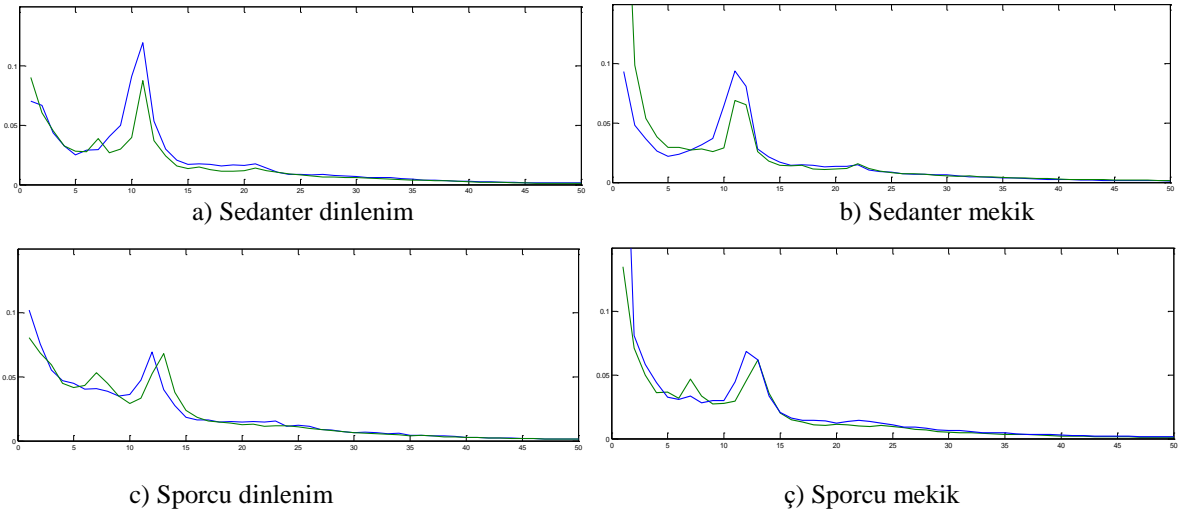
Tablo 1. Katılımcıların mekik koşusu performans değerleri

	Yaş	Maksimum değerler				Maksimum değerlerin %80 değerleri			
		VO2max	Stage	Mesafe (m)	Nabız	%80 VO2	Stage	Mesafe (m)	Nabız
Denek1	23	31.76	5	740	180	25.408	3	440	162
Denek2	20	36.76	7	1000	192	29.408	5	620	156
Denek3	22	46.20	9	1560	198	36.96	7	1000	174
Denek4	22	28.30	4	560	186	22.64	3	300	162
Denek5	21	31.01	5	700	162	24.81	3	420	132
Denek6	21	46.20	9	1560	180	36.96	7	1000	160
Denek7	23	44.29	9	1660	170	35.432	7	1020	160
Denek8	20	52.02	11	2120	162	41.616	8	1440	146
Denek9	20	54.29	12	2360	162	43.432	9	1660	150
Denek10	23	38.14	7	1060	198	30.512	5	1000	160
Denek11	20	38.48	7	1100	180	30.784	5	1020	164
Denek12	22	57.10	12	2600	130	45.68	10	2120	120
Denek13	24	58.80	13	2740	112	47.04	11	2240	110
Denek14	23	42.34	8	1340	192	33.872	6	860	178
Denek15	23	43.60	9	1680	190	34.88	6	920	162
Denek16	22	40.87	8	1240	192	34.40	6	880	170

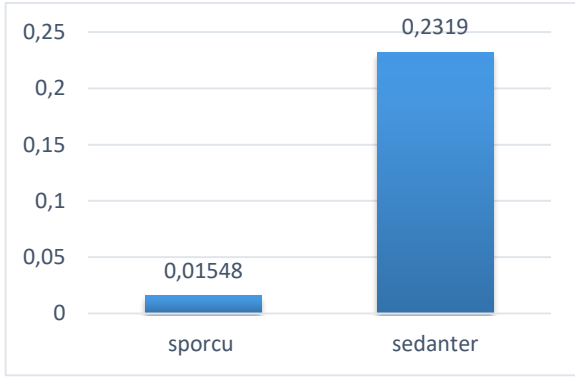
Alfa baskılanması, her grup adına, dinlenme durumunda ve fiziksel aktivite sonrası gerçekleştirilen zihinsel işyükü (mental aritmetik işlemi) esnasında elektrofizyolojik ölçümleme süresince, GK1, MA, GK2 fazlarında takip edilmiştir. MA akabinde hem sporcu hem sedanter grup verilerinde alfa düşüşü saptanmıştır. Değişim, her grup için kendi dinlenme durumu ve fiziksel yorgunluk sonrası ölçümlenen EEG verisindeki alfa bandı zaman pencereleri ve MA, GK2 geçiş süreci incelenerek saptanmıştır. Nicel olarak, tepe noktasının ani düşüş sergilediği (deney paradigmasında işyükü faz geçiş) kısımları saptanarak, varyasyonuna bakılmıştır (4).

$$\Delta_i = F_{n_{dinlenme}}(\alpha) - F_{n_{mekik}}(\alpha) \quad (4)$$

Delta, Δ , ile temsil edilen parametre, alfa baskılanmasını nicel olarak ifade eden, i 'nin sporcu ve normal (sedanter) grup olarak iki farklı durumu için, n 'nin EEG frekans spektrumunda dinlenme durumu tepe noktası ve mekik koşu sonrası ölçümde elde edilen tepe noktasının varyasyonu olarak hesaplanmıştır (4).



Şekil 6. Deneklerin dinlenme durumu ve fiziksel performans sonrası elektrofizyolojik ölçümleri: Ortalama EEG frekans spektrumu: (mekik testi öncesinde) a) Sedanter, c) Sporcu frekans spektrumunu, (mekik testi sonrası) b) Sedanter, ç) Sporcu frekans spektrumunu göstermektedir.



Şekil 7. Gruplararası EEG alfa baskılanması dağılımı

Katılımcı gruplarının EEG frekans spektrumları incelendiğinde, EEG alfa bandı baskılanması değişiminin en düşük değerine sporcu grubunda rastlanmış olup ($\Delta_s=0.01548$), sırasıyla sedanter ($\Delta_n=0.2319$) grupların EEG alfa baskılanma değişim değerleri daha belirgin olarak gözlenmiştir (Şekil 7). Bu bulgular nöral yetkinlik hipotezini desteklemektedir. Elit sporcuların performans dayalı fiziksel yorgunluk ve zihinsel işyükü aktivitesi sırasında, eğitilmiş fizyolojiye sahip olan grup olarak, duruma alışık oldukları ve fizyolojik olarak öğrenilmişlik sözkonusu olduğu için daha az beyin aktivitesi ile doğru karara ulaştıkları, atanmış görevi rahatlıkla yerine getirdikleri saptanmış ve bu bulguların elektrofizyolojik kanıtı elde edilmiştir. Kalp atım hızı değişkenliği, sedanter grup ve sporcu grup için hesaplanarak yüksek, düşük ve çok düşük frekansta spektral dağılımında tespit edildiği gibi, parametrik olmayan istatistik test uygulanarak elit sporcu kalp atım hızı değişkenliğinin 0.15–0.4 Hz arası etkin yüksek frekans GK dinlenme koşulu için istatistiksel anlamlı olduğunu gözlenmiştir ($p=0.04$). Burada grupların benzeşmesi başlangıç hipotezi farz edilmiş, alternatif hipotez olarak istatistiksel anlamlı farklılaşması kabulüne dayanılmıştır. Sporcular ile sedanterler karşılaştırıldığında, sporcu grupta EEG’de alfa baskılanmasının daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Zihinsel performans (MA) sırasında alfa aktivitesi diğer durumlardakinden (GK1 ve GK2) düşük saptanmıştır (Şekil 6). Bu durum, zihinsel aktivite esnasında alfa baskılanmasının göstergesidir (Şekil 7).

Deri iletkenliğine bakıldığında ise, EDA’nın zihinsel işyükü ve dinlenme durumları arasında tonik ve fazik bileşenlerde farklılaştığı, zihinsel efor sırasında tonik bileşenin ortalamasında artış olduğu gözlenmiştir. Yine analizler sonucunda, sporcu grup PPG yanıtlarının sedanter gruptaki gönüllülere oranla daha az ve kısa genlikli oldukları saptanmıştır (Şekil 4-5). Bunun dayanağı olarak, özel grup seçilen sporcu katılımcıların, sportif altyapıları daha güçlü ve yetkin olması öngörülmektedir. Karşılaştırmalı incelendiğinde, iki örnek arasındaki PPG’de, mekik seviyeleri yüksek olan sporcu katılımcıların nabız değerlerinin dakikada 110 ile 130 atım aralığında varyasyon gösterirken, karşılaştırmalı normal gruptaki deneklerin nabızları dakikada 180 ile 200 atım aralığında seyretmektedir. Kalp atım verileri göz önüne alınarak

değerlendirildiğinde, sporcu gönüllülerin fiziksel egzersize toleransları daha fazla olduğundan, literatür ile uyumlu biçimde sedanter katılımcıların nabız değerleri sporculara göre daha yüksek saptanmıştır.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada, fiziksel yorgunluk ve mental işyükünün sporcular ve sedanterler olarak iki farklı grup için elektrofizyolojik ölçümlerinin etkisi araştırılmıştır. Parametrik olmayan istatistik test bulguları göz kapalı dinlenme durumuna ait yüksek frekans aralığında istatistiksel anlamlılık gösterirken, düşük frekans ve çok düşük frekans aralıkları için anlamlı fark sunmamaktadır. Mental aritmetik paradigması ile oluşturulan zihinsel işyükünün, literatürde tanımlı kontrollü performans tabiki ile kontrollü fiziksel yorgunluk oluşturulan gönüllülerde de EEG alfa düşüşü yarattığı ve sporcu gönüllülerde alfa baskılanmasının kendi içinde daha az olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bu öncül bulgular doğrultusunda sporcu grup için, sedanter gruba kıyasla odaklanmalarının daha başarılı olduğu ve fiziksel yorgunluk etkisine rağmen zihinsel işyükünden daha az etkilendikleri öngörülebilmektedir. Nöral yetkinlik hipotezine göre, bilişsel testlerde, görece düşük beyin aktivitesinin daha yeterli ve yetkin anlamında olduğu, az enerji ve düşük beyin aktivitesi ile aynı bilişsel işlevin yerine getirilebildiği belirtilmektedir [2,3]. Dolayısıyla konusunda eğitilmiş bireylerin öğrenme ile beyin aktivitelerini efektif kullandığı ve profesyoneller ile amatörler arasında karar verme mekanizmasının farklılığı söylenebilmektedir [4]. Sözkonusu bilişsel görevlerin zorluk seviyesinin kolaydan zora değişim göstermesi nöral yetkinlik hipotezini değiştirmemektedir. Her seviyedeki bilişsel görev için daha zeki bireylerin daha efektif beyin aktivitesi sergilediği belirtilmekte ve çalışmamızda bulgularda belirtildiği ve hipotezle örtüştüğü gibi baskılanmış, değişimi düşük beyin aktivitesi sergilediği görülmektedir. Aritmetik mental geri sayma görevinin başarı ile sürdürülmesi ve deney ardından boy, yaş, kilo gibi basit sorular karşısında sergilenen performans değerlendirildiğinde, elitlerin başarı yüzdesinin %50 oranında yüksek olduğu saptanmış, sedanterlerin mental efora bağlı olarak performans düşüşü yaşadığı gözlenmiştir.

İki grup katılımcıya yönelik elektrofizyolojik ölçüm sonuçları incelendiğinde, nöral yetkinlik hipotezinde öngörüldüğü şekilde sporcuların daha yetkin oldukları ve düşük beyin aktivitesi ile aynı bilişsel fonksiyonu gerçekleştirdikleri saptanmıştır. VO₂max ölçümü, oksijen tüketim hızının en yüksek değerini bildirirken, kardiyorespiratuvar dayanıklılık ölçütü aerobik kapasitenin ölçümünü sağlamıştır. Mental işyükü ile bağlantılı olan kalp atım hızı değişkenliği ve eşzamanlı EEG ölçümleri, literatürde yer alan nöral yetkinlik hipotezi ile örtüşmektedir.

Değişen zorluk seviyelerinde mental aritmetik ve zihinsel işyükü görevleri uygulanarak kişilerin beyin karakteristiğini yansıtan örüntüler elde edilebilir. Çalışmamızdaki amaç, eğitilmiş fizyolojiye sahip, ayrıca en yüksek oksijen

tüketiminin (VO₂max) ölçütü olarak aerobik kapasitesi gelişmiş kişilerin, kontrollü ve mukayeseli fiziksel performans ve yorgunluk durumunda karar verme mekanizmalarının, dolayısıyla EEG alfa odaklanma aktivitelerinin ve değişimlerinin araştırılması olmuştur.

Son yıllarda, zihinsel işyükü ve elektrofizyolojik ölçümleme arasındaki ilişki sıklıkla araştırılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, artan zihinsel işyükü ile otonomik ve merkezi sinir sisteminin elektrofizyolojik yanıtlarının ölçülmesi ve değerlendirilmesidir.

EEG, PPG, EDA, EKG ölçümlerinin farklı kombinasyonlarının birlikte gerçekleştirildiği çalışmalara literatürde sıklıkla rastlanmaktadır. Bu ölçümlerin tümünün eşzamanlı olarak sporcu grup üzerinde mental işyükü parametresi özelinde gerçekleştirildiği çalışmamız, literatürde özgün bir yere sahiptir. Bulgularımız gelecek çalışmalar için temel oluşturmaktadır.

TEŞEKKÜR

Araştırmamıza katkı sağlayan gönüllü katılımcılarımız, Marmara Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi öğrencileri Milli Sporcularımıza, İstanbul Arel Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği, Biyomedikal Mühendisliği ve Elektrik-Elektronik Mühendisliği öğrencilerine destekleri ve katılımları için teşekkür ederiz.


KAYNAKÇA


- [1].P.A. Hancock, J.S. Warm, "A Dynamic Model of Stress and Sustained Attention." *Human Factors and Ergonomics Society* 31, 519-537, 1989.
- [2].B. Dunst, M. Benedek, E. Jauk, S. Bergner, K. Koschutnig, M. Sommer, A. Ischebeck, B. Spinath, M. Arendasy, M., Bühner, H. Freudenthaler, A.C. Neubauer, "Neural efficiency as a function of task demands." *Intelligence*, 42, 22–30, 2014.
- [3].A.C. Neubauer, A. Fink, "Intelligence and neural efficiency." *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 33(7), 1004–23, 2009.
- [4].T.H. Balcıoğlu, D. Şahin, M. Assem, S.B. Selman, D. Göksel Duru, "Göz Hareketleri Takibi ile Elit Sporcularda Bakış Karakteristikleri Analizi: Pilot Çalışma." 18. Ulusal Biyomedikal Mühendisliği Toplantısı Kitapçığı, s. 1-4, 2014.
- [5].M. Chaouachi, I. Jraidi, C. Frasson, "Modeling Mental Workload using EEG Features for Intelligent Systems." *Intl. Conf. User Modeling, Adaptation, Personalization*, p. 50-61, 2011.
- [6].D.C. Lefebvre, Y. Marchanda, G.A. Eskes, J.F. Connolly, "Assessment of working memory abilities using an event-related brain potential (ERP)-compatible digit span backward task," *Clinical Neurophysiology* 116, 1665–1680, 2005.
- [7].A. Gevins, M.E. Smith, "Neurophysiological measures of cognitive workload during human-computer interaction." *Theor. Issues Ergon. Sci.* 4, 113–131, 2003.
- [8].A.S. Smit, P.A. Eling, M.T. Hopman, A.M. Coenen, "Mental and physical effort affect vigilance differently," *Int J Psychophysiol.* 57(3):211-7. Epub 2005 Apr 8, 2005.
- [9].W. Klimesch, M. Doppelmayr, T. Pachinger, B. Ripper, "Brain oscillations and human memory: EEG correlates in the upper alpha and theta band. *Neurosci. Lett.* 238, 9–12, 1997.
- [10].J.B. Brookings, G.F. Wilson, C.R. Swain, "Psychophysiological responses to changes in workload during simulated air traffic control." *Biol. Psychol.* 42, 361–377, 1996.
- [11].A. Gevins, M.E. Smith, L. McEvoy, D. Yu, "High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: effects of task difficulty, type of processing, and practice. *Cereb. Cortex N. Y. N.* 7, 374–385, 1997.
- [12].L. Venables, S.H. Fairclough, "The influence of performance feedback on goal-setting and mental effort regulation. *Motiv. Emot.* 33, 63–74. doi:10.1007/s11031-008-9116-y, 2009.
- [13].N. Jaušovec, K. Jaušovec, "Working memory training: improving intelligence--changing brain activity." *Brain Cogn.* 79, 96–106, 2012.
- [14].J. Onton, A. Delorme, S., Makeig, "Frontal midline EEG dynamics during working memory." *NeuroImage* 27, 341–356, 2005.
- [15].W. Klimesch, M. Doppelmayr, T. Pachinger, B. Ripper, "Brain oscillations and human memory: EEG correlates in the upper alpha and theta band." *Neurosci. Lett.* 238, 9–12, 1997.
- [16].W. Klimesch, M. Doppelmayr, H. Schimke, B. Ripper. "Theta Synchronization and Alpha Desynchronization in a Memory Task." *Psychophysiology*, 34(2-1997), 169-76, 1997.
- [17].W. Klimesch, M. Doppelmayr, H. Russegger, T. Pachinger, J. Schwaiger. "Induced alpha band power changes in the human EEG and attention." *Neurosci. Lett.* 244: 73–76, 1998.
- [18].W. Klimesch, "EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis." *Brain Res. Brain Res. Rev.* 29, 169–195, 1999.
- [19].D.A. Valentino, J.E. Arruda, S.M. Gold, "Comparison of QEEG and Response Accuracy in Good vs. Poorer Performers During a Vigilance Task." *International Journal of Psychophysiology*, 15, p. 123–134, 1993.
- [20].S.H. Fairclough, L. Venables and A. Tattersall, "The influence of task demand and learning on the psychophysiological response." *International Journal of Psychophysiology*, vol. 56, n. 2, p. 171–184, 2005.
- [21].G.F. Wilson, "Air-to-ground training missions: a psychophysiological workload analysis," *Ergonomics*, vol. 36, n. 9, p. 1071–1087, 1993.
- [22].A.H. Roscoe, "Assessing pilot workload. Why measure heart rate, HRV and respiration?," *Biol Psychol*, vol. 34, n. 2–3, p. 259–287, 1992.
- [23].A.H. Roscoe, "Heart rate as a psychophysiological measure for in-flight workload assessment," *Ergonomics*, vol. 36, n. 9, p. 1055–1062, 1993.


- [24].G.F. Wilson, P. Fullenkamp and I. Davis, "Evoked potential, cardiac, blink, and respiration measures of pilot workload in air-to-ground missions," *Aviat Space Environ Med*, vol. 65, n. 2, p. 100–105, 1994.
- [25].J.A. Veltman and A.W. Gaillard, "Physiological indices of workload in a simulated flight task," *Biol Psychol*, vol. 42, n. 3, p. 323–342, 1996.
- [26].T.C. Hankins and G.F. Wilson, "A comparison of heart rate, eye activity, EEG and subjective measures of pilot mental workload during flight," *Aviat Space Environ Med*, vol. 69(4), p. 360–367, 1998.
- [27].G.F. Wilson, C.R. Swain and P. Ullsperger, "EEG power changes during a multiple level memory retention task," *Int J Psychophysiol*, vol. 32, n. 2, p. 107–118, 1999.
- [28].D.L. Eckberg, "Human sinus arrhythmia as an index of vagal cardiac outflow," *J. Appl. Physiol.*, cilt 54, s. 961-66, 1985.
- [29].S. Zhang, S. Hu, H.H. Chao, X. Luo, O.M. Farr, and C.R. Li, "Cerebral correlates of skin conductance responses in a cognitive task" *Neuroimage*. 62(3): 1489–1498, 2012.
- [30].A. Hızal, C. Açıkada, T. Hazır, C. Tınazcı, "Modifiye Mekik Koşusu Testinin Güvenilirliği ve Geçerliği," *Spor Bilimleri Dergisi Hacettepe Journal of Sport Sciences*, cilt 8, sayı 4, s. 3-12, 1997.
- [31]. A.D. Flouris, G.S. Metsios, Y. Koutedakis. "Enhancing the efficacy of the 20 m multistage shuttle run test," *British. J. Sports Medicine*, cilt 39, s. 166–170, 2005.
- [32].H. Jasper H. "Report of the Committee on Methods of Clinical Examination in Electroencephalography. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*,10:370–375, 1958.
- [33].S. Dong, L.M. Reder, Y. Yao, Y. Liu, F. Chen, "Individual differences in working memory capacity are reflected in different ERP and EEG patterns to task difficulty", *Brain Res*. 2015 Aug 7;1616:146-56, Epub 2015 May 11.
- [34].J.J. Carr and J.M. Brown, "Introduction to Biomedical Equipment Technology", Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 1998.
- [35].T.L. Rusch, et al., "Signal processing methods for pulse oximetry," *Comput. Biol. Med.*, vol. 26, no. 2, pp. 143-159, 1996.
- [36].S.M.L. Silva, R. Giannetti, R., et al., "Heuristic Algorithm for Photoplethysmographic Heart Rate Tracking During Maximal Exercise Test", *Journal of Medical and Biological Engineering*, 32(3): 181-188, 2011.
- [37].J.G. Proakis and D.K. Manolakis, "Digital Signal Processing, 4th Edition by (Publisher: Pearson; 4 edition, April 7, 2006.

Thermal Circuit Model of the Pulse DC Sintering System Container During Cooling

*¹Tuba Yener,² Suayb Cagri Yener, and ³Resat Mutlu

¹Department of Materials and Metallurgy Engineering, Sakarya University, Sakarya, Turkey 

²Department of Electrical and Electronics Engineering, Sakarya University, Sakarya, Turkey 

³Department of Electronics and Telecom. Eng., Namik Kemal University, Corlu, Tekirdag, Turkey 

Research Paper

Arrival Date: 06.02.2019

Accepted Date: 08.05.2019

Abstract

Pulse DC Sintering System (PDCS) is a cheap and quick way of producing different types of materials. After sintering of the sample, the cooling of the PDCS container is needed before taking it out. The sample production time is the sum of the sintering and the cooling time. Therefore, estimation of the sample cooling time must be made accurately to model sample production. Its container dimensions and the material, it is made of, determines its temperature during cooling. In this paper, a thermal circuit which models a pulse DC sintering system container during cooling is given. Its thermal circuit model is made assuming that some heat leaks from the steel container to the copper bars, the copper bars and the container all have natural convection and also radiate heat to cool down. The thermal model is described with a set of nonlinear state-space equations. The state-space equations are solved numerically using Runge-Kutta 4 method. The time required to make the sample cool down to ambient temperature is calculated using simulations. The temperatures of the container and the copper bars of an PDCS system are measured to find the experimental cooling time. The results are compared. The PDCS thermal model is able to verify the experimental results. It has also been experimentally shown that the cooling time is not dependent on the sample type produced for the examined PDCS system. Such a model can be easily implemented in an engineering software which aims to model the sample production process of the PDCS system and can also be used for its optimization considering its physical parameters such as dimensions, electrical and mechanical constants etc.

Keywords: Material Production, Pulse DC Sintering, Thermal Circuit Model

Darbeli DC Sinterleme Sistemi Konteynerinin Soğumasına Yönelik Termal Devre Modeli

*¹Tuba Yener,² Suayb Cagri Yener, and ³Resat Mutlu

¹Department of Materials and Metallurgy Engineering, Sakarya University, Sakarya, Turkey

²Department of Electrical and Electronics Engineering, Sakarya University, Sakarya, Turkey

³Department of Electronics and Telecom. Eng., Namik Kemal University, Corlu, Tekirdag, Turkey

Öz

Darbe DC Sinterleme (PDCS), darbe genlik modülasyonlu doğru akım kullanarak farklı tipte malzemelerin ucuz ve hızlı biçimde üretilmesini sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntemde numunenin sinterlenmesinden sonra, PDCS konteynerinin soğuması gerekir. Toplam üretim süresi sinterleme ve soğuma süresinin toplamıdır. Bu nedenle, numune üretim zamanını modellemek için numune soğuma süresinin belirlenmesi gereklidir. Kalıp boyutları ve üretilen malzeme, soğuma sırasındaki sıcaklığı belirler. Bu çalışmada, soğuma sırasındaki elektrik akım destekli sinterleme sistemi konteynerini modelleyen bir termal devre sunulmuştur. Isı devresi modeli, çelik konteynerden bakır baralara ısı transferi olduğu; bakır baralar ve konteynerin soğuma için doğal taşınımına sahip yayılım ile ısı yaydığı yaptığı kabulüyle oluşturulmuştur. Termal model, doğrusal olmayan durum-uzay denklemleri ile tanımlanmış ve denklemler numerik olarak Runge-Kutta 4 metodu kullanılarak çözülmüştür. Numunenin ortam sıcaklığına kadar soğuması için gereken süre simülasyonlar kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, konteyner ve bakır bara sıcaklıkları

*Corresponding Author: Department of Materials and Metallurgy Engineering, Sakarya University, Sakarya, Turkey

Doi: 10.21541/apjes.523471

deneysel olarak ölçülen bir PDCS sisteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deneysel olarak, soğuma süresinin, incelenen PDCS sistemi için üretilen numune tipine bağlı olmadığı da gösterilmiştir. Böyle bir model, PDCS sisteminin numune üretim sürecini modellemeyi amaçlayan bir algoritmaya ve bunu gerçekleştirecek donanıma kolayca uygulanabilir. Ayrıca önerilen model; boyutlar, elektriksel ve mekanik sabitler vb. fiziksel parametreleri dikkate alarak gerçekleştirilebilecek optimizasyon süreçlerinde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Malzeme üretimi, Darbeli DC Sinterleme, Termal Devre Modeli

1. INTRODUCTION

Pulse DC sintering system (PDCS) is a method which enables the production of different material types by using mechanical load and electric current to strengthen the inter-particle bonding and to intensify bonding [1–10]. Prediction of process time of sample production is an important PDCS parameter [1–4]. Finding the cooling time of a PDCS device is very important to predict the sample production time or the process time since the sintering of the sample may also continue during cooling. Therefore, a method is needed to predict/calculate the cooling time. Heat transfer equations written for zero internal heat production describe also the cooling of the PDCS system. However, their solutions are not analytically possible due to the fact that the system having nonlinear mechanical and the heat transfer equations coupled together and also having irregular boundaries making their solution not possible. A PDCS system for a complete analysis can be analyzed using numerical methods Finite elements (FEM), Boundary elements (BEM) or Finite differences (FD) methods. However, programs which uses Finite elements (FEM), Boundary elements (BEM) or Finite differences (FD) methods are expensive and also takes time to input the system parameters or physical dimensions and they also require some practice [11, 12]. This paper examines the cooling of such a PDCS device using lumped-parameter thermal circuit model. First, the biot number for copper bars and steel container are calculated and it is shown that it is possible to use the lumped parameter circuit to model the PDCS system, the thermal circuit parameters are calculated, and the dynamic model of the thermal circuit including radiation and convection loss and the power transferred from container to the copper bars are made. Since the thermal circuit due to the radiation loss is also nonlinear, Simulink™ toolbox of MATLAB™ is used to simulate the dynamic system during cooling. The cooling time is estimated from the simulation data. Then, experiments are performed to measure cooling time of the PDCS system for two intermetallic samples. Finally, the experimental and simulated cooling times are compared.

This paper is arranged as follows. In the second section, the PDCS system is introduced; the thermal circuit model and its state-space equations are given. In the fourth section, the experimental data acquired during cooling is given and the results obtained from simulations and experiments are compared. The paper is finished with the conclusion section.

2. PDCS SYSTEM THERMAL CIRCUIT MODEL

Heat transfer model of the PDCS system during cooling is derived in this section. During cooling, the dissipated power density per volume is zero. Considering the convection and radiation losses, a lumped parameter thermal circuit model of the PDCS system is done.

2.1. PDCS System

Let's consider heating mechanism of the PDCS system given in Figure 1. It consists of a cylindrical cut container made of 1% carbon steel at whose middle cross-section, the sample covered with graphene is placed, two cylindrical stiff made of 1% carbon steel which are used to press the sample from the bottom and above, the copper bar electrodes above and below the stiff which are used for electrical connection to sources. Copper bar electrodes are actually longer than the ones shown in Figure 1. However, for modeling purposes, only the rectangular parts of the electrodes are considered.

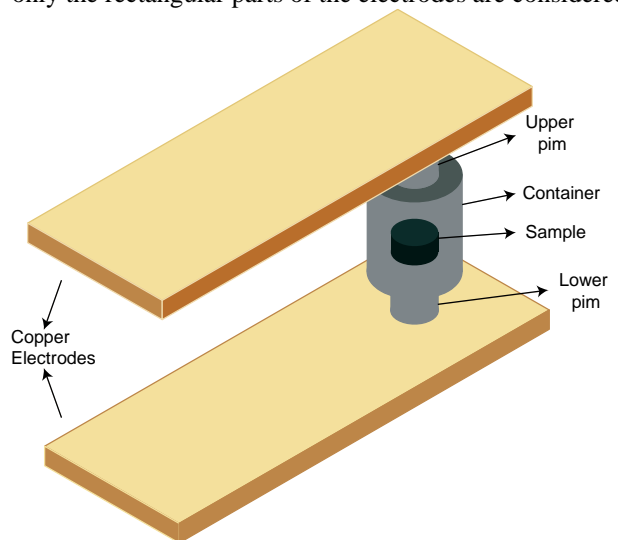


Figure 1. The PDCS System.

2.2. Thermal Conductivity of Steel

The thermal conductivity of carbon steel data is taken from [13] and it is modeled as

$$k_s(T) = p_1 T^2 + p_2 T + p_3 \quad (1)$$

Using the data and the least squares method, the coefficients are found as $p_1 = 4.0534e-006$, $p_2 = -0.010813$ and $p_3 = 36.566$. The steel thermal conductivity is to be used to model between the container and the copper bars.

2.3. Calculation of an Equivalent Biot Number

We have predicted that most of the heat transfer dynamics from copper and steel container are governed by convection and radiation. The steel and copper thermal resistances are nonlinear circuit elements. Therefore, their temperature can be assumed as uniform. In this paper, an equivalent Biot number which takes not only the convection but also the radiation is considered. It is defined as

$$Bi = \frac{\text{Convection and radiation from the surface of the object}}{\text{The conduction from throughout the object}} \quad (2)$$

Since the radiation is temperature dependent, we take a maximum temperature of 1000 °C for the steel container to calculate its equivalent Biot number and it is found less than 0.1. For copper bars, we have assumed they have the symmetric temperature distribution by respect to container and we take a maximum temperature of 200 °C for the copper bars and their equivalent Biot number is also found to be less than 0.1. Therefore, their temperature can be assumed to be uniform. Therefore, the PDCS system can be treated simply as a lumped parameter problem, for which $Bi < 0.1$ and for which it is seldom necessary to solve the conduction equation, i.e., convection and radiation is the rate controlling process [14]. Because of this, the temperatures of both the copper bars and the steel container can be assumed to be uniform.

2.4. Lumped-parameter Thermal Circuit

The thermal circuit shown in Figure 2 is considered in this paper. The thermal circuit is a simple approximation to the heat transfer model. The sample is placed at the container center which can be insulator, intermetallic etc. The copper and the steel sections, whose thermal conductivities are quite high, conduct heat very well. The container has a low thermal conductivity since it is made of steel. It has also a higher electrical resistance than the copper electrode bars. Also, it has a small area for convection and radiation. Its higher electrical resistance, its lower thermal conductivity and its smaller contact cross-section results in its temperature getting greater than the copper electrodes, which has a better thermal and electrical conductivities and a larger cross-section for convection and radiation, during heating. Because of these reasons, the container stores a significant amount of thermal energy due to having a high temperature although its volume or mass is quite less than the copper electrodes. The copper electrode bars also store considerable amount of energy due to its higher volume despite its temperature being lower than the container. The ambient medium is air which does not flow. Therefore, the system losses heat due to both natural convection and radiation loss. The air temperature is assumed to be constant at room temperature and its convection constant is taken from [14] for the case that the air flow speed is zero. It is assumed that the container and the copper bars have homogenous initial temperatures. There is a temperature gradient between the copper bars and the container throughout the steel stiff sections staying outside

the container. The thermal circuit model of the PDCS container is given in Figure 2 and the circuit elements are explained below.

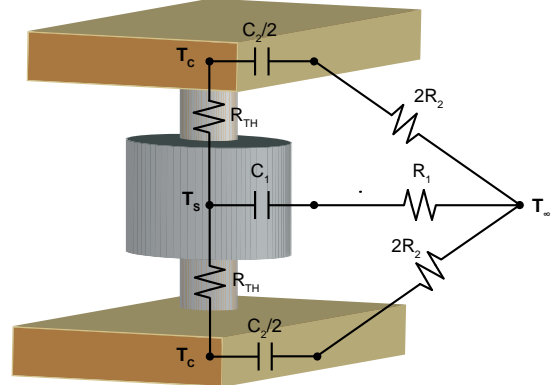


Figure 2. The lumped parameter thermal circuit model of the PDCS system during the cooling.

In the thermal circuit, R1 is the nonlinear thermal resistance which models both the radiation and convection loss from container and stiff to the ambience, R2 is the nonlinear thermal resistance which models both the radiation and convection loss from copper bars to the ambience, RTH is the thermal resistance of the stiff, C1 is the thermal capacitance of the PDCS container and the stiff, C2 is the thermal capacitance of the copper.

2.5. The State-space Model of the Lumped-parameter Thermal Circuit

Considering conservation of the energy and submitting object physical parameters such as area, surface, thermal conductivity etc., the state-space model of the lumped-parameter thermal circuit can be written as

$$\rho_s V_s C_s \frac{dT_s}{dt} = -A_s (k_{SB} \epsilon_s T_s^4 + h_c (T_s - T_\infty)) + \frac{2(T_s - T_c)}{R_{TH}} \quad (3)$$

$$\rho_c V_c C_c \frac{dT_c}{dt} = -A_c (k_{SB} \epsilon_c T_c^4 + h_c (T_c - T_\infty)) - \frac{2(T_s - T_c)}{R_{TH}} \quad (4)$$

Where T_s is the container temperature in Kelvin, T_c is the copper bars' temperature in Kelvin, T_∞ is the ambient temperature, k_{SB} is the Stephan-Boltzman constant, ϵ_s is the emissivity of the steel, ϵ_c is the emissivity of the copper bars, h_c is the natural air convection constant, A_s is the container area, V_s is the container volume, ρ_s is the steel density, C_s is the specific heat of the steel, V_c is the copper bar volume, ρ_c is the copper density, C_c is the specific heat of copper, and R_{TH} is thermal conductance of the stiff section between the container main body and a copper bar. The container stiff sections are made of steel and their thermal conductivity is a function of temperature. Therefore, the thermal resistance, R_{TH} of the inter-stiff sections staying between the container and the copper bars is modelled as temperature-dependent resistance:

$$R_{TH} = \frac{h_{stiff}}{k_s(T)A_{stiff}} \tag{5}$$

The sample volume is less than container volume. So is the heat capacity of the sample. Therefore, its effect in the thermal dynamics is ignored:

$$\rho_s V_s C_s \ll \rho_{sa} V_{sa} C_{sa} \tag{6}$$

For the system used in this study, the copper bars have a higher heat capacitance than the container has. They lose heat due to convection since it is surrounded by air and also by radiation.

Due to the high heat capacitance and also the heat lost from the container to the copper bars, copper bar temperature rises a little above the initial value while the container temperature keeps falling down. When the copper bars' and container temperatures becomes equal, the copper bars' and container temperatures start falling down together. At the beginning since container temperature is a lot higher than the room temperature and the system has natural cooling and radiation loss. Since the radiation loss is proportional to the fourth power of the temperature, the convection heat loss is less than the radiation heat loss when sample is hot at the beginning. The thermal circuit model also requires the initial temperatures of the copper bars beside the initial temperature of the container.

3 SIMULATIONS and COMPARISON OF THE RESULTS

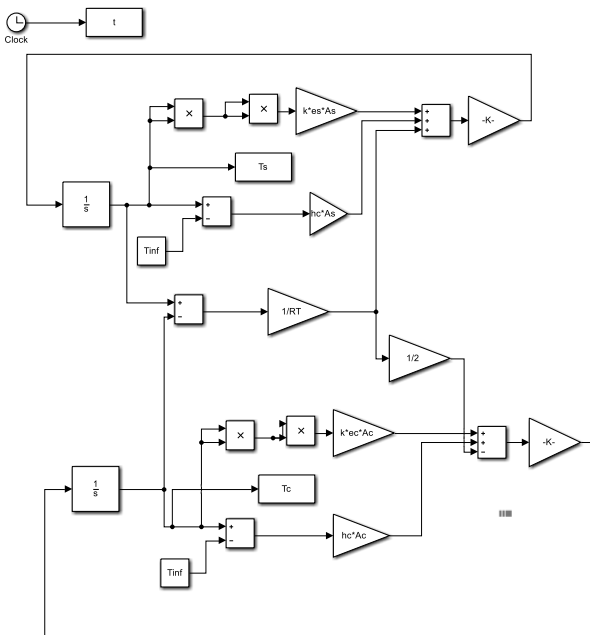


Figure 3. Simulink block diagram of the PDCS thermal circuit during cooling.

Since the differential equations describing thermal circuit equations are nonlinear, they require numerical solutions.

That's why numerical analysis of the PDCS system is performed using Simulink™ toolbox of Matlab™. A Simulink block diagram shown in Figure 3 is made to solve this nonlinear equation. During simulations, container inner radius, outer radius and height are taken as 16.5mm, 9mm, 23mm, respectively. Radius of both upper and lower pins are taken as 9mm. Their total height is taken as 27mm and it is assumed that they were stretched out equally, 2mm below and 2mm above.

The result obtained with the Simulink model is compared with the real cooling data obtained using IR thermometer after sintering process. The simulation and experimental cooling characteristics with respect to time for 926°C initial condition are shown in Figure 4.

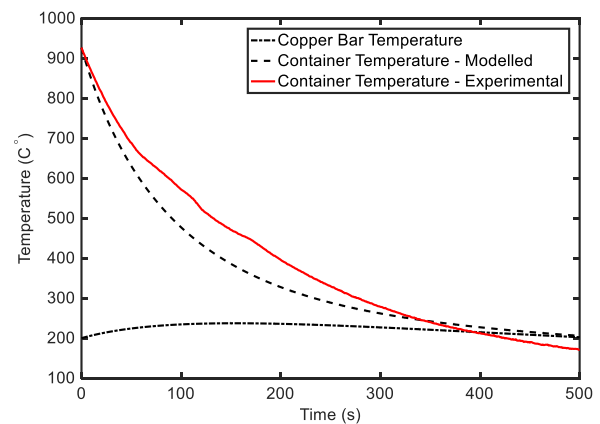


Figure 4. PDCS container temperature vs time by simulations for 926°C initial condition.

We defined the cooling time as the time the container temperature falls down to 200 °C and at this temperature the hydraulic press is opened and the container is released. For an initial container temperature of 926°C, the cooling time is found around 500 seconds. The simulation and the experimental cooling times are almost same. Therefore, the lumped parameter thermal model of the PDCS system can successfully be used to predict the sample cooling time for different initial container temperatures. It has been also found from the several experiments made with intermetallic and insulator samples that the cooling time is almost independent on the sample type produced for the reported PDCS system and this verifies the assumption made in the Section 0. For high steel temperatures, the steel stiff resistances must be estimated well or their temperature dependency must be modeled accurately for a good estimation of the cooling time.

4. CONCLUSIONS

For a method like resistive sintering, it is very important to estimate the sample production time which is the sum of the sintering time and the cooling time. In this study, first a thermal circuit model of the PDCS system is made. Nonlinear Thermal resistances resulting from, radiation and convection losses, and conduction are used in the thermal

circuit. Thermal resistances and thermal capacitances of the PDCS container, the inter-stiff sections, and copper bars are also calculated using material properties and physical dimensions. It is also highlighted that only the inter-stiff sections' thermal resistances, which connect the container to the copper bars are of importance and the temperature dependence of the rest of the thermal resistances in the PDCS system is not of importance since the Biot numbers are less than 0.1. The cooling time is estimated by simulations. Second, the temperature of the PDCS system container is measured experimentally, after real sintering processes, during cooling intervals. The cooling time is also calculated from experiments. It has been found that the cooling time is almost independent on the sample type produced for the reported PDCS system since the sample volume is much less than the container volume, its effect on cooling time is negligible since the solids have almost the same specific heat capacitance. And third, the results of the proposed thermal circuit model in this study are compared to that of the real experimental data. It has been shown that the simulation and experimental results are in good agreement and our model is able to predict cooling time with acceptable error. We leave estimation the sintering time for the future work since it is much more difficult to estimate than the cooling time due to the internal heat produced in the PDCS container.


REFERENCES

- [1] Orrù, R., Licheri, R., Locci, A.M., Cincotti, A., Cao, G.: Consolidation/synthesis of materials by electric current activated/assisted sintering. *Mater. Sci. Eng. R Reports*. 63, 127–287 (2009). doi:10.1016/j.mser.2008.09.003
- [2] Groza, J.R., Zavaliangos, A.: Sintering activation by external electrical field. *Mater. Sci. Eng. A*. 287, 171–177 (2000). doi:10.1016/S0921-5093(00)00771-1
- [3] Yener, T., Güler, S., Siddique, S., Walther, F., Zeytin, S.: Determination of the young modulus of Ti-TiAl₃ metallic intermetallic laminate composites by nano-indentation. *Acta Phys. Pol. A*. 129, (2016). doi:10.12693/APhysPolA.129.604
- [4] Wang, X., Casolco, S.R., Xu, G., Garay, J.E.: Finite element modeling of electric current-activated sintering: The effect of coupled electrical potential, temperature and stress. *Acta Mater.* 55, 3611–3622 (2007). doi:10.1016/j.actamat.2007.02.022
- [5] Grasso, S., Sakka, Y., Maizza, G.: Electric current activated/assisted sintering (ECAS): a review of patents 1906–2008. *Sci. Technol. Adv. Mater.* 10, 53001 (2009). doi:10.1088/1468-6996/10/5/053001
- [6] Morsi, K., Patel, V. V, Moon, K.S., Garay, J.E.: Current-activated pressure-assisted sintering (CAPAS) and nanoindentation mapping of dual matrix composites. *J. Mater. Sci.* 43, 4050–4056 (2008). doi:10.1007/s10853-007-2225-2
- [7] Erdogan, A. , Yener, T. , Zeytin, S.:Fast production of high entropy alloys (CoCrFeNiAlxTiy) by electric current activated sintering system *Vacuum* 155 (2018) 64–72. doi.org/10.1016/j.vacuum.2018.05.027
- [8] Yener, T., Zeytin, S.: Synthesis and characterization of metallic-intermetallic Ti-TiAl₃, Nb-Ti-TiAl₃ composites produced with Electric-Current-Activated Sintering (ECAS). *Mater. Tehnol.* 48, (2014)
- [9] Zhou, M., Rodrigo, D., Cheng, Y.-B.: Effects of the electric current on conductive Si₃N₄/TiN composites in spark plasma sintering. *J. Alloys Compd.* 547, 51–58 (2013). doi:10.1016/j.jallcom.2012.08.091
- [10] Yener, T., Zeytin, S.: Production and Characterization of Niobium Toughened Ti-TiAl₃ Metallic-Intermetallic Composite. *Acta Phys. Pol. A*. 132, 941–943 (2017). doi:10.12693/APhysPolA.132.941
- [11] Ozsoy, M., Kurnaz, C.: An Optimization Study of a Hydraulic Gear Pump Cover with Finite Element Method. *Acta Phys. Pol. A*. 132, 944–948 (2017). doi:10.12693/APhysPolA.132.944
- [12] Ozsoy, M., Pehlivan, K., Firat, M., Ozsoy, N., Ucar, V.: Structural Strength and Fatigue Life Calculation of Y32 Bogie Frame by Finite Element Method. *Acta Phys. Pol. A*. 128, 327–329 (2015). doi:10.12693/APhysPolA.128.B-327
- [13] Shelton, S.M.: Thermal conductivity of some irons and steels over the temperature range 100 to 500 C. *Bur. Stand. J. Res.* 12, 441 (1934). doi:10.6028/jres.012.042
- [14] Çengel, Y.A.: Heat and mass transfer: a practical approach. McGraw-Hill (2007)


Serbest Nilpotent Lie Cebirlerinin Otomorfizm Grupları Üzerine

*¹Özge Öztekin, ²Cennet Eskal

¹Gaziantep Üniversitesi, Matematik Bölümü

ozgeoztekin@gantep.edu.tr 

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Matematik Bölümü

cenneteskal@osmaniye.edu.tr 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 11.04.2019

Kabul Tarihi: 27.06.2019

Öz


$L_{m,k}$ karakteristiği sıfır olan bir cisim üzerinde sonlu m , $m \geq 2$ rankına sahip, k –yüncü sınıftan serbest nilpotent Lie cebiri olsun. $L_{m,k}$ nin merkezi otomorfizmler grubunun bu cebirin IA –otomorfizmler grubu ile iç otomorfizmler grubuna eşit olması için gerek ve yeter koşulları belirledik.

Anahtar Kelimeler: Serbest Lie cebir, IA –otomorfizm grubu, iç otomorfizm grubu, merkezi otomorfizm grubu.


On The Automorphism Groups of Free Nilpotent Lie Algebras

*¹Özge Öztekin, ²Cennet Eskal

¹Department of Mathematics, Gaziantep University,

ozgeoztekin@gantep.edu.tr 

²Department of Mathematics, Osmaniye Korkut Ata University,

cenneteskal@osmaniye.edu.tr 

Abstract

Let $L_{m,k}$ be the free nilpotent Lie algebra of class k that of finite rank m , $m \geq 2$ over a field of characteristic zero. In this study, we give necessary and sufficient conditions on the equalities of the central automorphisms group of $L_{m,k}$ to the IA -automorphisms group and inner automorphisms group of $L_{m,k}$.

Keywords: Free Lie algebra, IA –automorphisms group, inner automorphisms group, central automorphisms group.

1. GİRİŞ

K karakteristiği sıfır olan bir cisim, F_m , K üzerinde $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ kümesi tarafından serbest olarak üretilen serbest Lie cebiri ve $\gamma_k(F_m)$, F_m nin alt merkezi serisinin k -yüncü terimi olsun. O zaman $L_{m,k} = F_m / \gamma_k(F_m)$ k –yüncü sınıftan $\{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m\}$ kümesi tarafından üretilen serbest nilpotent Lie cebiridir, $\bar{x}_j = x_j + \gamma_k(F_m)$, $j = 1, \dots, m$ olmak üzere burada, \bar{x}_j yazılışı yerine kolaylık olması açısından x_j yazılışını tercih edeceğiz. $L_{m,k}$ nin tüm otomorfizmlerinin grubunu $Aut(L_{m,k})$ ile gösterebiliriz. Her $v \in L_{m,k}$ için $adv: L_{m,k} \rightarrow L_{m,k}$ lineer dönüşümü $L_{m,k}$ nin

bir türevi olup nilpotenttir. Yani $\gamma_k(F_m) = 0$ olduğundan $ad^{k-1}v = 0$ dir. Bu durumda,

$$e^{adv} = 1 + \frac{adv}{1!} + \frac{ad^2v}{2!} + \dots + \frac{ad^{k-2}v}{(k-2)!}$$

lineer dönüşümü iyi tanımlı olup $L_{m,k}$ nin bir otomorfizmidir. Bu formdaki otomorfizmlere iç otomorfizm denir. $L_{m,k}$ nin tüm iç otomorfizmlerinin kümesi $Aut(L_{m,k})$ nin bir normal alt grubunu oluşturur ve bu grup $Inn(L_{m,k})$ ile gösterilir. $L'_{m,k}$, $L_{m,k}$ nin türetilmiş alt cebiri olmak üzere eğer $\alpha \in Aut(L_{m,k})$ ve $u \in L_{m,k}$ için $\alpha(u) - u \in L'_{m,k}$ ise α ya $L_{m,k}$ nin IA –otomorfizmi denir. Tüm IA –otomorfizmlerinin kümesi $Aut(L_{m,k})$ grubunun bir

*¹Sorumlu yazar: Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Gaziantep Üniversitesi, Türkiye, ozgeoztekin@gantep.edu.tr

altgrupdur ve bu altgrup $IA(L_{m,k})$ ile gösterilir. $Z(L_{m,k})$, $L_{m,k}$ nin merkezi olmak üzere eğer $\beta \in Aut(L_{m,k})$ ve $u \in L_{m,k}$ için $\beta(u) - u \in Z(L_{m,k})$ ise β ya $L_{m,k}$ nin merkezi -otomorfizmi denir. Tüm merkezi -otomorfizmlerin kümesi $Aut(L_{m,k})$ grubunun bir normal altgrupdur ve bu altgrup $Aut_C(L_{m,k})$ ile gösterilir.

Lie cebirlerinin farklı tiplerdeki otomorfizmlerini, bu otomorfizmlerin yapısını ve özelliklerini incelemek, özellikle son zamanlarda üzerinde çalışılan oldukça önemli bir konu haline gelmiştir. Örneğin, serbest Lie cebirler kategorisinin otomorfizmleri [8], serbest nilpotent Lie cebirinin otomorfizmleri [5], bir serbest metabelyen Lie cebirinin otomorfizm grubu [10], bir serbest metabelyen Lie cebirinin normal otomorfizmleri [7] çalışılmıştır. Özel bir otomorfizm grubu olan merkezi otomorfizmler grubu ile ilgili çalışmalar da bulunmaktadır. Bir serbest nilpotent Lie cebirinin merkezi otomorfizmleri [9] ve bir serbest center-by-metabelyen Lie cebirinin merkezi otomorfizmleri [6] incelenmiştir. Merkezi otomorfizmlerle ilgili benzer çalışmalar grup teorisinde de [1-4] bulunmaktadır. Çalışmamızın temel amacı, $IA(L_{m,k}) = Aut_C(L_{m,k})$ olması için gerek ve yeter koşulun $m \geq 2$ ve $k = 3$ olduğunu ve $Inn(L_{m,k}) = Aut_C(L_{m,k})$ olması için gerek ve yeter koşulun $m = 2$ ve $k = 3$ olduğunu ispatlamaktır.

2. TEMEL SONUÇLAR

$L_{m,k} = F_m / \gamma_k(F_m)$, k -yüncü sınıftan serbest nilpotent Lie cebiri olsun. $u, v \in L_{m,k}$ için $[u, v]$ komütatörü ile Lie çarpımını göstereceğiz. $Z(L_{m,k})$, $L_{m,k}$ nin merkezi olmak üzere $Z(L_{m,k}) = \gamma_{k-1}(L_{m,k}) \cong \gamma_{k-1}(F_m) / \gamma_k(F_m)$ dir. Böylece $L_{m,k}$ nin herhangi bir β merkezi -otomorfizmi $\beta(x_i) = x_i + v_i, v_i \in \gamma_{k-1}(L_{m,k}), i = 1, \dots, m$ formundadır.

Önerme 2.1. $L_{m,k}$ serbest nilpotent Lie cebiri olsun. $m \geq 2$ ve $k \geq 1$ için $L_{m,k}$ nin tüm merkezi otomorfizmleri IA dir.

İspat. $\beta \in Aut_C(L_{m,k})$ alalım. Bu durumda $\beta, \beta(x_i) = x_i + v_i, v_i \in \gamma_{k-1}(L_{m,k})$ formundadır. $m \geq 2$ ve $k \geq 1$ için $\gamma_{k-1}(L_{m,k}) \subseteq L'_{m,k}$ olduğundan $\beta, L_{m,k}$ nin bir IA -otomorfizmi olur.

Önerme 2.2. $L_{m,k}$ serbest nilpotent Lie cebiri olsun. $m \geq 2$ ve $k = 3$ için $L_{m,k}$ nin tüm IA -otomorfimleri merkezidir.

İspat. $\beta \in IA(L_{m,3})$ alalım. Bu durumda $\beta, \beta(x_i) = x_i + \alpha[x_j, x_k], \alpha \in K, j, k \in \{1, \dots, m\}$ formundadır. $L_{m,3}$ serbest nilpotent Lie cebirinin merkezi $Z(L_{m,3}) = \gamma_2(L_{m,3})$ olduğundan $\beta, L_{m,3}$ nin bir merkezi-otomorfizmidir.

Teorem 2.1. $L_{m,k}$, serbest nilpotent Lie cebiri olsun. $IA(L_{m,k}) = Aut_C(L_{m,k})$ olması için gerek ve yeter koşul $m \geq 2$ ve $k = 3$ olmasıdır.

İspat. Önerme 2.1 ve Önerme 2.2. den elde edilir

Şimdi $Inn(L_{m,k}) = Aut_C(L_{m,k})$ olması için gerek ve yeter koşulun $m = 2$ ve $k = 3$ olduğunu ispatlamak için gereken önerme ve teoremleri verelim.

Önerme 2.3. $L_{m,k}$ serbest nilpotent Lie cebiri olsun. Eğer $\beta, L_{m,k}$ nin $\gamma_{k-2}(L_{m,k})$ tarafından belirlenen bir iç otomorfizmi ise β merkezi -otomorfizmdir.

İspat. $\beta, \gamma_{k-2}(L_{m,k})$ tarafından belirlenen bir iç otomorfizm olsun. Bu durumda $\beta, v_i \in \gamma_{k-2}(L_{m,k})$ olmak üzere $\beta(x_i) = e^{adv_i}(x_i) = x_i + [x_i, v_i]$ formundadır. $\beta(x_i) - x_i \in \gamma_{k-1}(L_{m,k}) = Z(L_{m,k})$ olduğundan $\beta, L_{m,k}$ nin bir merkezi-otomorfizmi olur.

Teorem 2.2.

$$Aut_C(L_{m,k}) \cong Hom\left(L_{m,k}/Z(L_{m,k}), Z(L_{m,k})\right) \text{ dir.}$$

İspat. $\sigma: Aut_C(L_{m,k}) \rightarrow Hom\left(L_{m,k}/Z(L_{m,k}), Z(L_{m,k})\right)$ homomorfizmini, her bir $\beta \in Aut_C(L_{m,k})$ ve $u \in L_{m,k}$ için $\sigma_\beta: L_{m,k}/Z(L_{m,k}) \rightarrow Z(L_{m,k}),$

$\sigma_\beta(u + Z(L_{m,k})) = \beta(u) - u$ olmak üzere $\sigma(\beta) = \sigma_\beta$ olarak tanımlayalım.

Önce σ_β nin iyi tanımlı olduğunu gösterelim.

$u_1, u_2 \in L_{m,k}$ alalım.

$u_1 + Z(L_{m,k}), u_2 + Z(L_{m,k}) \in L_{m,k}/Z(L_{m,k})$ için

$u_1 + Z(L_{m,k}) = u_2 + Z(L_{m,k})$ olsun. O zaman $u_1 - u_2 \in Z(L_{m,k})$ olup β merkezi otomorfizmi merkezdeki tüm elemanları sabit bıraktığından $\beta(u_1 - u_2) = u_1 - u_2$ dir.

Buradan $\beta(u_1) - u_1 = \beta(u_2) - u_2$ ve $\sigma_\beta(u_1 + Z(L_{m,k})) = \sigma_\beta(u_2 + Z(L_{m,k}))$ elde edilir. Yani σ_β iyi tanımlıdır.

Şimdi σ nin iyi tanımlı olduğunu gösterelim.

$\theta, \beta \in Aut_C(L_{m,k})$ için $\sigma(\beta) \neq \sigma(\theta)$ olsun. O zaman her $u \in L_{m,k}$ için $\sigma(\beta)(u + Z(L_{m,k})) = \beta(u) - u \neq \theta(u) - u = \sigma(\theta)(u + Z(L_{m,k}))$ olup $\beta \neq \theta$ dir. Böylece σ nin iyi tanımlı olduğu elde edilmiş olur.

$\beta \in \ker \sigma$ ise $\sigma(\beta) = 0$ dir. Buradan, her $u \in L_{m,k}$ için $\sigma(\beta)(u + Z(L_{m,k})) = \beta(u) - u = 0$ elde edilir, bu ise $\beta(u) = u$ yani β nin birim otomorfizm olması demektir. O halde, Id , birim otomorfizmi göstermek üzere $\ker \sigma = \{Id\}$ olup σ birebirdir.

Her bir $h \in Hom\left(\frac{L_{m,k}}{Z(L_{m,k})}, Z(L_{m,k})\right)$ için $\beta(u) = u + h(u + Z(L_{m,k}))$ olarak tanımlayalım. Burada $\beta \in Aut_C(L_{m,k})$ olduğu açıktır. $h(u + Z(L_{m,k})) = \beta(u) - u = \sigma(\beta)(u + Z(L_{m,k}))$ eşitliklerinden $h = \sigma(\beta)$ elde edilir. O halde σ örtendir. Öyleyse σ bir izomorfizmdir.

Teorem 2.3. $L_{m,k}$, serbest nilpotent Lie cebiri olsun. $Inn(L_{m,k}) = Aut_C(L_{m,k})$ gerek ve yeter koşul $m = 2$ ve $k = 3$ olmasıdır.

İspat. $Inn(L_{m,k}) = Aut_C(L_{m,k})$ olduğunu kabul edelim. Her bir iç otomorfizmi merkezi ise Önerme 2.3 ten $k = 3$ olduğu elde edilir.

$\left| \frac{L_{m,k}}{Z(L_{m,k})} \right|$, $|Inn(L_{m,k})|$, $|Aut_C(L_{m,k})|$ ve $|Z(L_{m,k})|$ sırayla $\frac{L_{m,k}}{Z(L_{m,k})}$, $Inn(L_{m,k})$, $Aut_C(L_{m,k})$ ve $Z(L_{m,k})$ nın rankını gösterebiliriz. $\frac{L_{m,k}}{Z(L_{m,k})}$ ve $Z(L_{m,k})$ sonlu ranklı olduğundan,

$\left| \frac{L_{m,k}}{Z(L_{m,k})} \right| = |Inn(L_{m,k})| = |Aut_C(L_{m,k})|$ dir. Teorem 2.2 den

$$\left| \frac{L_{m,k}}{Z(L_{m,k})} \right| = Hom\left(\frac{L_{m,k}}{Z(L_{m,k})}, Z(L_{m,k})\right)$$

$$\left| \frac{L_{m,k}}{Z(L_{m,k})} \right| \geq \left| \frac{L_{m,k}}{Z(L_{m,k})} \right| \cdot |Z(L_{m,k})|$$

dir. Buradan $|Z(L_{m,k})| = 1$ elde edilir. Öyleyse $k = 3$ olduğundan $Z(L_{m,3}) = \{[x_1, x_2]\}$ dir ve böylece $m = 2$ elde edilmiş olur.

Şimdi $m = 2$ ve $k = 3$ olsun.

$\beta \in Inn(L_{2,3})$ ise

$$\beta = e^{adu}(x_i) = x_i + [x_i, u]$$

formunda olup $u \in \gamma_1(L_{2,3})$ dir. Önerme 2.3 ten $\beta \in Aut_C(L_{2,3})$ dir.

$\beta \in Aut_C(L_{2,3})$ alalım.

$$\beta(x_i) = x_i + [x_j, x_k], \quad j, k, i \in \{1,2\}$$

şekindedir. j, k ve i nin alabileceği tüm değerler için β iç otomorfizmdir. Böylece

$$Aut_C(L_{2,3}) = Inn(L_{2,3})$$

elde edilmiş olur.


KAYNAKÇA

- [1] J. E. Adney, T. Yen, "Automorphisms of p-groups", Illinois J. Math. 9, pp. 137-143, 1965.
- [2] M. S. Attar, "On central automorphisms that fix the centre elementwise", Arch. Math., vol. 89, pp. 296-297, 2007.
- [3] M. J. Curran, "Finite groups with central automorphism group of minimal order", Math. Proc. R. Ir. Acad., vol. 104, no. A2, pp. 223-229, 2004.
- [4] M. J. Curran, D. J. McCaughnan, "Central automorphisms that are almost inner", Communications in Algebra, vol. 29, no. 5, pp. 2081-2087, 2001.
- [5] M. Drensky, "Automorphisms of free nilpotent Lie algebras Can. J. Math., vol. 13, no. 2, pp. 259-279, 1990.
- [6] Z. Esmerligil, "On central automorphisms of free center-by-metabelian Lie algebras", IARJSET, vol. 3, no. 7, 2016.
- [7] Ş. Fındık, "Normal and normally outer automorphisms of free metabelian nilpotent Lie algebras", Serdica Math. J, 36, pp. 170-210, 2010.
- [8] G. Mashevitzky, B. Plotkin, E. Plotkin, "Automorphisms of the category of free Lie algebras", Journal of Algebra, vol. 283, no. 2, pp. 490-512, 2004.
- [9] Ö. Öztekin, N. Ekici, "Central automorphisms of free nilpotent Lie algebras", Journal of Algebra and its Applications, Doi. 1750205., 2016.
- [10] V. Romankov, "On the automorphism group of a free metabelian Lie algebra", International Journal of Algebra and Computation, vol. 18, no. 1, pp. 1-18, 2008.

Ahşap Yapıların Birleşim Bölgelerinde Karbon Elyaf Takviyeli Polimer Levhaların Kullanımının Araştırılması

*¹Abdullah Alshegri, ²Tahir Akgül

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,
alshegriabdullah@gmail.com,

²Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
tahirakgul@subu.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 26.01.2019

Kabul Tarihi: 17.07.2019

Öz


Son yıllarda güçlendirme çalışmalarında sıklıkla kullanılan karbon elyaf takviyeli plastik levhaların ahşap yapıların birleşim bölgelerinde kullanımı incelenmiştir. Bilindiği üzere ahşap yapıların birleşim bölgelerinde çelik levha kullanımı sıkça rastlanan bir uygulamadır. Ancak ahşapta bulunan doğal nem nedeniyle çelik levhalar kolayca korozyona uğramakta, bu nedenle ahşap yapıların birleşim bölgelerindeki ahşap zamanla çürümekte ve ahşap yapıların ömrünü kısaltmaktadır. Yapılan bu çalışmayla çelik levhalar yerine korozyona uğramayan CFRP (karbon elyaf takviyeli plastik) kullanımının mekanik dayanım açısından uygunluğu araştırılmıştır. Bu çalışmada; kermeli boy birleştirme numuneleri, uç uca boy birleştirme, L tipi, T tipi ve 45° gönye numunelerinden hazırlanmıştır. 6 'şar adet hazırlanan bu numuneler çekme (boy birleştirme numuneleri için) ve konsol eğilme (L, T ve 45° gönye numuneleri için) deneyine tabi tutulmuştur. Aynı cinsten numunelere ait sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çekme deney sonucunda karbon elyafı güçlendirilen numunelerin dayanımı çelik levhalarla güçlendirilen numunelerin dayanımına göre kermeli boy birleştirmede % 44 ve uç uca boy birleştirmede % 26 arttığı tespit edilmiştir. Konsol eğilme deney sonucunda karbon elyafı güçlendirilen numunelerin dayanımı çelik levhalarla güçlendirilen numunelerin dayanımına göre L birleştirmede %60, T birleştirmede % 67 ve 45° gönyeli birleştirmede % 80 arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karbon Elyaf Takviyeli Plastik (CFRP), Ahşap, Kermeli Boy Birleştirme, Çekme Dayanımı, Konsol eğilme

Investigation of Used of Carbon Fiber Reinforced Polymer Sheets in Joints of Wooden Structures

*¹Abdullah Alshegri, ²Tahir Akgül

¹Sakarya University of Applied Sciences, Graduate Education Institute,
alshegriabdullah@gmail.com,

Sakarya University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Civil Engineering,
tahirakgul@subu.edu.tr, 

Abstract

In recent years, the usage of carbon fiber reinforced plastic sheets which are frequently used in reinforcement works in the joints of wooden structures were investigated. As it is known, the use of steel plates in the joints of wooden structures is a common application. However, due to the inherent moisture in the wood, the steel plates are easily corroded, so the wood in the joints of the structures decays and shortens the life of the wooden structures. In this study, the suitability of the use of noncorrodible CFRP (carbon fiber reinforced plastic) instead of steel sheets in terms of mechanical strength was investigated. In this study, Longitudinal Notched Lap Joint samples from end-to-end on length, L type, T type and 45° miter samples were prepared. 6 specimens of each sample were subjected to tensile test (for Longitudinal Notched Lap Joint samples) and console bending (for L, T and 45° miter samples). The results of the specimens in each sample type were compared with each other. As a result of the tensile test, the strength of carbon fiber-reinforced samples was found to increase 44% for the Longitudinal Notched Lap Joint samples and 26% in end-to-end joining samples and 9% in tongued longitudinal joining samples, according to the strength of the samples reinforced by steel plates. As a result of the console bending test, the strength of the carbon fiber reinforced samples was found to increase by 60% in the L-joining, 67% in the T-joining and 80% in the 45° miter joint samples according to the strength of the steel plates reinforced samples.

Keywords: Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP), Wood, Longitudinal Notched Lap Joint, Tensile Strength, Console bending.

1. GİRİŞ

Son zamanlarda ahşap yapıların güçlendirilmesinde çelik ve betonarme yapıların güçlendirilmesinde olduğu gibi FRP uygulamaları kullanılmaya başlanmıştır. Ahşap yapılarda birleştirme türüne göre eleman boyutlandırılmaktadır. Yüksek performanslı birleştirme sistemlerinin kullanımındaki avantaj ise aynı dayanıklılıkta daha az hacimde malzeme kullanımını sağlamaktır. Zamanla dış etkenler ve deprem sonucu oluşan hasarları gidermek, restorasyon yaparak yapının yük taşıma kapasitesini arttırmak, tasarımda yapılan hatalar sonucu ortaya çıkan erken yorulma ve oluşacak kırılmaların önüne geçmek gibi sebeplerden ahşap yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir. [1]. Türkiye deprem bölgesinde olduğundan dolayı, deprem sonucunda zarar gören yapıların onarım ve güçlendirme yöntemlerinin zaman içerisinde geliştirme zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda depreme dayanıklı yapı ortay için ilerleyen süreçlerde farklı yönetmelikler çıkartılmaktadır.[2-3]. Ülkenin farklı şehirlerinde uzun yıllar önce yapılmış ahşap yapılarda doğal etkilerden dolayı kaçınılmaz bir yıpranma görülmektedir. Durabilite elde etmek için ahşap yapıların zayıf bölgeleri ve özellikle birleştirme bölgeleri güçlendirilmelidir. Bu güçlendirme Ahşap yapıların birleştirme bölgelerinde çekme ve eğilme yüklere karşı çelik levhalar kullanılmaktadır.[4]. Ahşap yapılarda istenen dayanımı sağlayacak tasarım, uygun birleştirme detaylarına bağlıdır. Ahşap birleştirmeler ahşabın farklı açılarla birbirine bağlanması ve uygun birleştirme eleman kullanımı sonucunda meydana gelmektedir. Ahşap birleştirme teknikleri genel olarak, yan yana (enine), uç uca (boyuna), köşe ve T- tipi birleştirmeler olarak sıralanabilir. Bu birleştirme teknikleri çeşitli taşıyıcı sistemlerin oluşturulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. [5]. Ahşap yapıların birleştirme bölgelerinin büyük yüklere maruz kalması durumunda çözüm olarak günümüzde metal plaka kullanımı yaygındır. Ancak ahşabın doğası gereği nemli bir malzeme olmasından dolayı metali kolayca korozyona uğrayabilmektedir. Öte yandan korozyona uğrayan metal birleşim yüzeylerinde ahşabı kısa zamanda çürütmesine neden olmaktadır. Bu nedenle Ahşap yapılarda metal kullanımı yapıların durabilitesi açısından problem teşkil etmektedir. Günümüze kadar ulaşan birçok karakteristik tarihi ahşap yapıların birleşim detayları incelendiğinde mümkün olduğunca metal çivi, bulon ve levha kullanılmadığı görülmektedir [6]. Günümüzde tarihi ahşap yapıların uzun süre ayakta kalabilmesi ve dayanımı konusunda birçok bilimsel çalışma bulunmaktadır. Öte yandan araştırmacılar, ahşap yapılar üzerine elyaf takviyeli plastiklerle güçlendirmeler konusunda çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar incelendiğinde; Premrov, M ve arkadaşları: karbon elyafı güçlendirilmiş ahşap iskeletli yapının analizi üzerine yapılan çalışmalarda, Ahşap plakaları 75 mm'lik karbon fiber takviyeli plastikler ile güçlendirme neticesinde % 50 oranında daha yüksek mukavemet tespit edilmesidir [7]. Başka bir çalışmada ise; dört tür ağaçtan alınan numuneler epoksi kullanılarak CFRP ile güçlendirilmiş ve bu numuneler hızlandırılmış yaşlanma testine tabii tutulmuşlardır. Deney sonucunda mukavemetin ağaç yoğunluğu ile doğru orantılı artış gösterdiğini ve çekme

mukavemetinin 0.15_0.25 kg/m² arasında değer aldığı saptanmıştır [8]. Bir diğer çalışma ise ahşap yapıların kirişleri CFRP kullanarak güçlendirilmiş, hazırlanan numuneler eğilme deneyine tabii tutulmuşlardır. Sonuç olarak kirişlerin eğilme mukavemeti % 44 artarken teorik analiziyle % 5.05 hata payı kullanarak % 39 aratacağı tahmin edilmiştir [9]. Martin Sviták ve arkadaşları yaptıkları çalışma ise Karbon elyaf kullanarak ahşabı güçlendirme imkanı incelediler, numuneler burkulma testine tabii tutularak 4 noktaya yük uygulandı. Deneyle sonucunda numunelerin mukavemeti %17 oranında arttığı görülmüştür [10]. Lugginve Bergmeister yaptıkları çalışma ise ahşap elemanlarına lifler istikametinde epoksi sürerek ve CFRP kullanarak güçlendirilmiş ve kesme üzerine çalışmalar yapmışlardır. Deneysel çalışmalar neticesinde % 32 oranda iyileşme gözlemlenmiştir [11]. Borri, A., ve Corradi yaptıkları çalışma ise ahşap yapı elemanları karbon elyaf kullanarak güçlendirilmiş ve yük altında davranışları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda bulunan ahşap yapı elemanın lineer olmayan modeller ile sanılan yük değeri mukayese edilmiştir [12]. Pupsys Tomas ve arkadaşları yaptıkları çalışma ise Ahşap kirişler, cam elyaf ve vidalarla güçlendirmişlerdir. Hazırlanan numuneler farklı dört noktada eğilme testine tabii tutulmuşlardır. Deneysel çalışmalar, güçlendirme yönteminin etkinliğini göstermiştir. Bu yüzden yeni inşa edilecek yapılarda ve ahşap yapıların restorasyonda kullanılmaktadır [13]. Yashida Nadir ve arkadaşları yaptıkları çalışma ise Karbon elyaf ile takviye edilmiş polimer kullanarak ahşap kirişleri güçlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre çekme mukavemeti %36 ve %64 oranlarında arttığı gözlemlenmiştir. Bu oranlar takviye oranlarının sırasıyla %1.67 ve %3.33 olduğunda elde edilmiştir [14]. Muratoğlu yaptığı çalışma ise sarıçam odundan hazırlanan numuneler CFRP ile epoksi kullanılarak güçlendirilmiştir. Numuneler statik eğilme deneyine tabii tutulmuştur. Sonuç olarak güçlendirilen numunelerinde %108,66 daha iyi statik eğilme direnci olduğu sonucuna ulaşmıştır [15]. Peter A ve arkadaşları yaptıkları çalışma ise farklı ahşapların yüksek performanslı boy birleştirmelerine dayalı çalışmalar yapmışlardır. Birleştirme bölgelerine cam elyaf sararak ve bu numuneleri çekme testine tabii tutarak deney sonucunda elde edilen gerilme _ birim deformasyon grafikleri yüksek performans gösterilmiştir [16].

J.P. Reis ve arkadaşları yaptıkları çalışma ise Karbon elyaf ile birleştirilen polimer şeritlerle güçlendirilmiş ahşap kirişler üzerinde çeşitli deneyler yapmışlardır. En iyi sonuçları elde etmek için numuneleri farklı yüksekliklerde hazırlamışlardır. Numuneler üç eksenli eğilme deneyine tabii tutulmuştur. Elde edilen verilere göre dört katman karbon plaklarla dış takviye yapılması ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir [17]. Yukardaki çalışmalar incelendiğinde Genellikle taşıyıcı sistem elemanları çekme, basınç ve eğilme kuvvetlerine maruz kalan elemanlar üzerinde FRP'lerle güçlendirme yapıldığı görülmektedir. Bu tür çalışmalarda FRP kullanımının yaygınlığı, FRP'nin özelliklerinin metalin özelliklerine göre daha estetik, daha hafif, daha esnek ve korozyona daha dayanıklı olmasıdır. Bu çalışmada çekme ve eğilme kuvvetlerine maruz kalan ahşap

taşıyıcı sistemlerin CFRP levhalar ile güçlendirilecektir. İlk olarak epoksi ve bulon kullanarak birleştirilmiş ham ahşap numuneler ve metal levhalar kullanarak güçlendirilmiş ahşap numunelerin mekanik dayanımı tespit edilmiş, Daha sonra karbon elyaf levhalar kullanarak güçlendirilen numunelerle karşılaştırılmıştır. Böylece ahşap yapılarda metal birleşim elemanları yerine Karbon elyaf takviyeli plastik (CFRP) levha kullanılması araştırılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Ahşap

Numuneler hazırlandığında kullanılan kurutulmuş, lifleri düzgün, budaksız, kusursuz, mantarlar ve böcekler tarafından zarara uğramamış 1.sınıf sarıçam, Sakarya bölgesindeki kereste firmalardan elde edilmiş ve rastgele seçim yöntemi ile seçilmiştir. Açık havada kurutulmuş ahşabın nem oranı 15 ± 3 aralığında, ortalama yoğunluğu $0,526 \text{ g/cm}^3$, liflere paralel yönde basınç direnci 54 N/mm^2 , liflere dik yönde basınç direnci 77 N/mm^2 , elastikiyet modülü 11700 N/mm^2 , Eğilme direnci 98 N/mm^2 ve Çekme direnci 102 N/mm^2 . Numuneler, yapılacak deneyler dikkate alınarak lif yönlerine uygun kesilerek hazırlanmıştır. [18,20]

2.2. Karbon Elyaf Takviyeli Plastikler (CFRP)

Numunelerin hazırlanmasında kullanılan karbon elyaf levhalar, birbirine dik, çift doğrultuda elyaf ile üretilen 2 mm'lik kalınlıkta ve uygun boyutlarda kesilerek temin edilmiştir. Karbon elyaf düşük yoğunluğa sahip (1.8 g/cm^3), çelikten 5.2 kat daha hafif ve nemden etkilenmez ve bu sayede sınırsız raf ömrüne sahip, sürtünme ve yorulma mukavemeti çok yüksek ve ısıya karşı boyutsal stabilite, yüksek çekme dayanımına (germe dayanımı $3450-4850 \text{ GPa}$) sahip bir malzemedir. Karbon elyaf sahip olduğu bu özellikler için gerek onarım ve gerek güçlendirme çalışmalarında tercih edilmektedir. [19]

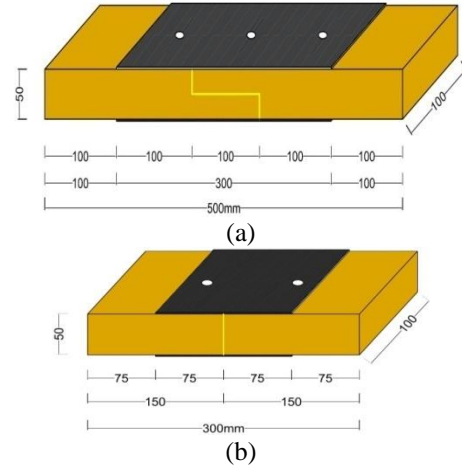
2.3. Epoksi

Kullanılan iki bileşenli epoksi, diğer termoset plastikler gibi belli süre sonra sıvı halden katı hale geçen ve takip eden bir iki hafta içinde kuruyarak nihai sertliğe ulaşan ve ahşap yapılarda kullanıma uygun bir epoksi çeşididir. Cam veya karbon elyaf ile kombinasyonu yüksek mekanik dayanıma sahiptir, Yüksek aşınma direncine sahip, uçucu olmayan ve kimyasal dirençleri yüksektir, düşük ve yüksek sıcaklarda sertleşebilme özelliğine de sahiptir. Eğilmede Çekme Dayanımı min 25 N/mm^2 ve basınç Dayanımı min 90 N/mm^2 . Bu sayede uzay ve havacılık teknolojilerinde, otomotiv, medikal, denizcilik ve inşaat alanında sıklıkla kullanılır [19].

2.4. Numuneleri Hazırlanması

2.4.1. Çekme Deney Numuneleri Hazırlanması

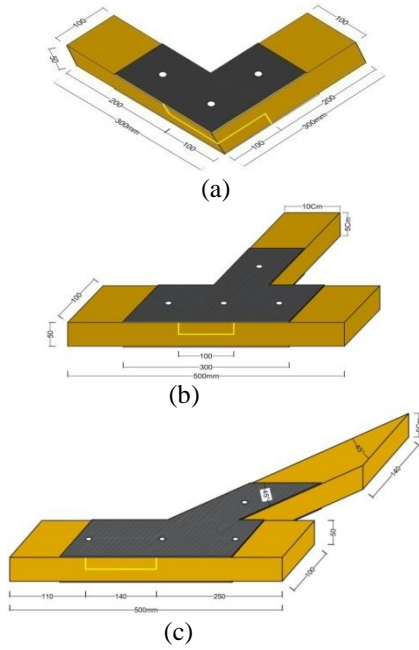
Numuneleri hazırlamak için $5*10 \text{ cm}$ boyutlarında, 20 cm ve 30 cm uzunluğunda 1.sınıf çatlaksız ve budaksız sarıçam ahşap kesilip Etüvde $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 24 saat bekletilmiştir. Her grup numune çeşidi için 6 'şar numune hazırlanmıştır. Güçlendirme işleminde kullanılan levhalar kermeli boy birleştirmeleri için 30 cm ve uç uca birleştirmeleri için 15 cm uzunluğunda kesilmiştir. Kermeli boy birleştirme için kesilen $5*10*30 \text{ cm}$ masif ahşabın ucundan $2.5*10 \text{ cm}$ boyutlarında ve 10 cm uzunluğunda bir parça çıkarılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler uç uca birleştirilerek kullanılacak malzeme çeşitlerine göre 6 'şar numune üretilmiştir. Şekil 1(a) gösterdiği gibidir. Uç uca birleştirme numunelerinin hazırlanmasında kesilen $5*10*20 \text{ cm}$ masif ahşabın uç uca epoksi sürerek yapıştırılarak kullanılacak malzeme çeşitlerine göre 6 'şar numune üretilmiştir. Şekil 1(b) gösterdiği gibidir. Tüm numuneler hazırlandıktan sonra işkenceler kullanılarak 72 saat preslenmiştir.



Şekil 1. Karbon elyaf levhalar kullanarak hazırlana boy birleştirme numuneleri

2.4.2. Konsol Eğilme Deney Numunelerinin Hazırlanması

Güçlendirme işleminde kullanılan levhalar farklı tiplerde, (L, T ve 45°) kesilmiştir. Numuneleri hazırlamak için $5*10 \text{ cm}$ boyutlarında ve 30 cm ve 50 cm uzunluğunda 1.sınıf çatlaksız ve budaksız sarıçam ahşap kesilip etüvde $105 \text{ }^\circ\text{C}$ de 24 saat bekletilmiştir. L tipi birleştirme hazırlanmasında kesilen $5*10 \text{ cm}$ boyutlarında ve 30 cm uzunluğunda masif ahşap L şeklinde üst üste yerleştirilerek hazırlanmıştır. Sonra blonlu, metal levhalı ve karbon levhalı numunelerinden 6 'şar numune üretilmiştir (Şekil 2.a). T. tipi birleştirme hazırlanmasında kesilen farklı uzunluktaki iki parça masif ahşap kertilmiş, Kesilen ahşap T şeklinde üst üste yerleştirilerek hazırlanmıştır. Sonra blonlu, metal levhalı ve karbon levhalı numunelerinden 6 'şar numune üretilmiştir. (Şekil 2.b) 45° gönyeli birleştirme hazırlandığında kesilen iki düz ahşap (50 cm uzunluğunda) parçaların birinin ucundan ve diğerinin ortasından kertilerek, ahşaplar 45 derece açıyla üst üste yerleştirilerek hazırlanmıştır. Sonra blonlu, metal levhalı ve karbon levhalı numunelerinden 6 'şar numune üretilmiştir. (Şekil 2.c)



Şekil 2. Karbon elyaf levhalar kullanarak hazırlanan köşe birleştirme numuneleri

Tüm numuneler hazırlandıktan sonra işkenceler kullanılarak 72 saat preslenmiştir. Hazırlanan tüm numuneler ilgili Türk standartlarında verilen talimatlara uygun olmasına özen gösterilmiştir. [18,20,21,22]

2.5. Deney Yöntemleri

Deneylerde, numunelere lif doğrultusunda çekme gerilmesi uygulanarak yüke karşılık gelen uzama/sehim değerleri bilgisayar ortamında kaydedilmiştir [23]. Edilen bu değerler kullanılarak Çekme gerilmeleri, birim deformasyon ve moment etkileri hesaplanmıştır. Çekme deneylerine ait gerilme-deformasyon grafikleri konsol eğilme deneylerinde ise yük sehim değerleri grafikleri çizilmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

3.1. Çekme Deney Sonuçları

6 'şar adet hazırlanan numuneler 50 ton' luk çekme cihazında çekme deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlarına göre standart sapma dikkate alınarak her gruptan en az 4' er numune hesaba katılmıştır.

Numuneler çekme makinesinin çeneleri arasında alt ve üstten sıkıştırarak çeneler arası mesafe değerleri ve yükleme hızı TS 2475' e uygun olması dikkate alınmıştır [13] (Şekil 3).



Şekil 3. Çekme deneyine tabi tutulmuş kertmeli ve uç uca boy birleştirme numuneleri

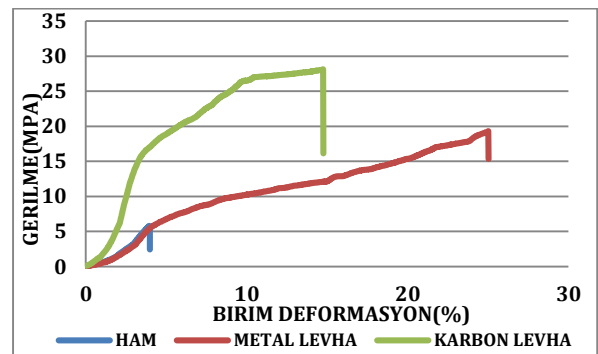
a) Kertmeli Boy Birleştirme

Deneyler sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından CFRP ile güçlendirilmiş numuneler ve metal plakalı ve ham numunelere ait gerilme değerleri ve ortalama gerilme değerleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Kertmeli boy birleştirme gerilme ve ortalama gerilme değerleri tablosu

NumuneAdı	N1 (Mpa)	N2 (Mpa)	N3 (Mpa)	N4 (Mpa)	Ort (Mpa)
Ham	5.389	4.807	6.552	5.490	5.562
Metal levha	19.283	18.181	20.648	19.321	19.358
CFRP levha	29.968	25.696	27.292	27.775	

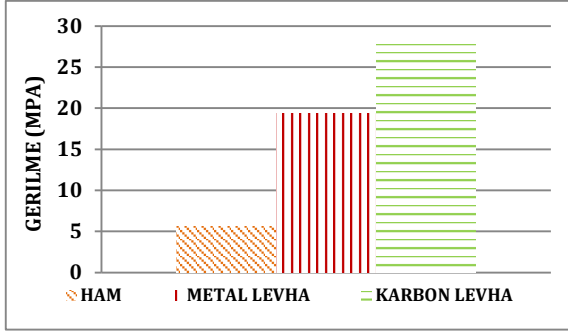
Tablo 1, incelendiğinde ham numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 5.562 Mpa olduğu, Metal numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 19.358 Mpa olduğu, CFRP numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 27.775 MPa olduğu tespit edilmiştir. Her birleştirme numunelere ait ortalama grafiklerin birbiriyle karşılaştırılması için aynı grafik üzerinde verilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Kertmeli boy birleştirme numunelerinin ortalama gerilme-birim deformasyon grafiği

Elde edilen karbon elyaf kullanarak hazırlanan numunelerin değerleri diğer numunelerle karşılaştırıldığında Şekil 5'te görüldüğü gibi karbon elyaf levha numunelerin ham olanlardan 4 katı daha yüksek mukavemete sahip olduğu ve

metal levha numunelerinden 44 % daha yüksek mukavemete sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. Kertmeli boy birleştirme numunelerine ait ortalama gerilme değerleri

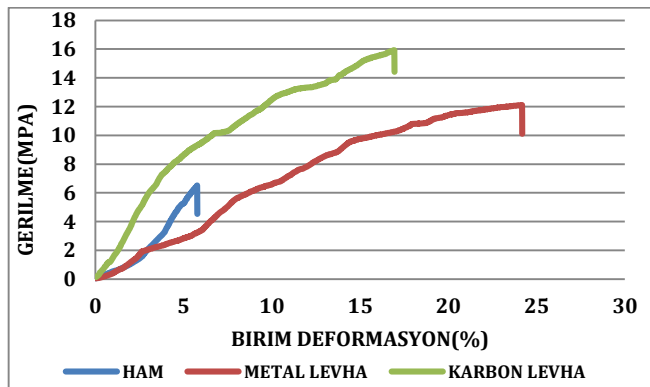
b) Uç Uca Boy Birleştirme

Deneyler sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından CFRP ile güçlendirilmiş numuneler ve metal plakalı ve ham olanlara ait gerilme değerleri ve ortalama gerilme değerleri Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Uç uca boy birleştirme gerilme ve ortalama gerilme değerleri tablosu

Numune Adı	N1 (Mpa)	N2 (Mpa)	N3 (Mpa)	N4 (Mpa)	Ort (Mpa)
Ham	6.623	5.659	5.522	6.274	6.082
Metal levha	12.509	12.320	12.100	12.060	12.293
CFRP levha	16.4628	15.012	14.317	15.925	15.428

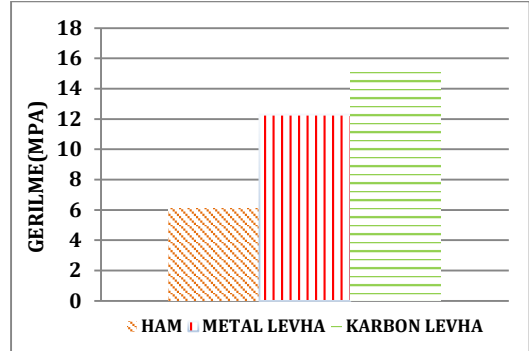
Tablo 2, incelendiğinde ham numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 6.082 Mpa olduğu, Metal kontrol olanlarda ortalama çekme gerilmesinin 12.293 Mpa olduğu, CFRP numunelerinde ise ortalama çekme gerilmesinin 15.428 MPa olduğu tespit edilmiştir. Her birleştirme numunelere ait ortalama grafiklerin birbiriyle karşılaştırılması için aynı grafik üzerinde verilmiştir. (Şekil 6).



Şekil 6. Uç uca boy birleştirmenin ortalama gerilme-birim deformasyon grafiği

Elde edilen karbon elyaf kullanarak hazırlanan numunelerin değerleri diğer numunelerle karşılaştırıldığında Şekil 7'de

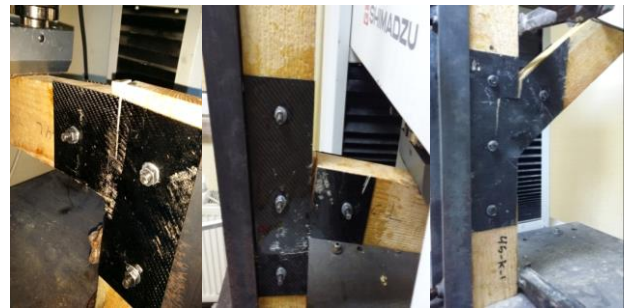
görüldüğü gibi karbon elyaf levhalarının ham olanlardan 154 % daha yüksek mukavemete sahip olduğu ve metal levha numunelerinden 26 % daha yüksek mukavemete sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7. Uç uca boy birleştirme numunelerine ait ortalama gerilme değerleri

3.2. Konsol Eğilme Deneyi Sonuçları

6 'şar adet hazırlanan numuneler 50 kN masaüstü çekme-eğilme cihazında konsol eğilme deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlara göre standart sapma dikkate alınarak her gruptan en az 4' er numune hesaba katılmıştır. Hazırlanan numuneler çekme-eğilme cihazında özel olarak tasarlanan deney düzeneğine yerleştirip işkenceler vasıtasıyla sıkıştırarak yükleme hızı TS 2474'e uygun olması dikkate alınmıştır [24]. Teste tabi tutulan numuneler Şekil 8 da verilmiştir.



Şekil 8. Konsol eğilme deneyine tabi tutulmuş L-T-45° Gönye tipi birleştirme numune

a) L tipi birleştirme

Deneyler sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından CFRP ile güçlendirilmiş numuneler ve kontrol numunelere ait moment değerleri ve ortalama moment değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

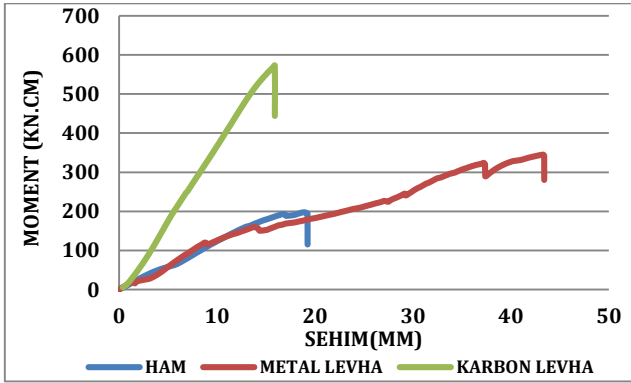
Tablo 3, incelendiğinde ham Kontrol numunelerinde ortalama eğilme momentinin 194.12 kN.cm olduğu görülmektedir. Metal kontrol numunelerinde ortalama eğilme momentinin 343.76 kN.cm olduğu görülmektedir. CFRP numunelerin de ortalama eğilme momentinin 549.12 kN.cm olduğu tespit edilmiştir. Her birleştirme numunelere

ait ortalama grafiklerin birbiriyle daha rahat karşılaştırılması için aynı grafik üzerinde verilmiştir (Şekil 9).

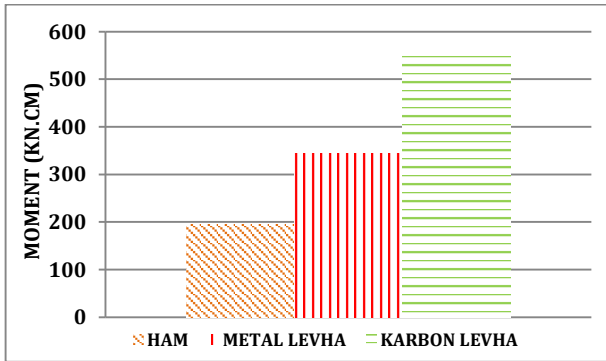
Tablo 3. L birleştirme konsol eğilme deneyi sonucunda moment değerleri tablosu

Numune Adı	N1 (kNcm)	N2 (kNcm)	N3 (kNcm)	N4 (kNcm)	Ort (kNcm)
Ham	191.76	192.44	193.73	198.55	194.12
Metal levha	372.85	337.84	323.83	340.50	343.76
CFRP levha	567.66	467.11	584.05	577.65	549.12

L birleştirmede elde edilen moment değerler kontrol numuneleri moment değerleriyle karşılaştırıldığında Şekil 10'da görüldüğü gibi karbon elyaf levhaların ham olanların momentine göre % 183 ve metal levha numunelerinin momentine göre % 60 arttığı görülmüştür.



Şekil 9. L tipi birleştirmenin ortalama moment-sehim grafiği



Şekil 10. L tipi birleştirme numunelerine ait ortalama moment değerleri

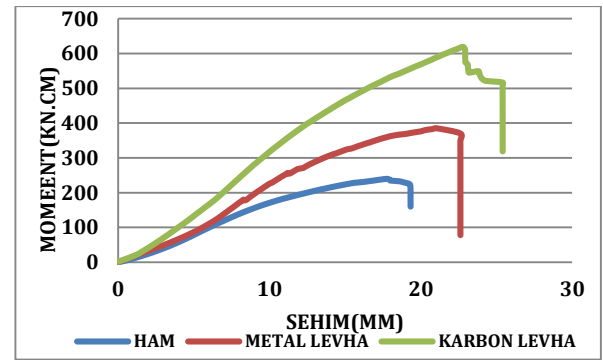
b) T tipi birleştirme

Deneyler sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından CFRP ile güçlendirilmiş numuneler ve kontrol numunelere ait moment değerleri ve ortalama moment değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. T birleştirme konsol eğilme deneyi sonucunda moment değerleri tablosu

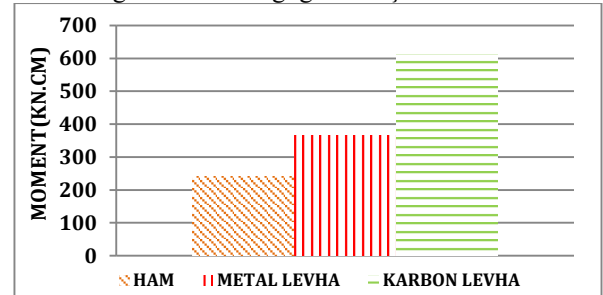
Numune Adı	N1 (kNcm)	N2 (kNcm)	N3 (kNcm)	N4 (kNcm)	Ort (kNcm)
Ham	235.31	249.22	223.60	249.47	239.40
Metal levha	385.93	377.84	351.86	353.76	367.35
CFRP levha	555.66	609.85	570.97	704.37	610.21

Tablo 4, incelendiğinde ham Kontrol numunelerinde ortalama eğilme momentinin 239.40 kN.cm olduğu görülmektedir. Metal kontrol numunelerinde ortalama eğilme momentinin 367.35 kN.cm olduğu görülmektedir. CFRP numunelerin de ortalama eğilme momentinin 610.21 kN.cm olduğu tespit edilmiştir. Her birleştirme numunelere ait ortalama grafiklerin birbiriyle daha rahat karşılaştırılması için aynı grafik üzerinde verilmiştir. Şekil (11)



Şekil 11. T tipi birleştirmenin ortalama moment-sehim grafiği

T birleştirmede Elde edilen moment değerler kontrol numuneleri moment değerleriyle karşılaştırıldığında Şekil 12'te görüldüğü gibi karbon elyaf levhaların ham olanların momentine göre % 155 ve metal levha numunelerinin momentine göre % 67 arttığı görülmüştür



Şekil 12. T tipi birleştirme numunelerine ait ortalama moment değerleri

c) 45° gönye tipi birleştirme

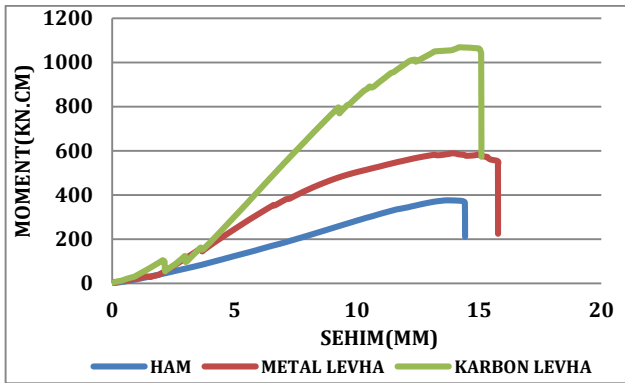
Deneyler sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından CFRP ile güçlendirilmiş numuneler ve kontrol numunelere ait moment değerleri ve ortalama moment değerleri Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. 45° gönye birleştirme konsol eğilme deneyi sonucunda moment değerleri tablosu

Numune Adı	N1 (kNcm)	N2 (kNcm)	N3 (kNcm)	N4 (kNcm)	Ort (kNcm)
Ham	371.12	348.05	370.37	391.50	370.26

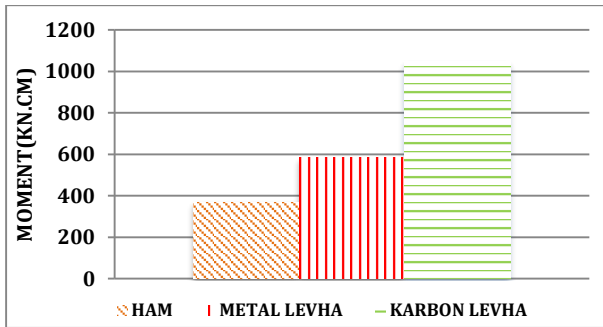
Metal levha	579.95	584.66	700.0	475.77	585.11
CFRPlevha	1060.08	957.66	1059.65	1118.23	1048.90

Tablo 5, incelendiğinde ham Kontrol numunelerinde ortalama eğilme momentinin 370.26 kN.cm olduğu görülmektedir. Metal kontrol numunelerinde ortalama eğilme momentinin 585.11 kN.cm olduğu görülmektedir. CFRP numunelerin de ortalama eğilme momentinin 1048.90 kN.cm olduğu tespit edilmiştir. Her birleştirme numunelere ait ortalama grafiklerin birbiriyle daha rahat karşılaştırılması için aynı grafik üzerinde verilmiştir. Şekil (13)



Şekil 13.45° gönye tipi birleştirmenin ortalama moment-sehim grafiği

45° gönyeli birleştirmede Elde edilen moment değerleri kontrol numuneleri moment değerleriyle karşılaştırıldığında Şekil 14'de görüldüğü gibi karbon elyaf levhaların ham olanların momentine karşı % 184 ve metal levha numunelerinin momentine karşı % 80 arttığı görülmüştür.



Şekil 14. 45° gönye tipi birleştirme numunelerine ait ortalama moment değerleri

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma sonucunda, çekme ve konsol eğilme deneyine tabi tutulan numunelerin performansları incelendiğinde; deneysel çalışmalar sonucunda aşağıdaki değerlendirmeler ortaya çıkmıştır;

Çekme deneyinde karbon elyaf levhalar kullanarak güçlendirilen numunelerin dayanımı, metal levhalar kullanarak güçlendirilen numunelerin dayanımına göre kermeli boy birleştirmede % 44 ve uç uca boy birleştirmede % 26 arttığı tespit edilmiştir. Üç uca boy

birleştirme numunelerinin iki blonla hazırlandığı ve birleştirme bölgeleri uç uca olduğu için buna ait dayanımı kermeli boy birleştirme dayanımından daha küçük olduğu ortaya çıkmıştır. Yashida Nadir ve arkadaşları [14] yaptığı çalışmada çekme dayanımı % 36 oranında artış gözlemlenmiş olup, bizim çalışmada tespit ettiğimiz orana yakın bir sonuç olduğu gözlenmiştir.

Konsol eğilme deneyinde karbon elyaf levhalar kullanarak güçlendirilen numunelerin dayanımı, metal levhalar kullanarak güçlendirilen numunelerin dayanımına göre L birleştirmede %60, T birleştirmede % 67 ve 45° gönyeli birleştirmede % 80 arttığı tespit edilmiştir. T tipi numunelerinin 4 bulona kullanılarak işlenmesi ve yükün dik yönünde bulunan iki engel nedeniyle bu numunelerdeki sonuçlar, sadece 3 blonla birleştirilmiş L tipi numunelere göre daha büyük sonuçlar elde edilmiştir. 45° gönye birleştirme numunelerinin 4 blonla hazırlandığı ve birleşim bölgelerinin boyutları diğer numunelerinden (L ve T tipi) daha büyük olduğu için bunun dayanımı daha yüksek tespit edilmiştir. Muratoğlu yaptığı çalışmada[15] % 108,66 daha iyi statik eğilme direnci olduğu sonucuna ulaşmıştır. Ancak bu çalışma masif ahşap üzerinde yaptığı nedeniyle sonuçlarımızdan daha büyük olduğu gözlenmiştir.

Karbon elyaf levhaların her ne kadar levha kalınlıkları metal levha kalınlığıyla aynı alınsa da lif yapıları dikkate alındığından her iki doğrultuda eşit miktarda lif kullanılarak üretilen bu levhaların çekmeye çalışan lif oranı ancak levha kalınlığının yarısını oluşturmaktadır. Bu nedenle CFRP levhalarla elde edilen sonuçların aynı kalınlıktaki yani 4mm levhalar elde edilmesi durumunda daha yüksek sonuçlara ulaşacağı göz ardı edilmemelidir.

Yapılan çalışmalar sonucunda: çekme ve konsol eğilme deneylerinin sonuçları dikkate alınarak elde edilen avantajlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- CFRP levhaların korozyona uğramaması göz önünde bulundurulduğunda ahşap yapıların birleştirme bölgelerinde korozyondan dolayoluşacak çürüme olayı tamamen ortadan kaldırılabilir.
- Nem ve korozyon nedeniyle çürüyen ahşap birleşim bölgelerinde meydana gelen gevşeme ve dağılmaları engelleyerek gerilme yoğunluğu azaltılabilir. Yani ahşap birleşim bölgelerinin gerilme yoğunluğu nedeniyle zamanla oluşan gevşemelerinin engellenmesi amacıyla iki CFRP levha arasına blonlar ve epoksi yardımıyla sıkıştırılarak bu bölgelerde oluşan gevşeme ve dağılmalar engellenmiştir.
- Geleneksel güçlendirmede birleşim bölgelerinde uygulanan çelik levha, blon ve gergi çubuklarına göre CFRP birleştirme elemanlarıyla daha hafif uygulamalar yapılabilir.

- FRP'lerin istenen renk ve desende üretilebilmesi nedeniyle birleştirme bölgelerinde daha estetik bir görüntü elde edilmesi mümkündür.
- Son olarak Ahşap yapı tasarımında birleştirme bölgelerinde Karbon elyaf takviyeli levhalar kullanılarak istenilen dayanımı daha küçük malzeme kesitleri ile elde etme olanağı ortaya çıkmıştır.


Yukarda ifade edilen karşılaştırmalar ve avantajlar dikkate alındığında ahşap yapıların güçlendirmesi çalışmalarında metal levhalar yerine karbon elyaf levhaların tercih edilebilir olduğu tespit edilmiştir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Chen, C.J., Mechanical behavior of fiberglass reinforced timber joints. Ph.D Thesis N° 1940. Swiss Federal Institute of Technology Lausanne EPFL, Switzerland, 1999.
- [2]. Sarıbiyik, M., Akgül T., “GFRP Bar Element To Strengthen Timber Connection Systems” Scientific Research and Essays Vol. 5 (13), pp. 1713-1719, 4 July, 2010
- [3]. “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esasları” Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Ankara, 2018
- [4] Günay R., Geleneksel Ahşap Yapılar /Sorunları Ve Çözüm Yolları, Birsen Yayınevi, 2007.
- [5]. Eckelman, C., A., “A Look at. The Strength Design of Furniture”, Forest Product Journal, (16) 3: 21–24, 1966.
- [6]. İnternet sitesi; <http://www.haber7.com/mimari/haber/1000784-civisiz-ahsap-cami-buyuluyorErişimTarihiOcak 20, 2019>.
- [7]. Premrov, M., Dobrila, P., and Bedenik, B.S., “Analysis of timber framed walls coated with CFRP strips strengthened fibre-plaster boards”, Faculty of Civil Engineering, University of Maribor, Maribor, Slovenia, 1-12 (2003).
- [8]. HuiChuan, C., Xie, Y.M., Li, Y.F., Lin, L.D., and Tsai, M.J., “Study on the accelerated aging of CFRP-wood composites”, Forest Products Industries, EbscoHost, 24: 237-246 (2007).
- [9]. Yeou-Fong L., Xie, Y.M., and Tsai, M.J., “Enhancement of the flexural performance of retrofitted wood beams using CFRP composites”, Construction and Building Materials, Science Direct Journals, 23 (1): 411-420 (2009).
- [10]. Martin Sviták, Štefan Barčík, Jakub Ryspler, Application Of Carbon Fibers On Wood Beams. University of Life Sciences Prague Faculty of Forestry and Wood Sciences. 2015, Czech
- [11]. Luggin, W., Bergmeister, K., “Carbon fiber reinforced and pre stressed timber beams”, 2nd Int. PhD. Symposium in Civil Engineering, Budapest (1998).
- [12]. Borri, A., and Corradi, M., “A method for flexural reinforcement of old wood beams with CFRP materials”, Composites Part B: Engineering, Science Direct Journals, 36 (2): 143-153 (2005).
- [13]. PUPSYS Tomas, CORRADI Marco, BORRI Antonio and AMESS Leon. Bending Reinforcement of Full-Scale Timber Beams with Mechanically Attached GFRP Composite Plates. Dept. of Mechanical & Construction Engineering, Northumbria University, July 2017. United Kingdom,
- [14]. Yashida Nadir , Praveen Nagarajan , Mohammed Ameen , Muhammed Arif , Flexural stiffness and strength enhancement of horizontally glued laminated wood beams with GFRP and CFRP composite sheets. Department of Civil Engineering, College of Engineering Trivandrum, Thiruvananthapuram, February 2016, Kerala, India
- [15] Muratoğlu, A., (2011). Restorasyonda Ahşap Yapı Elemanlarının Karbon Fiber Takviyeli Polimerler (Cfrp) İle Güçlendirilmesi: Karabük Üniversitesi.
- [16] Peter A. Claisseu, Tim J. Davis, High performance jointing systems for timber, School of The Built Environment, Coventry University, Priory Street, Coventry, March 1998, UK
- [17]. J.P. Reis, M.F.S.F. de Moura, F.G.A. Silva, N. Dourado, Dimensional optimization of carbon-epoxy bars for reinforcement of wood beams. November 2017, Portugal
- [18] Örs Y., Keskin H., “Ağaç Malzeme Bilgisi”, Atlas Yayınları, İstanbul Temmuz, 2001.
- [19]. İnternet sitesi: www.esakimya.com.tr Erişim Tarihi: Aralık 05, 2018
- [20]. TS 2470 “Odunda Fiziksel Ve Mekanik Deneyle İlgili Numune Alma Metotları Ve Genel Özellikler”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Kasım 1976
- [21] TS 647, Ahşap Yapıların Hesap Ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1979.
- [22] TS 4499, Ahşap Birleştirmeler- Terimler Tanımlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985.
- [23]. TS 2475, Odunda Liflere Paralel Doğrultuda Çekme Gerilmesinin Tayini, TSE, Ankara, 1976.
- [24]. TS 2474, “Odunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini”, TSE., Ankara, 1976.

Türkiye İçin Bir Taşınmaz Değerleme Sistemi Yaklaşımında UML Tabanlı Veri Modeli Tasarımı

*¹Nuri Erdem

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye, nurierdem@osmaniye.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 22.05.2018

Kabul Tarihi: 15.03.2019

Öz

Türkiye taşınmaz değerlendirme sisteminin yeniden yapılandırılması aşamasında öncelikle doğru, kaliteli ve güncel verilerin kullanıldığı bir veritabanı oluşturulmalıdır. Ancak, bu verilerin gerekli istatistiksel analiz ve modelleme çalışmalarında kullanılacak formatta olması gerekir. Bu çalışmada, taşınmaz değerlendirme faaliyetlerinde kullanılması gereken veriler ve temel özellikleri belirlenmiş ve taşınmaz karakteristikleri veritabanlarının oluşturulması ile ilgili örnek bir UML tabanlı veri modeli tasarımı sunulmuştur. Model tasarımında Enterprise Architect programı ile oluşturulan UML sınıf diyagramları kullanılmıştır. Model ile temsil edilemeyecek durumdaki karmaşık ilişki ve kurallar için ayrıca açıklamalar yapılmıştır. Böylece geliştirilen modelin daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. Çalışma kapsamında; arsa, arazi, bina, konut ve işyeri olarak beş ana gruba ayrılan taşınmaz türleriyle ilgili değerlendirme aşamasında kullanılması gereken verilerin önem derecesi, mevcudiyeti, kaynağı, doğruluğu ve güncelliği gibi özellikleri kullanılarak UML tabanlı bir veri modeli tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımın temel bileşenlerini; tapu ve kadastro bilgileri, sahadan alınan veriler, imar bilgileri, taşınmaz türü detay bilgileri, çevre ve konum özellikleri, emsal satışlar, bina ve konut özellikleri, ekonomik ve demografik özellikler gibi taşınmaz ve çevresine ait bilgi paketleri oluşturmaktadır. Bu bilgi paketleri içerisindeki sayısal olmayan verilerin standardizasyonu sağlanmalı ve model bir veri-ihtiyaç analizi yapıyor şeklinde yorumlanmalıdır. Oluşturulan modelin sorunsuz işleyebilmesi için öncelikle taşınmaz değerlendirme alanındaki mevzuat altyapısı ve kurumsal yapılanmanın da ülkemize uygun bir şekilde oluşturulması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Taşınmaz Değerleme, Taşınmaz Değerleme Sistemi, Veri Modeli Tasarımı, UML.

UML-Based Data Model Design in a Real Estate Appraisal System Approach for Turkey

*¹Nuri Erdem

¹Osmaniye Korkut Ata University, Faculty of Engineering, Department of Geomatic Engineering, Osmaniye, Turkey, nurierdem@osmaniye.edu.tr

Abstract

In the stage of restructuring of Turkish real estate valuation system, firstly, a database should be created using correct, high quality and up-to-date data. However, these data should be in a format that can be used in the necessary statistical analysis and modeling studies. In this study, data and basic characteristics that should be used in real estate valuation activities have been determined and it has been presented a sample UML-based data model design for the creation of real estate characteristics databases. UML class diagrams created with Enterprise Architect program are used in model design. The complex relations and rules that cannot be represented by the model are also explained. Thus, a better understanding of the developed model has been achieved. Scope of work; a UML-based data model was designed by using the features such as importance, presence, source, accuracy and timeliness of the data that should be used in the appraisal stage related to the real estate types divided into five main groups as land, land, building, residence and workplace. The main components of this design are; information on land and cadastre, data received from the site, development information, real estate type details, environment and location characteristics, precedent sales, building and residential properties, economic and demographic characteristics and information packages. The standardization of non-numeric data in these information packages should be ensured and interpreted as a model data-needs

*Sorumlu Yazar: Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye, nurierdem@osmaniye.edu.tr, 0 328 827 10 00 Dâhili: 3705

Doi: 10.21541/apjes.426080

analysis. In order to ensure the smooth functioning of the model, the legislative infrastructure and institutional structuring in the field of real estate appraisal should be established in accordance with our country.

Keywords: Real Estate Appraisal, Real Estate Appraisal System, Data Model Design, UML.

1. GİRİŞ

Günümüzde taşınmaz sektörü ve buna bağlı olarak gelişen taşınmaz değerlerinin belirlenmesi hizmetleri, uluslararası küresel ekonomik ilişkilerin vazgeçilmez bir unsuru olmuştur. Değerleme faaliyetleri, ekonomik sistemde bir bütünün içinde geniş bir yer tutmakta ve farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Taşınmaz değerlerinin belirlenmesi işi ve bu değerlerin likidite olarak piyasada işlem görebiliyor olması, sağlıklı bir ekonomik yapının en önemli unsurlarından biridir [1].

Taşınmaz değerlemeye; vergilendirmeden kamulaştırmaya, özelleştirmeden tescile esas tüm işlemlere kadar yoğun bir şekilde ihtiyaç duyulmaktadır. Gerek bu ihtiyacın karşılanabilmesi gerekse taşınmaz piyasasının (alım-satım dayalı piyasaların) şeffaflığının sağlanabilmesi için tüm ülkelerin sağlıklı işleyen bir değerlendirme sistemlerini oluşturması ve sürdürmesi gerekmektedir. Nitekim bugün birçok ülkede, değerlendirme sistemlerinin tesis edilmesi veya iyileştirilmesi amacıyla hukuki, kurumsal ve teknik çalışmaların yürütüldüğü bilinmektedir [2, 3]. Ülkemizde de bu alanda biran önce dünya standartlarına uyumlu ve sağlıklı işleyen bir sistem oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

2. VERİ BİLEŞENLERİYLE İLGİLİ ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Türkiye taşınmaz değerlendirme sisteminin yeniden yapılandırılması aşamasında öncelikle doğru, kaliteli ve güncel verilerin kullanıldığı bir veritabanı oluşturulmalıdır. Ancak bu verilerin, gerekli istatistiksel analiz ve modelleme çalışmalarında kullanılacak formatta olması gerekir.

Çalışma kapsamında, arsa, arazi, bina, konut ve işyeri olarak beş ana gruba ayrılan taşınmaz türleriyle ilgili değerlendirme aşamasında kullanılması gereken verilerin önem derecesi, mevcudiyeti, kaynağı, doğruluğu ve güncelliği gibi özelliklerinin sorgulandığı bir anket formu hazırlanmıştır. Her bir taşınmaz türü için ayrı ayrı hazırlanan bu formlardaki değerlendirme verileri için öncelikle Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü (CBSGM) tarafından yapılan Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Standartlarının Belirlenmesi Projesi Veri Teması Uygulama Şemalarında yer alan sınıflardaki veriler esas alınmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2012) çalışmasına göre; Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi (TUCBS) projesinde oluşturulan veriler, genel olarak taşınmaz karakteristiklerini içeren kadastro ve adres veri sınıfları ile tanımlanmıştır. Ayrıca, adres bilgisi, tapu ve kadastro, ulaşım ve idari birim verileri de çoğunlukla bu proje kaynaklarından elde edilmiştir [4].

Bunun yanında, değerlemede kullanılmak üzere taşınmaz türlerine göre gerekli veriler için en önemli ikinci kaynak,

TKGM'nin toplu taşınmaz değerlendirme pilot projesinde kullanılmak üzere hazırlanan veri kaynağı tabloları olmuştur. Projede kullanılan tüm veriler tez kapsamında hazırlanmış olan veri tablolarında kullanılmıştır (Ek Tablo 1). Sonrasında, Yomralıoğlu (1993) tarafından yapılan ve değere etki eden parametrelerin bilinmesine yönelik doktora tez çalışmasında kullanılan verilerin üzerine [5], Nişancı (2005)'in doktora tez çalışmasında kullandığı veriler eklenmiştir [6]. Ertaş (2014) tarafından oluşturulan "Kırsal Alanlarda Taşınmaz Değerlemesi" isimli ders notları incelenmiş, kırsal alanlardaki taşınmazların değerini etkileyen veriler ve veri kaynakları gruplandırılmıştır [7]. Düzgün (2010) tarafından oluşturulan ve Ulusal Açık Ders Malzemeleri Konsorsiyumu tarafından kullanıma sunulan kaynak doküman da incelenmiştir [8]. Ayrıca literatürdeki diğer bilimsel çalışmalarda kullanılan anket formları, birçok değerlendirme firmasının ve bankaların uzman değerlendirme raporları incelenmiştir. Farklı değerlendirme firmalarının çok sayıda rapor örnekleri incelenmiş ve birçok değerlendirme uzmanından görüş alınmıştır. Bunun yanında konuyla ilgili diğer kaynak kitaplar, makale, bildiri ve yapılmış yüksek lisans/doktora tezleri taranarak ilgili formlardaki veriler geliştirilmiştir. Bu yolla formlara son şekli verilerek çalışmada kullanılmıştır.

Ancak, taşınmaz çeşitlerinden arazi (tarımsal amaçlı kullanım alanı) değerlendirilmesiyle ilgili Türkiye'de diğer çeşitlere nispeten çok az çalışma vardır. Tanrıvermiş (2000) tarafından yapılan çalışmada; kapitalizasyon faiz oranıyla ilgili temel yaklaşımların ülkemizde uygulanabilirliği araştırılmıştır [9]. Arazi değerlendirme verileri için hazırlanan tablolardaki bilgiler, Aliefendioğlu (2011) tarafından yapılan doktora çalışması sonuçları ve bu çalışmada kullanılan arazi formlarından elde edilmiştir [8].

Anket çalışması sırasında sorularının yanıtlanması için yüz yüze görüşmelerin daha uygun olabileceği düşünülmüş, başta Osmaniye, Adana, Mersin, Kahramanmaraş, Hatay, Kayseri ve İzmir olmak üzere ülkemizin birçok şehirlerinde görüşmeler yapılmış ve anket formları doldurulmuştur. Bu sırada özellikle kamu kurumlarında çalışanlar için kamulaştırma bilirkişi sertifikası olan harita mühendisi, şehir plancısı, inşaat mühendisi, iktisatçı ve işletmecisi gibi meslek gruplarından kişiler olması esas alınmıştır. SPK lisanslı değerlendirme şirketlerinde çalışanlar için genel müdür, yönetim kurulu üyesi veya gayrimenkul değerlendirme uzmanı olmaları istenmiştir. Ayrıca çözüm ortağı olarak çalışan teknik elemanlarla da anketler yapılmıştır.

Yüz yüze görüşme yapma imkânının olmadığı anketörler için elektronik posta yolu tercih edilmiştir. Uzun yıllar bu alanda çalışmaları olan 9 değerlendirme uzmanıyla her biri yaklaşık 2-3 saat süren yüz yüze görüşmeler yapılmıştır. Görüşmeler sırasında daha sonra çözümlemede yardımcı olması amacıyla ses kayıtları da alınmıştır. Karşılıklı

görüşme imkânı bulunamayan diğer 21 uzmandan e-posta ortamında bilgi temini sağlanmıştır. Bu kapsamda görüşmelerde; taşınmazların türüne göre (arsa, arazi, bina, konut ve işyeri) değerlendirme verileri, kalitesi, mevcudiyeti ve bileşenlerin uygunluğu yanında, önem derecesi konusunda uzmanların ayrı ayrı düşünceleri sorulmuş ve görüşler bir araya getirilerek bir orta yol bulunmuştur. Ayrıca, eğer Türkiye için yeni bir taşınmaz değerlendirme modeli oluşturulmak istenirse, bu yeni sistemde değerlendirme verilerinin üretim ve güncellenmesinden hangi kurum sorumlu olmalıdır gibi sorulara da cevap aranmıştır. Uzmanların görüş ve önerileri doğrultusunda formlardaki veriler ve özellikleri hakkında düzenlemeler (ekleme/çıkarma) yapılmış ve oluşturulan formların son şekli Ek Tablo 1’de verilmiştir.

3. UML TABANLI VERİ MODELİ TASARIMI

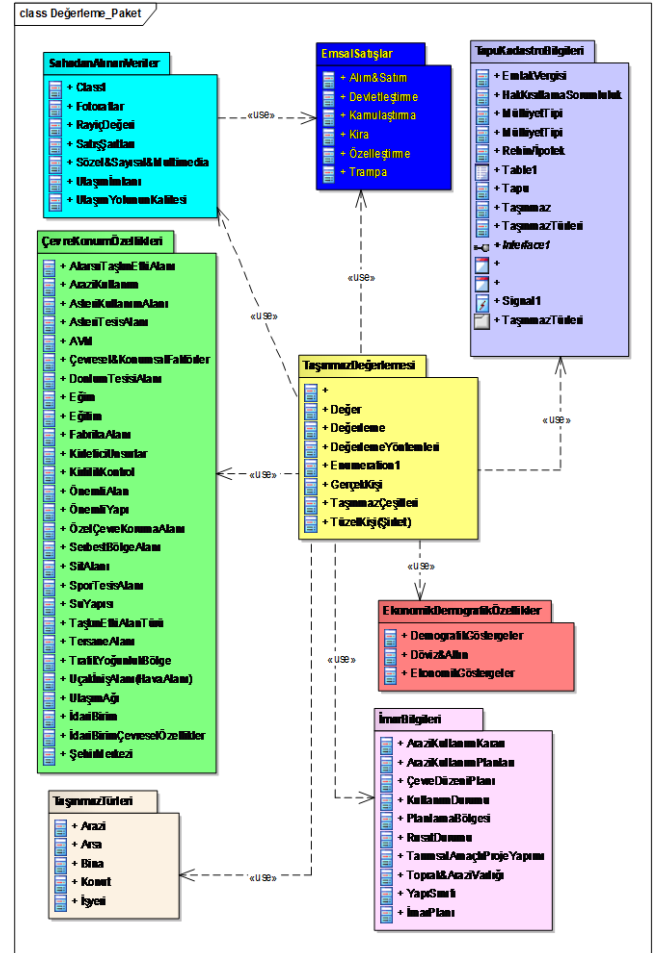
“Unified Modeling Language” İngilizce ifadenin kısaltmış şekli olan UML, nesne yönelimli tasarım çalışmaları için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [10, 11]. Günümüzde UML, birçok alandaki iş akış süreçleri için kullanılan bir modelleme dilidir [11, 12].

Öncelikle değerlemede kullanılması gereken veriler ve temel özellikleri belirlenmiştir. Bu bağlamda hem tekil hem de toplu değerlemeye de altlık oluşturabilecek verilerin kullanımı için bir UML tabanlı veri modeli geliştirilmiştir. Model tasarımında Enterprise Architect (Versiyon 7.5) programı ile oluşturulan UML sınıf diyagramları kullanılmıştır. Modelin daha iyi anlaşılabilmesi için ayrıca açıklamalar yapılmıştır. Modelin uygulanması aşamasında karşılaşılabilecek problemler için bazı alınması gereken önlemler de sunulmuştur.

Çalışmada; arsa, arazi, bina, konut ve işyeri olarak beş ana gruba ayrılmış olan taşınmazlar için değerlendirme gerekli olan veriler, veri kaynakları, verilerin kalitesi, güncelliği ve önem derecesi gibi değerlendirme verilerinin temel özelliklerinin belirlenmesinde yüz yüze anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, büyük ölçüde değerlendirme faaliyeti yürüten kamu kurumlarının İl ve Genel Müdürlüklerinde görevli uzman ve yöneticileri ile özel sektör değerlendirme uzmanlarıyla yapılmıştır. Aynı zamanda, ülkemizde değerlendirme faaliyetlerinin altyapısının güçlendirilmesi için yürütülen kamu (TKMP taşınmaz değerlendirme bileşeni) ve özel sektör çalışmalarından da yararlanılmıştır.

Önemli görülen tüm veriler, ortak özelliklere sahip nesnelerin temsil edildiği sınıflar içerisindeki öznelik verileri olarak kullanılmıştır [13]. Sahadan Alınan Veriler, Ekonomik ve Demografik Özellikler, Tapu Kadastro Bilgileri, İmar Bilgileri, Emsal Satışlar, Taşınmaz Türleri, Çevre ve Konum Özellikleri gibi diğer veri sınıflarında görsellik ve daha iyi anlaşılabilmesi açısından farklı renkler kullanılmıştır. Ayrıca, hem tekil ve hem de toplu değerlendirme çalışmalarında gerçek veya tüzel kişilerin izlenmesi gereken işlem adımları için Taşınmaz Değerleme paketi

oluşturulmuştur. Şekil 1’de görüldüğü üzere Sahadan Alınan Veriler için bu paket içerisinde *RayıçDeğeri* sınıfı oluşturularak, bu sınıf içerisinde bulunan emsal alım-satım değerleri için *EmsalSatışlar* paketi tasarlanmıştır. Bu şekilde paketler arasındaki yoğun ilişkileri tanımlamak amacıyla <<use>> ilişkisinin kurulması gerekmiştir.

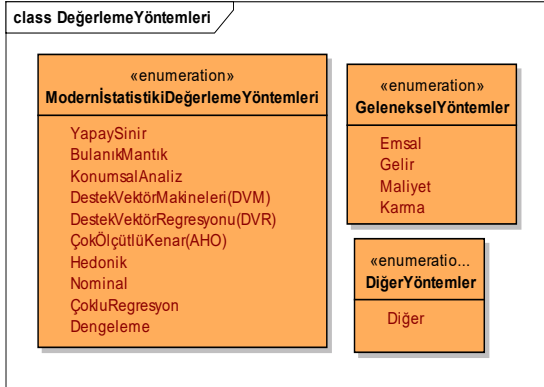


Şekil 1. Model için oluşturulan veri setlerinin genel görünümü ve aralarındaki ilişkiler ([13]’den geliştirilmiştir.)

Association (ilişkili olma), nesnelere arasında bazı anlamsal bağılıkları ifade eden fiziksel ve kavramsal bir ilişki olduğu için, çalışma kapsamında bir nesnenin kendi içerisinde bulunduğu sınıfın veya bir başka sınıfın temsil ettiği hangi nesnelere ilgisi olduğunu tanımlamak için kullanılmıştır. Generalisation (genelleme), farklı nesnelere temsil eden sınıfların ortak özellikli diğer sınıflarla gruplama suretiyle temsil edilmesi ilişkisine dayandığı için, aynı türde daha genel nesnelerin temsil edilmesinde tercih edilmiştir [11]. Tam tersi olarak, specialisation (özelleme) ise birbirinin tersi ilişkiler olup aynı türde daha özel nesnelerin temsil edilmesinde kullanılmıştır.

DeğerlemeYöntemleri sınıfında, kullanılacak değerlendirme yöntemleri için (geleneksel, modern, istatistik vb.) tanım kümeleri oluşturulmuştur (Şekil 2). *DeğerlemeTürü* sınıfında yer alan tekil veya toplu değerlendirme türlerinden

birisi seçilerek taşınmaz değerlemesinin yapılması öngörülmüştür.

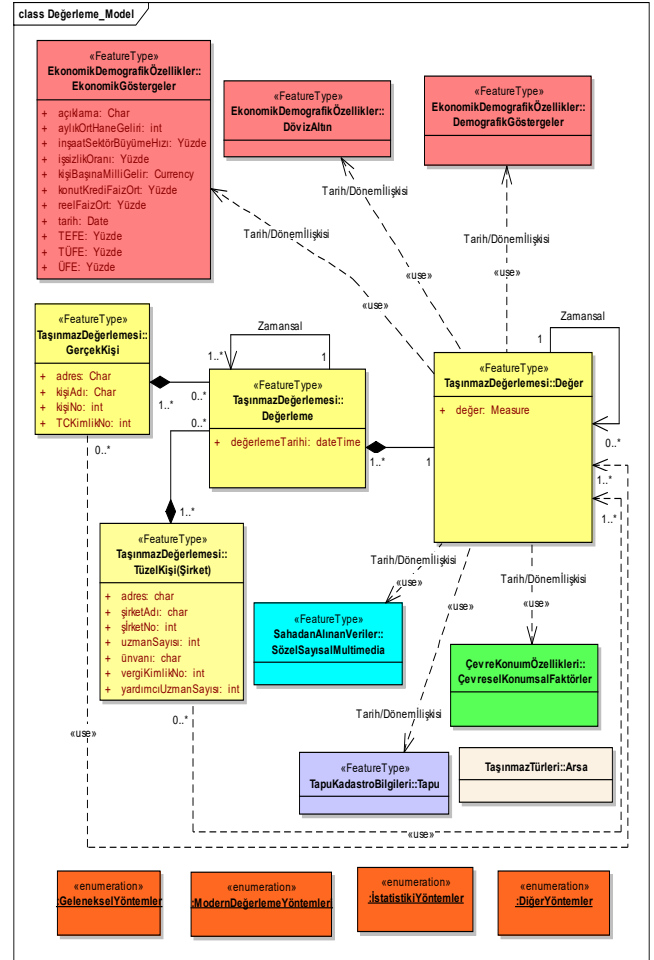


Şekil 2. Değerleme yöntemleri tanım kümeleri.

3.1. Taşınmaz Değerlemesi Paketi

Taşınmaz Değerlemesi Paketi, içerisinde bir kuruluş (kamu/özel sektör) tarafından yapılan bir toplu değerlendirme işlemine ilişkin bilgileri temsil etmek amacıyla tasarlanmıştır. Bu bilgilerin hangi sınıflarda tutulması gerektiği önemlidir. Uzman bir değerlemeci bilgileri *DeğerlemeRaporu* sınıfı içerisinde yer almıştır. Kamu veya özel sektör kuruluş bilgileri de *GerçekKişi* ve *TüzelKişi* (Şirket) sınıflarında detaylandırılmıştır. Çalışma kapsamında ister tekil isterse toplu değerlendirme işlemi olsun, bir değerlendirme işleminin yalnızca bir müşteri kişi veya kurum (özel veya tüzel kişi) tarafından talep edilebileceği gerçeğinden hareketle taşınmazla ait Değer sınıfında <<1..*>> çokluk ifadesi kullanılmıştır. Aynı şekilde farklı zamanlarda aynı müşterilerin aynı veya paket içerisinde <<enumeration>> olarak tanımlanan farklı taşınmazlar için değerlendirme talep edebileceği düşünülerek iki sınıf arasındaki ilişkinin çokluk ifadeleri <<1..*>> şeklinde belirlenmiştir. Paket içerisinde, *İstatistikİYöntemler* ve *ModernDeğerlemeYöntemleri* gibi tanım kümeleri oluşturulmuştur (Şekil 3).

Toplu değerlendirme işlemi esnasında, birden fazla taşınmaz için değerlendirme işlemi yapılabileceği dikkate alınarak üretilen değerlerin Değer sınıfı ile temsil edilmesi öngörülmüştür. *TaşınmazTürleri* sınıfınca temsil edilen taşınmazlar (arazi, arsa, bina, konut, işyeri) için farklı zamanlarda veya farklı yöntemlerle (geleneksel, modern, istatistikî vb.) değerler belirlenebileceği gerçeğinden hareket ederek sınıf içi nesne ilişkileri aynı sınıf üzerindeki ilişki ile tanımlanmıştır (Şekil 3). Ancak, aynı taşınmazın zaman içerisinde değerinde bazı değişimler oluşabilecektir. Bu değişimlere göre ilgili taşınmazın toplu değerlendirme yöntemi ile üretilen değerinde doğrudan değişiklik yapılabilmesi için, değeri etkileyebilecek faktör analizlerinden sonra, sınıf içi nesne ilişkileri aynı sınıf üzerindeki Zamansal bağıntı ilişkisi ile gösterilmiştir.



Şekil 3. Taşınmaz değerlendirme paketi içeriği.

3.2. Tapu ve Kadastro Bilgileri Paketi

Tüm taşınmaz çeşitlerinin (arazi, arsa, bina, konut ve işyeri) en temel özelliği olan üzerinde bulunduğu imar veya kadastro parseli ile ilgili konum ve mülkiyet bilgilerine ihtiyaç vardır. Bu nedenle *TapuKadastroBilgileri* paketi içerisinde Parsel ismiyle ayrıca ve genel bir sınıf oluşturulması gereği doğmuştur. İlgili sınıfın öznitelik bilgilerinde, kadastro veya tapu kayıtlarında yer alan idari sınırlara ilişkin nitelikler ve ayrıca ada ve parsel numaralarına ilişkin nitelikler de tanımlanmıştır.

3.3. İmar Bilgileri Paketi

Değerlemede kullanılması gereken verilerden olan ve sınıflarla temsil edilen planlama bölgeleri, imar planı ve çevre düzeni planı öznitelikleri değerlendirme işlemlerinde parsel (arsa) nitelikleri olarak dikkate alınmaktadır. Bunun gerçekleşmesi için parselin konumuna rastlayan özelliklerin parselle ilişkilendirilmesi gerektiğinden ve bunun konumsal analiz sonucu elde edileceğinden modelde <<use>> ilişkisi kullanılmıştır. Çeşitli teknik şartlar göz önüne alınarak yapılan planlama işlemleri;

- Mücavir alan sınırlarında,

- Belediye sınırlarında,
- Planlı saha dışında mevzii bir bölgede veya plansız bölgede olabilir.

Bu durumu ifade edebilmek için *Planlama Bölgesi* sınıfı tasarlanmıştır. Bu planlama bölgelerini tanımlamak amacıyla;

- Bu sınıfın türü niteliğinin veri tipi olarak *Planlama Bölgesi Türü* tanım kümesi,
- İnşaat ruhsatı ve yapı kullanım izin belgesinin varlığının sorgulanabileceği *Ruhsat Durumu* tanım kümesi,
- Planın hangi aşamada olduğunu belirlemek amacıyla da durumu niteliğinin veri tipi olarak *Plan Durumu* tanım kümesi,
- İmar planlarındaki gösterim ile aktif kullanım arasında olabilecek farklılıkların gösterimi amacıyla *Kullanım Durumu* tanım kümesi,
- Diğer öznitelikleri olan planlamanın hangi kanun hükümlerine (tip veya özel imar kanunu) tabi olduğunu *Kanun Kapsamı* tanım kümesi, tasarlanmıştır.

İmar planlarında gösterilebilecek tüm hak ve kısıtlamalar (TAKS, KAKS, hMax, önBahçe, vb.) *İmar Planı* sınıfında belirtilmiştir. Kullanılmayan imar hakkı (5 kata imarlı bir alanda henüz yapılmamış 2 kat daha) varsa, bu hakkın miktarı saha ve imar durumuyla birlikte değerlendirilmelidir. Planda öngörülen kullanım türleri için kullanım özniteliğinin veri tipi olarak *Planlanan Kullanım* tanım kümesi oluşturulmuştur. Ayrıca ilgili sınıfta yapı düzenleri de düzen niteliğinin veri tipi olarak *Yapı Düzeni* tanım kümesi ile tanımlanmıştır. İmar Kanunu ve ilgili yönetmelik hükümlerine göre en temel imar koşullarını temsil eden *minBina Cephesi* ve *minBina Derinliği* nitelikleri *Planlama Bölgesi* sınıfında temsil etmektedir. Bunlar veri ile ilgili olmayıp yönetmelikle ilgili olmasına rağmen, değerlemede parselin boyutlarına bağlı olarak inşaat alanını belirten veriler olduğu için önemli olabilir.

3.4. Sahadan Alınan Veriler Paketi

Taşınmaz değerlemedeki veri kaynağı hususunda yaşanan problemlerin başında tapu müdürlüklerindeki devir işlemleri sırasında doğru beyanda bulunulmaması ve “değer” bilgilerinin ortak bir veritabanı içerisinde tutulamaması gelmektedir [14]. Toplu değerlendirme sırasında örneklem amacıyla uygulama alanlarında seçilen taşınmaz karakteristiklerine ait veriler ile emsal satış bilgileri, emlakçılardan, Tapu Müdürlüğü, TAKBİS ve Belediyelerden temin edilmelidir. Bu nedenle değerlendirme çalışmalarının en önemli aşamalarında birisi olan verilerin toplandığı saha çalışmaları için Sahadan Alınan Veriler Paketi oluşturulmuştur (Şekil 4).

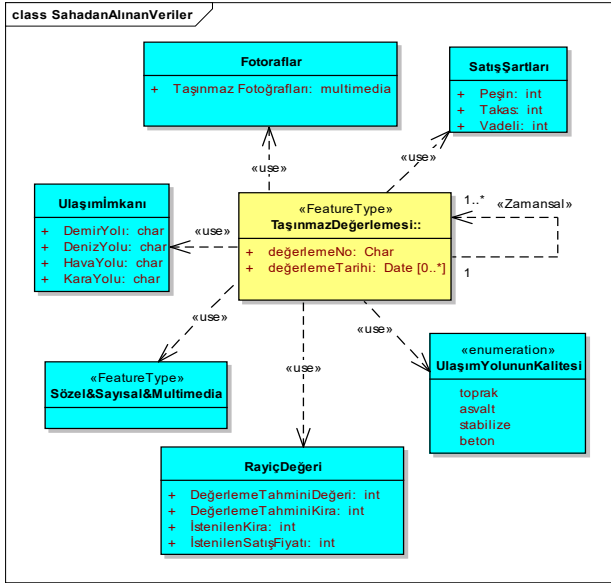
Toplu değerlendirme kullanılmak üzere taşınmazların bulunduğu bölgenin gelişmişlik durumunun belirlenmesi gerekir. Bunun için sahada emlakçılar, yerel esnaf vb. ile

yapılan görüşmeler neticesinde, örneklem olarak seçilen taşınmazların bulunduğu çevredeki diğer mahalle, sokak, cadde vb. ile karşılaştırmalar yapılarak bilgiler toplanmalıdır. Yapılacak değerlendirmelerde, imar planındaki duruma göre yerleşmenin tamamlanıp tamamlanmadığı hususları da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bağlamda derecelendirme Çok Gelişmiş, Gelişmiş, Az Gelişmiş ve Gelişmemiş şeklinde olabilir. Örneklem olarak seçilen taşınmazların emlak beyan değeri Belediye emlak servisinden alınarak taşınmaz değerlendirme raporunda yazılacaktır.

Toplu değerlendirme örneklem grubu taşınmazlara ait olmak üzere hesaplama yapacak uzman tarafından, değişkenlere (değere etki eden faktörlere) ilişkin verilerin toplandığı her taşınmaz için kira bedeli ve tahmini satış değerlerini de araştırılmalıdır [14]. Bu verilerin kontrolleri sahada yapılan emlakçı ziyaretleri ve fiyat araştırmalarının karşılaştırması ile gerçekleştirilebilir (Şekil 4). Emlakçıların yaptıkları satışları ABD’dekine benzer bir şekilde, taşınmaza ait satış geçmişi ve verilen teklifler de görülebileceği, değerlendirme kullanılan taşınmaz karakteristikleri veritabanı ve emsal satışlar verilerini girebilecekleri bir sistem oluşturmalı, ancak sistemin kontrolü mutlaka önerilen lider kurum TDGM (Taşınmaz Değerleme Genel Müdürlüğü)’de olmalıdır. İstenen kira veya istenen satış fiyatı tespiti için konu taşınmazlardan, kiralık ya da satılık ilan bulunan taşınmazlarda, ilan fotoğrafı mutlaka çekilmeli, müşteri gibi davranarak telefonla aramak ya da yüz yüze görüşme yapmak gibi veriye ulaştırabilecek tüm seçenekler denenmelidir. Toplu değerlendirme için bu verilerin önceden toplanması gerektiğinden, TAKBİS nitelik bilgilerinin yanında, örneklem grubundaki her taşınmaza ait veriler, sahadan alınan bilgilerle netleştirilmelidir. Taşınmazların mevcut kullanımın (otopark, konut, işyeri vb.) belirlenmediği durumlarda, yasal kullanım amacı ne ise o nitelik değerlendirme esas alınmalıdır [14]. Kullanım amacının farklı olduğunun tespiti durumunda, mevcut kullanım amacı belirtilmelidir. Her iki kullanım amacı için gereken bütün bilgiler sahadan alınmalıdır.

Toplu değerlendirme yapılacak alandaki cadde veya sokak genişliği, kaldırım dâhil olmak üzere metre cinsinden hâlihazır durum haritasından alınabilir veya gerekiyorsa sahadan ölçülebilir. Fazla yapılaşma varsa, bu durum, saha ve imar durumu birlikte değerlendirilmelidir. Resmi kayıtlara göre veya sahadaki kontroller sırasında taşınmazlar üzerinde otopark olduğu tespit edilmişse, otoparkın özelliği de (açık/kapalı) dikkate alınmalıdır [14].

Ülkemiz genelinde tarım işletmelerinde herhangi bir kayıt tutulmamaktadır. Bu nedenle tarım arazilerinin değerlemesinde de sahadan alınan veriler önemli bir yer tutmaktadır. Bu tür taşınmazların güncel bilgilerinin elde edilmesinde, arazi malikleriyle yüz yüze görüşmeler veya anket çalışmaları uygulanmaktadır. Ayrıca, ilgili kurum ve kuruluşlardan gerekli veriler toplanmalıdır [15].



Şekil 4. Sahadan alınan veriler paketi içeriği.

3.5. Çevre ve Konum Özellikleri Paketi

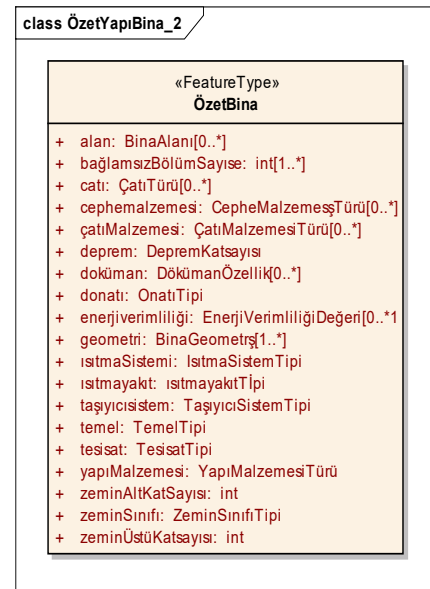
Taşınmazların bulunduğu çevre ve konum özellikleri önemli değerlendirme verilerindedir. Örneğin, bölgenin gelişme trendi, taşınmazın hem günümüzdeki ve hem de gelecekteki fiyatını etkiler. Taşınmaz değerlerini etkileyebilecek çok sayıda çevresel ve konumsal veriler mevcuttur. Bu bağlamda çalışma kapsamında, kamu ve özel sektör değerlendirme uzmanlarıyla yapılan mülakatlar haricinde, her taşınmaz türü için ayrı ayrı oluşturulan ve ekler bölümünde (Ek 1) verilen değere etki eden veriler, veri kalitesi, kaynağı ve güncelliği ile ilgili bir anket çalışması da yapılmıştır. Bu çalışmayla ilgili detaylı bilgiler önceki bölümlerde verilmiştir. Anket sonuçlarına göre model geliştirilmiştir. Taşınmaz değerlerini etkileyebilecek çok sayıda çevresel ve konumsal verilerin olması, bu verilerin sahadan toplanması zorunluluğu gibi sıkıntılar resmi kurum ve özel sektördeki anket ve mülakatlar sırasında sıkça dile getirilmiştir.

Genel olarak, bu alandaki verilerde sınırlama ve gruplama yapılması gereği üzerinde durulmuştur. Böyle bir veri yoğunluğundan dolayı bu paket içeriğindeki sınıfların öznelikleri gösterilmeden özet olarak sunulmuştur. Sınıfların nitelikleri ve veri tipi tanım kümeleri ise detaylı olarak gösterilmiştir. Buradaki düşünce, gerekli verilerin sahadan toplamaktan ziyade bunların doğrudan veriyi üreten kurumlardan alınabileceği veya çevrimiçi erişilebileceği, aynı zamanda CBS ortamında coğrafi analizlerle hesaplamalara tabi tutulabileceği sistem yapılanmasıdır. Taşınmazların çevresel ve konumsal faktörler ile ilişkilerinin sağlanması, imar bilgilerinde olduğu gibi ancak konumsal analizlerle gerçekleştirilebilir. Bu nedenle bütün faktör sınıflarıyla taşınmaz sınıfı arasında <<use>> ilişkileri kullanılmıştır.

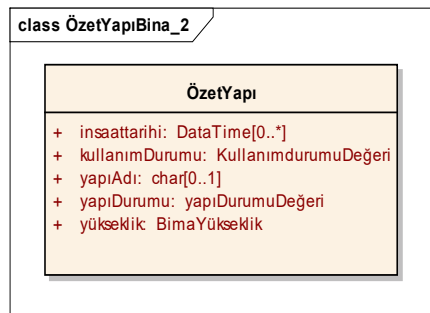
Çevre ve Konum Özellikleri Paketi içerisinde *ŞehirMerkeziTürü*, *TaşkınEtkiAlanTürü*, ve *KirleticiUysurlar* gibi tanım kümeleri tasarlanmış ve bu kümelerle ilgili olabileceği düşünülen öznelikleri tanımlanmıştır. Değerleme için gerekli olan uzaklık bilgileri web tabanlı haritalama sistemleri, kent bilgi sistemi veya CAD programları kullanılarak metre cinsinden hesaplanabilir. Mesafeler en kısa yürüme yolu olarak hesaplanmalı, kuş uçuşu mesafeler dikkate alınmamalıdır.

3.6. Bina ve Konut Değerlemesi Paketi

OzetYapi ve OzetBina detay tiplerinin TKMP taşınmaz değerlendirme pilot proje çalışmasında kullanılan bina detay verileriyle de birçok benzerlik gösteren özneliklere sahiptir (Şekil 5). ÇŞB (2012) çalışmasında TUCBS için tasarlanan ve TKMP taşınmaz değerlendirme pilot proje çalışmasında da kullanılmış olan Bina veri sınıfında tanımlanan ve bina/konut değerlemesinde kullanılması gereken veri tipleri ve bunların ilişkileri gösterilmiştir (Şekil 5).



(a)



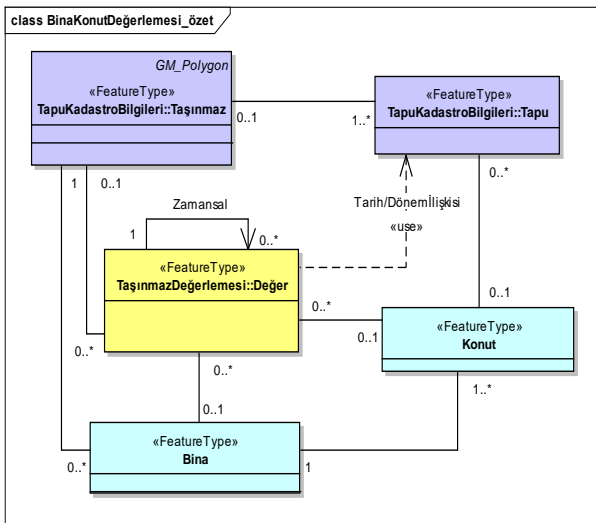
(b)

Şekil 5. Bina detay tipleri [4].

Bina değerlendirme için;

- 1- Değerleme işleminde yalnızca binanın değeri hesaplanmak isteniyor ve "Maliyet Yöntemi" tercih ediliyorsa, Çevre ve Şehircilik Bakanlığının (ÇŞB) her yıl yayınlamış olduğu yapı yaklaşık birim maliyetleri tablosu kullanılmak suretiyle değerlendirme yapılır. Ancak değerlendirme işlemi üzerinde bulunduğu arsayı da kapsıyor ise, arsa değeri buna ilave edilerek "yapılı arsanın değeri" hesaplanmış olur.
- 2- Eğer yapılı arsa değerlemesinde, "Maliyet Yöntemi" dışındaki değerlendirme yaklaşımlarından birisi kullanılmak isteniyorsa, veri tekrarı olmaması açısından, arsa değerlendirme için oluşturulan veri tablosuna ilave olarak bina veri tablosunu kullanmak suretiyle "yapılı arsanın değeri" hesaplanmış olur.

Toplu değerlendirme işleminde Bağımsız bölümlerin bakış yönü, mimari proje ve kadastral pafta, hâlihazır harita, uydu görüntüsü çakıştırılarak tespit edilmelidir. Bağımsız bölümün yoğun olarak baktığı cephe belirlenmelidir. Bağımsız bölümün baktığı yönlerin sayısı mimari proje ve kadastral pafta, hâlihazır harita, uydu görüntüsü çakıştırılarak sağlanmalıdır.



Şekil 6. Bina ve konut özellikleri paketi içeriği özeti.

Bina sınıfının yordam kısmında, bina yaşı, net/bürüt alan katsayısı, inşaat maliyeti, vb. sayısal nitelikler tanımlanmıştır. Bunun yanında sayısal olmayan (spor alanı, yüzme havuzu, güvenlik, vb.) birçok niteliğin veri tipinin de tanımlanması gerekmektedir. Bina sınıfına benzer şekilde Konut sınıfında da konutlara özgü nitelikler ve yordamlar tanımlanmıştır (Şekil 6). Hesaplanabilecek olan faktörler uzman marifetine bırakılmadan hesaplanması için bu yordamlar oluşturulmuştur. Burada amaç, minimum uzman marifeti, maksimum otomasyon olacak şekilde bir modelleme yaklaşımı ortaya koymaktır. *BinaKonutDeğerlemesi* veri paketindeki Bina ve Konut sınıflarının diğer paketlerdeki sınıflarla (Değerleme: Değer,

TapuKadastroBilgileri: Tapu, TaşınmazTürüDetayBilgileri: Arsa ve TapuKadastroBilgileri: Taşınmaz) olan ilişkileri de tanımlanmıştır. Bunun yanında bu pakette yapılan işlemlerin daha kolay anlaşılabilmesi için, paket içeriği özeti ayrıca oluşturulmuştur (Şekil 6).

3.7. Ekonomik ve Demografik Özellikler Paketi

EkonomikDemografikÖzellikler veri paketindeki değerlendirme işlemini tüm taşınmazlar için ve özellikle toplu değerlendirme açısından daha geniş bir bakış açısıyla incelemek gerekir. Çünkü toplu taşınmaz değerlendirme işlemlerinde tekrarlı (yıllık veya iki-üç yılda bir) değerlemeler söz konusu olacağından dolayı tasarlanan modelin bu yapıya uygun olması gerektiği düşünülmüştür. Örneğin; elimizde emsal taşınmazla ilgili eski tarihli bir değerlendirme işlemi sonucu hesaplanmış bir fiyat varsa ve bunun günümüze uyarlanması gerekiyorsa TEFE, TÜFE veya ÜFE gibi ekonomik göstergelerin yanında döviz/altın gibi yatırım araçlarının ve diğer demografik göstergelerin de dikkate alınması gerekir. Dolayısıyla toplu değerlendirme tarihindeki değeri hesaplayabilmek için ekonomik göstergelerin tümü göz önünde bulundurulmalıdır. Paket içerisindeki sınıfların nitelikleri de buna uygun tanımlanmıştır. Yeni bir değerlendirme işlemi yapılmadığından, eğer varsa o taşınmazla ilgili olan diğer hususlarla birlikte, eski ekonomik göstergelerle yeni ekonomik göstergelerin karşılaştırarak (eski değeri kullanarak yeni bir değer üretmek için ekonomik göstergelere göre güncellenmiş) yeni bir değer elde edebilmek için bu veri paketi diyagramı tasarlanmıştır.

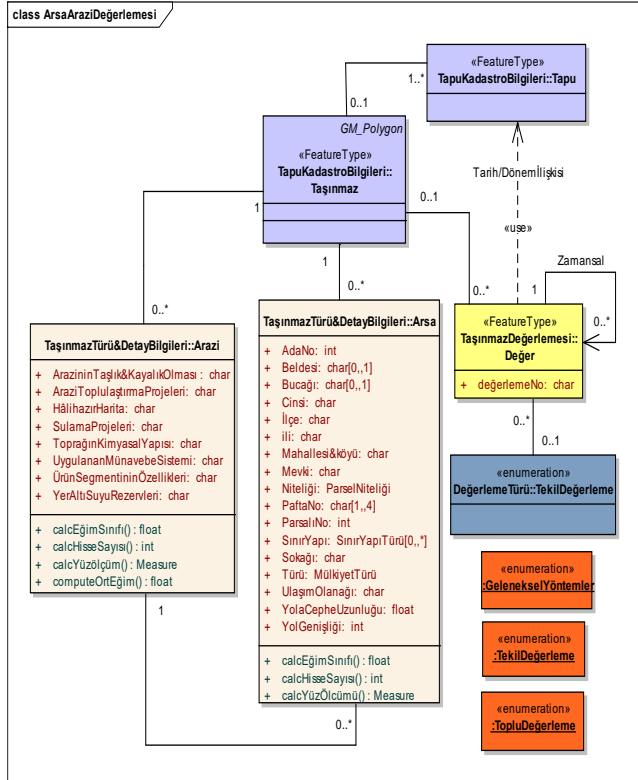
Bu model sayesinde taşınmazların bugünkü toplu değerini hesaplarken güncel ekonomik göstergeler kullanılmalıdır. Eğer gerekiyorsa bundan on yıl sonrasında (taşınmazda veya çevresinde değere etki edebilecek önemli bir değişiklik olmamak şartıyla) özellikle vergisel amaçlı toplu değerlemelerde o günkü göstergelere göre yeni bir değer üretilebilecektir. Ayrıca değerlendirme yapılırken birçok emsal değer kullanılmış olabilir. Örneğin değerlendirme işlemleri 2010, 2012 veya daha eski tarihli değerlendirme yapılmış ise, bunların günümüze indirilmesi ancak bu diyagram yardımıyla mümkündür. Toplu değerlendirme işlemlerinde herhangi bir dönüşüm yapılmak zorunda kalınmaması için özellikle yakın dönemdeki değerlendirme sonuçları alınmalıdır.

3.8. Arsa - Arazi Değerlemesi Paketi

Diğer taşınmaz türlerinden farklı olarak özellikle boş arsa (yapısız) ve arazi (tarımsal alan) değerlendirilmesinde kullanılmak üzere Arsa-Arazi Değerlemesi Paketi tasarlanmıştır. Paket içeriğindeki özellikle arazi değerlendirme sırasında toplu değerlendirme yanı sıra tekil değerlendirme de uygulanmak istenebileceği düşüncesiyle, değerlendirme türü olarak *TekilDeğerleme* tanım kümesi de oluşturulmuştur (Şekil 7).

Değerleme konusu arsaların üzerinde herhangi bir yapılaşma veya eklenti yoksa boş arsa olarak işlem görür. Eğer üzerinde inşaat yapılanmaları varsa, yapı ayrı arsanın ayrı değerlendirilmesi

yapılması gerekir. Eğer değerlendirme işleminde maliyet yaklaşımı (modelde *GelenekselYöntemler* isimli tanım kümesi içerisinde belirtilmiş olan değerlendirme yöntemi) kullanılacaksa, bu işlemin bir parçası olarak amortismanlı bina değeri, arsa değerine eklenmelidir.

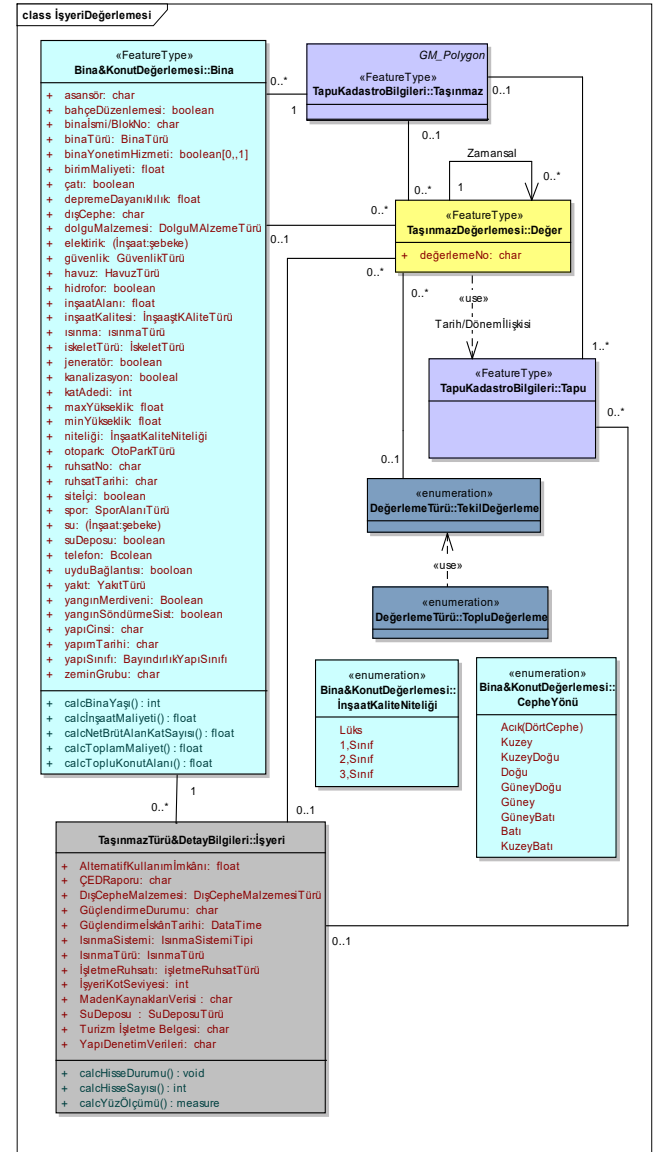


Şekil 7. Arsa - arazi değerlendirme paketi içeriği.

3.9. İşyeri Değerlemesi Paketi

İşyeri Değerlemesi Paketi içeriği oluşturulurken *BinaKonutDeğerlemesi::Bina* sınıfı kullanılmıştır. Çünkü binanın bir parçası olan ve işyeri olarak kullanılan birçok birim bağımsız bölüm olarak binalar içerisinde (İşhanları, AVM, Ofis Blokları, İş Merkezleri, vb.) bulunmaktadır. Dolayısıyla her bir işyeri *BinaKonutDeğerlemesi::Bina* sınıfı ile doğrudan veya dolaylı olarak ilişki içerisinde olacaktır. İşyerinin değerlemede kullanılacak temel niteliklerini ve ilişkilerini tanımlamak için iki (Bina ve İşyeri isimli) sınıf tasarlanmıştır. Bir binada birden fazla işyeri (bağımsız bölüm) olabileceği gerçeğinden hareketle iki sınıf arasındaki ve ilişkinin her iki tarafındaki çokluk ifadeleri (0..*) tanımlanmıştır. Değerleme verileri ve genel özellikleri hakkında yapılan anket çalışmasına göre, toplu değerlendirme uygulamada karşılaşılabilecek farklı durumlar düşünülerek, sahada uzmanın müdahale şansı olmayacak şekilde değeri etkileyen tüm faktörler belirlenmiştir. Niteliklerin birçoğu sayısal niteliklerdir ancak sayısal olmayan birçok niteliğin veri tipinin de tanımlanması gerekmektedir. Bu sınıfın veya ilişkili olunan diğer sınıfların nitelikleri kullanılarak hesapla elde edilebilecek nitelikler (bina yaşı, inşaat maliyeti, vb.) ise yordam olarak tanımlanmıştır. İşyeri sınıfında da bina sınıfına benzer şekilde işyerlerine özgü nitelikler ve

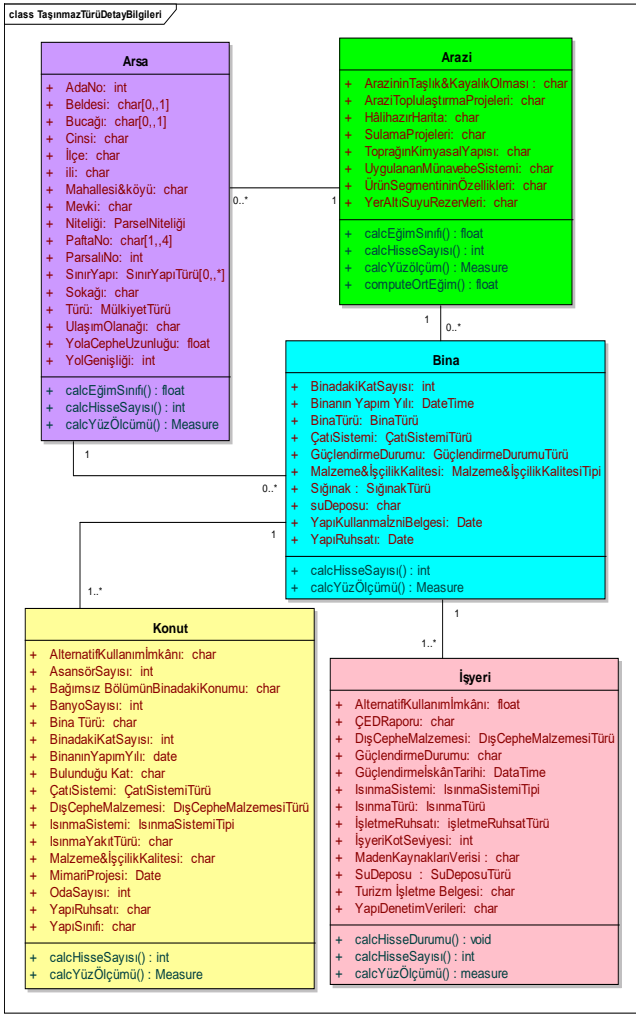
yordamlar tanımlanmıştır. Bu sınıfların diğer paketlerdeki sınıflarla olan ilişkileri (*TapuKadastroBilgileri::Tapu* vb.) de tanımlanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. İşyeri değerlendirme paketi içeriği.

3.10. Taşınmaz Türü Detay Bilgileri Paketi

Taşınmaz Türü Detay Bilgileri Paketinde yer alan her bir taşınmaz türü ayrı ayrı sınıflarla temsil edilmiştir. Sınıfların öznitelik bilgileri ait olduğu sınıfın detay bilgilerini içerecek şekilde oluşturulmuştur. Ancak, bütün sınıflarda ortak bulunması gereken adres bilgileri (PaftaNo, AdaNo, ParselNo, İli, İlçesi... vb.) ile *BinadakiKatSayısı*, *BinanınYapımYılı*, *ÇatıSistemi* ve *GüçlendirmeDurumu* gibi bazı öznitelik bilgileri ortak kullanım zorunluğundan dolayı farklı sınıflarda da gösterilmiş ve aralarındaki ilişkiler tanımlanmıştır (Şekil 9). Bu sınıfların nitelikleri kullanılarak hesapla elde edilebilecek değerler (arazi eğimi, hisse sayısı, yüzölçümü vb.) ise yordam olarak tanımlanmıştır.



Şekil 9. Taşınmaz türü detay bilgileri paketi içeriği.

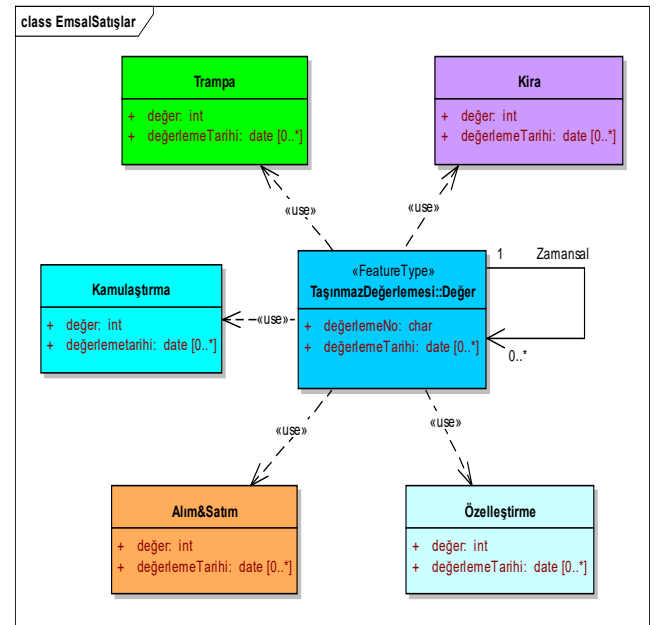
3.11. Emsal Satışlar Paketi

Toplu ve tekil değerlemeler sırasında aynı taşınmaz için tekrarlı değerlendirme işlemlerinden kaçınmak ve karşılaştırma yöntemiyle değerlendirme yaparken emsal değer bilgisine kolaylıkla ulaşabilmek için “değerlemesi yapılmış taşınmazlar veritabanı” da oluşturulmalıdır. Günümüzde bunun birkaç örneğini, bazı kamu ve özel sektör kuruluşlarının kendi bünyelerinde oluşturdukları küçük çaplı veritabanı örneklerinde görmek mümkündür. Ancak bunlar şahsi veya kurum bazında kalmıştır ve sınırlı bölgelerde geçerlidir. Burada asıl sorun, bu veritabanını oluşturacak piyasadaki gerçek alım satım fiyatlarına ulaşamamaktır. Bunun için bir öneri olarak Tapu Müdürlüklerinde ABD’dekine benzer bir şekilde alım-satım harçları düşük tutulması düşünülebilir. Bu şekilde hem doğru olmayan beyan ihtimali azaltılmış olur ve hem de bu alandaki vergi gelirleri artırılabilir. Bu sistemi hayata geçirebilmek adına gerçek satış fiyatı beyan etmeyenlere ağır para cezaları uygulanmalıdır.

Taşınmaz değerleri anlık değişebildiği için değerlemede kullanılacak tüm veriler sürekli güncellenmelidir. Değerlemede kullanılması gereken emsal satış verileri, UML

tabanlı veri modelindeki *EmsalSatışlar* isimli veri paketi içerisinde oluşturulmuştur (Şekil 10). Paket içerisinde kamu kuruluşları tarafından yapılan tüm özelleştirme, satış, kiralama ve kamulaştırma verileri ile piyasada yapılan normal alım-satım değeri sınıfları oluşturulmuş ve değerlendirmeyle ilgili (değer, tarih, numara vb.) olması gereken diğer bilgiler de ilgili sınıflarda öznitelik bilgisi olarak gösterilmiştir. Toplu değerlendirme yönteminin en önemli aşamalarından olan analiz ve model kurma çalışmalarının gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan emsal taşınmaz verileri bu paket içerisinden alınması öngörülmüştür (Şekil 10). Verilerin güncelliğini sağlamak amacıyla aynı taşınmaza ait daha önceki değer bilgilerine erişim, Değer sınıfının kendi içerisinde tanımlı <<zamansal>> ilişkisi ile sağlanacaktır. Bu durum UML diyagramlarında gösterilmiştir. Ayrıca, değerlemede kullanılan taşınmaz karakteristikleri veritabanının oluşturulmasına, bir kısmı yüz yüze olmak üzere değerlendirme uzmanlarıyla yapılan anketler sonucunda, her taşınmaz türü için ayrı ayrı oluşturulan veri tablolarındaki bilgilerin, veri paketleri içerisinde oluşturulan sınıfların öznitelik bilgileri olarak kullanılması gerekmektedir.

ABD’dekine benzer bir şekilde emlakçılar, brokerlar (alıcı ve satıcının bir araya gelmesini kolaylaştırarak alışveriş hızlandıran kişiler), sisteme üye değerlemeciler vb. de veritabanına bilgi girebilmeli, sorgulama yapabilmelidir. Öncelikle emlakçılar, brokerlar ve değerlendirme arasında bir platform oluşturulmalı ve bilgi paylaşımı yaygınlaştırılmalıdır.



Şekil 10. Emsal satışlar veri paketi içeriği.

Emsal Satışlar veritabanında zamansal veri yönetimi sistemi oluşturulmalıdır. Ayrıca veri yönetimi faaliyetleri çok geniş kapsamlı olacağından, kullanılan verilerin sınırlandırılması gerekir. Değeri etkileyebilecek tüm ekonomik ve çevresel faktörler analize dâhil edilebilmelidir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Model çerçevesinde değerlemede kullanılması gereken verilerin temel özellikleri, taşınmaz değerine olan etkileri, birbiriyle olan ilişkileri, taşınmaz karakteristikleri ve emsal satışları kapayan bir temel veritabanı oluşturulması için yapılması gerekenler, UML sınıf diyagramlarıyla görsel olarak oluşturulmaya çalışılmıştır. Ancak bu ve benzeri işlemlerin tüm ülke genelinde belli standart ve kalitede yürütülebilmesi için çalışma kapsamında önerilen, genel hatlarıyla içeriği oluşturulan ve değerlendirme faaliyetlerinin tek bir yasayla yönetilmesini hedefleyen Taşınmaz Değerleme Kanunu (TDK) gibi bir kanunun olmasına ihtiyaç vardır. Bu kanunun oluşturulması sırasında, burada sunulan UML tabanlı veri modeli tasarımının yol gösterici olacağı görülmektedir.

Taşınmaz değerlendirme sisteminin hayata geçirilmesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanması için değerlendirmeyle ilgili doğru ve güncel verilerin sahadan toplanması ve bir veritabanında tutulması, bütün bu işlemler için de bir uygulama yönetmeliği çıkarılması gerekmektedir.

Değerleme sahasında gelişmiş diğer ülkelerde olduğu gibi, kullanılması gereken veriler için sayısal veri tabanları oluşturulmalı, uzmanlar belli bir ücret karşılığında bu verilere ulaşabilmelidir. Böylece rapor hazırlama sırasında oluşabilecek gecikmeler ve hatalar en aza indirilebilecektir. Geliştirilen UML veri modeli paketinin içerikleri bu önerilen veritabanının statik yapısının (veri tablolarının yapılarının değişmemesi durumu) ortaya konulabilmesi esasına göre oluşturulmuştur. Modelde statik veri tabanı kullanılması sayesinde entegre bir tasarım elde edilmiştir. Bu veritabanı statik olmakla birlikte değerlendirme sisteminde olabilecek değişiklikler karşısında güncellenebilir olmalıdır.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışma, Dr. Nuri ERDEM'in 2016 yılında Erciyes Üniversitesi, FBE, Harita Müh. Anabilim Dalında tamamlamış olduğu "Türkiye İçin Bir Taşınmaz Değerleme Sistemi Yaklaşımı" isimli doktora tezinden üretilmiştir.

TEŞEKKÜR

Çok yoğun çalışmalarında zamanlarını ayırarak bu çalışmanın gerçekleştirilmesine katkı sağlayan, çok kıymetli görüş ve tecrübelerini benimle paylaşan, kamu ve özel sektör taşınmaz değerlendirme uzmanlarına teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

[1]. HKMO, Sempozyum Bildiriler Kitabı, *Arazi*

Yönetiminde Taşınmaz Değerleme ve Kadastro Sempozyumu, ATO Uluslararası Kongre ve Sergi Sarayı, HKMO&TKGM, 22-23 Mayıs, Ankara, 240 s., 2012.

[2]. Çete, M., "Türkiye İçin Bir Arazi İdare Sistemi Yaklaşımı", Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 243 s., 2008.

[3]. Köktürk, E., Köktürk, E., "Taşınmaz Değerlemesi, Taşınmaz Hukuku – İmar Hukuku – Değerleme Yöntemleri", Seçkin Yayıncılık, 2. Baskı, Ankara, ISBN 978-975-02-312, 1304 s., 2015.

[4]. ÇŞB, Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Standartlarının Belirlenmesi Projesi: TUCBS, BI Bina Veri Teması Uygulama Şeması, ÇŞB, CBSGM, 2012.

[5]. Yomralıoğlu, T., "A Nominal Asset Value-Based Approach for Land Readjustment and Its implementation Using Geographical Information Systems", Doktora Tezi, Newcastle Üniversitesi, UK, 1993.

[6]. Nişancı, R., "CBS ile Nominal Değerleme Yöntemine Dayalı Piksel Tabanlı Kentsel Taşınmaz Değer Haritalarının Üretilmesi", Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 230 s., 2005.

[7]. Ertaş, M., "Kırsal Alanlarda Taşınmaz Değerlemesi", Ders Notları, Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Konya, 2014.

[8]. Düzgün, H. Ş., "Coğrafi Bilgi Sistemlerine Giriş", Ünite 2-Veri Girişi, <http://www.acikders.org.tr>, 2010. (E.T.: Kasım, 23, 2015).

[9]. Aliefendioğlu, Y., "Türkiye'de Koruma Alanlarındaki Taşınmazların Kullanımı ve Koruma Statülerinin Taşınmaz Piyasaları ve Değerlerine Etkileri: Muğla İli Örneği", Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 774 s., 2011.

[10]. Page-Jones M., "Fundamentals of Object-Oriented Design in UML", Addison-Wesley, Dorset House Publishing, New York, ISBN: 020169946X, 2002.

[11]. İnan, H., "Arazi İdare Sisteminin Tarım Bileşeni Olarak Konumsal Veri Modeli Geliştirilmesi", Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 199 s., 2010.


[12]. Çağdaş, V., "Türkiye İçin Bir Emlak Vergi Sistemi Tasarım Modeli Önerisi", Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 226 s., 2007.

[13]. Bostancı, B., İnan, H. İ., Çete, M., Geymen, A., Erdem N., "UML Tabanlı Taşınmaz Değerleme Modeli Tasarımı: Konut Değerleme Örneği", II. Arazi Yönetimi Çalıştayı, 21-22 Mayıs, İTÜ, İstanbul, 2012.

[14]. TKGM, TKMP-Gayrimenkul Değerleme Bileşeni Pilot Uygulama Taslak Tamamlanma Raporu, TKGM Kadastro Dairesi Başkanlığı, 182 sayfa, Ankara, 2014.

[15]. <http://www.aartibirgd.com/tarim.html>, (E.T.: Kasım, 17, 2015).

Moxon Antenna Array Design and Pattern Synthesis Technique

*¹Suad Başbuğ¹Department of Electrical and Electronics Engineering, Nevsehir Hacı Bektas Veli University, Nevsehir, Turkey,suad@nevsehir.edu.tr 

Research Paper

Arrival Date: 19.11.2018

Accepted Date: 29.04.2019

Abstract

A four-element moxon antenna array is proposed in this paper. Its directive properties are shown with simulations and compared with the classical dipole array. In order to synthesize the pattern of moxon array, a hybrid method that consists of differential evolution (DE) and numerical electromagnetics code version 2 (NEC2) is also introduced. Basically, the cost function used by DE is designed with the help of NEC2 simulations to achieve more realistic optimum antenna array designs. Patterns having one and double sidelobe suppression at predetermined angles are successfully synthesized by using this method whereas the gain value is maintained properly. Robustness of the proposed method is also examined. For this aim, multiple executions of the method implementation are performed under same conditions. The results show that the method introduced in this paper is very stable in terms of the radiation pattern and convergence curves.

Keywords: Directive antenna arrays, metaheuristic algorithms, moxon antenna, NEC2, pattern synthesis.

1. INTRODUCTION

One of the main advantages of the antenna arrays is that they can produce directive radiation patterns. Antenna array elements can be any type of antennas. Simple array elements have two basic advantages which are simple construction and easy calculation. Usage of dipoles as array elements is a good idea since the dipole is one of the simplest types of antennas [1]. However, linear dipole antenna arrays radiate in both perpendicular directions to the array axis equally and symmetrically when its array elements are uniformly excited. It is a clear disadvantage when it is necessary to radiate only one direction. A reflector element might be a good solution for each element as used in Yagi-Uda antennas to focus the main beam of the radiation to one determined direction. In this context, Moxon antennas are in the group of two elements Yagi-Uda antennas.

Moxon antennas have been chosen for several types of applications owing to their advantages [2-4]. First of all, they are compact compared to their alternatives [2]. As a second advantage, they can produce patterns which have remarkable front-to-back ratio [3]. Lastly, one does not need to use an additional impedance matching circuit in general when using a Moxon antenna [4].

In this paper, we propose a moxon antenna array design to produce a directive radiation pattern. The design also includes single and double suppression facilities on the

pattern. The sidelobe suppression is done by controlling amplitude and phase parameters of array elements. Any metaheuristic algorithm can be used to calculate the amplitude and phase values. In this work, differential evolutionary (DE) [5] algorithm is chosen for this purpose. A comprehensive technique is used to optimize antenna parameters. Classical techniques [6-8] generally use the array factor formula to shape the patterns. This obviously provides easy calculation advantages. However, the optimization methods that use the cost function constructed by considering only the array factor fall short to take account of some important parameters such as mutual coupling and impedance bandwidth. In the literature, in order to optimize a twin polygonal loop antenna array [9] and a dual monopole antenna having a spiral geometry [10] with high gain and minimum reflection, the original source code of Numerical Electromagnetics Code Version 2 (NEC2) [11] is modified in C++ to let it work with particle swarm optimization algorithm. In our work, NEC2++ [12] is utilized as a library without modifying the original source code. There are two main contributions of the work in this paper.

First, contrary to the other classical techniques that use the It means that the objective function is based on the NEC2 simulation results in place of simple array factor formula outcomes. Second, in this work, any modification is not performed on NEC original codes. Instead, the optimization parameters are passed to the NEC2 engine as a black box function to obtain the simulation results.

In this way, the proposed method is able to keep the overall computational method from the programming language dependency. A custom software implementation developed in Python gains access to the antenna simulation library by importing NEC2++ module composed originally in C++. In this implementation, DE sends the main geometric and electrical parameters of the moxon antenna to the NEC2++ simulator. An array factor formula is not needed since NEC2++, as a variant of NEC2, uses the method of moments technique for its calculations. The cost function taken into account by DE is developed by considering the simulation results of NEC2++. This cycle is performed in every iteration in the optimization process.

2. MOXON ANTENNA ARRAY

A moxon antenna comprises two parts: A driven element fed at the center and a reflector element which is longer than the driven element as shown in Fig. 1. Driven element is in fact a bent dipole antenna. The moxon antenna array proposed in this paper is illustrated in Fig. 2. The moxon antennas as array elements are arranged in a straight line. The reflector parts of the array elements are aligned parallel to z-axis. The distances between the elements are equal. The direction of main beam is the positive y-axis. The moxon array sample with four elements in Fig. 2 is designed for the examples of this paper. The numerical details are given in the simulation results section.

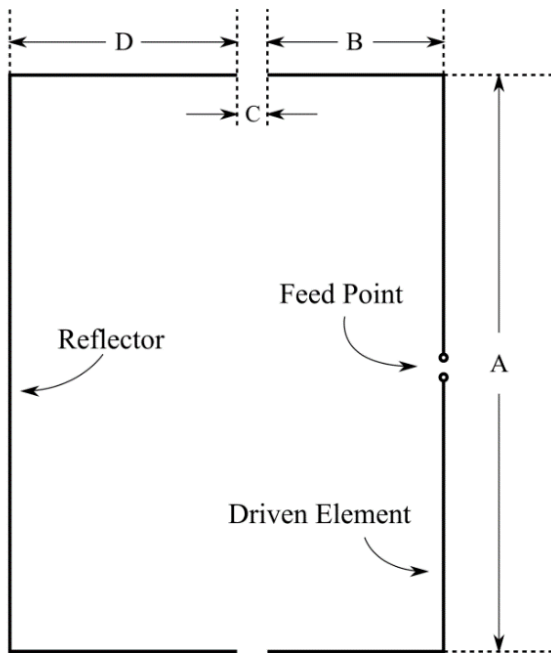


Figure 1. Moxon antenna

A scheme is given in Fig. 3 to explain the excitation method of the proposed moxon array. The examples of the single and double sidelobe suppression on the pattern are performed by controlling the amplitude and phase values of the array elements.

In the scheme, the radio frequency signal is divided into four channels by a splitter. These four signals have same amplitude and phase values before the control unit. The control unit have attenuators and phase shifters for each channel. In order to shape array patterns electronically, the amplitude and phase values of the signals that goes to the antennas are changed by the attenuators and phase shifters. For the sake of simplicity, the other details such as microcontroller unit and amplifiers are not shown in Fig. 3.

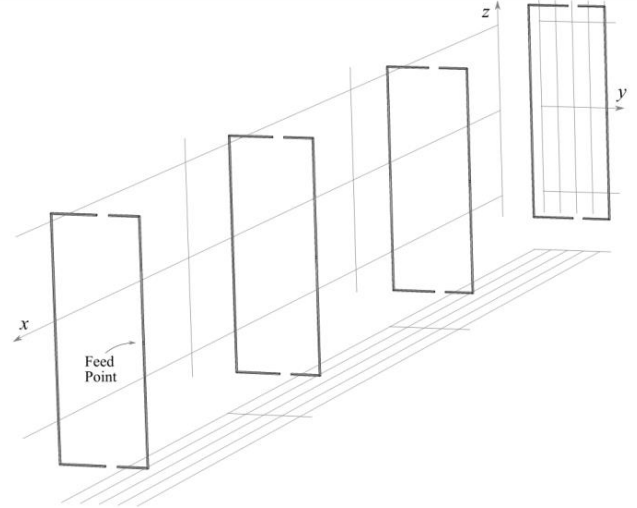


Figure 2. Moxon antenna array

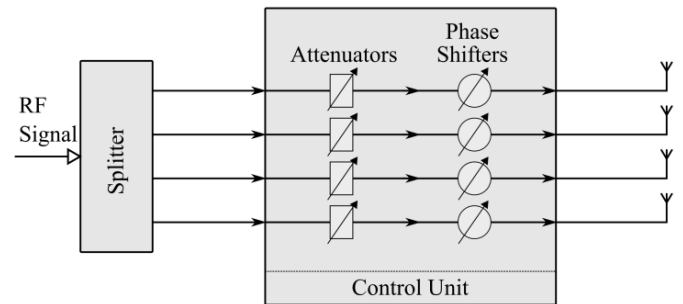


Figure 3. Control unit for signal attenuation and phase shifting

3. PATTERN SYNTHESIS METHOD

The method proposed in this paper for pattern synthesis of moxon antenna array exploits the benefits of NEC2 antenna simulation engine and DE optimization algorithm jointly. In this method, DE optimization algorithm uses a cost function to shape the desired array pattern. The cost function is composed of the restrictions on the pattern obtained from the results of NEC2++ which is a software library version of original NEC2. The cost function can be represented mathematically as follows:

$$C = (G_d - G_0)^2 + \sum_{k=1}^K (S_k - S_d)^2 \tag{1}$$

where G_d and G_0 are the desired and calculated gain of the antenna array, respectively. In a similar way, S_d and S_k are the desired and calculated sidelobe levels at the predetermined angles, respectively. G_d must be greater than G_0 in this calculation, otherwise the relevant part of the calculation is zero. Similarly, S_k must be greater than S_d , since the calculated sidelobe cannot be acceptable higher than the limits. The main target of DE algorithm is to find optimum parameters which make the value of the cost function minimum. The gain and sidelobe calculations are performed by means of NEC2++ module.

NEC2 is the second version of Numerical Electromagnetic Code (NEC) software released under public domain. It provides useful tools to solve electromagnetic problems, which are especially related to antennas [11]. The software is based on the numerical solutions of electric-field and magnetic field integral equations obtained by method of moments. NEC mainly utilizes the electric-field integral equations to model electromagnetic response of thin-wire structures.

The magnetic-field integral equations are specialized for the large smooth surfaces in NEC. The models of NEC can also handle with perfect and imperfect conductors, lumped element loading, and ground planes. After the solution, it is possible to achieve current and charge densities, near-field and far-field results, impedance and admittance, gain, directivity and power budget calculated by NEC. NEC2 has same core features with NEC. Although NEC2 also owns some different properties from that of NEC, the features of NEC2 used in this work is not different from NEC. In this paper, we use NEC2++ [12] to simulate the moxon antenna array programmatically in order to construct the cost function and guide DE algorithm.

NEC2++ mirrors all the capabilities of the original NEC2. NEC2++ is coded with C++ and released under the general public license. NEC2++ also offers an opportunity for utilizing NEC2 engine directly within computer programs developed by using Python, Ruby, C and C++ Languages. This provides very good flexibility for custom applications. In this paper, we employ Python programming language to access NEC2++ library.

DE is a population based metaheuristic algorithm [5]. In general, the population members search an optimal solution in the solution space by exploiting the position information of the other members. This information exchange among the members is performed by a simple mathematical formula. Each member has a chance as a trial member to benefit from this mutation phase at every single iteration.

The mutant member built by the means of the information sharing substitutes for the trial member if it has a better performance than the trial member in terms of cost function. Randomization is utilized at three stages during the optimization process: scattering population member at the beginning, selecting random members to apply the mutation

formula and performing recombination. Termination criteria may be a maximum iteration number or an optimal solution that fulfills the requirements. DE algorithm can be formally described as follows:

NP : Number of population members
 F : Scaling factor in (0, 2]
 CR : Crossover rate in (0, 1)
 $random()$ is a function that returns a real number in [0, 1)
Let $p \in \mathbb{R}^n$ be trial member
 $K: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$, the cost function

- Initialization
 - ✓ Distribute all population members randomly throughout the solution space.
 - ✓ Calculate the cost function values of all members.
- For each iteration until the termination criteria is satisfied.
 - For each member as a trial member x
 - Select three random members (a , b and c) different from each other and the trial member.
 - For each i dimension to build a mutant member m :
$$m_i = a_i + F(b_i - c_i) \text{ if } random() < CR, \text{ otherwise } m_i = x_i$$
 - Calculate the cost function value of the mutant member
 -
 - If the cost function value of mutant member m is better than that of trial member x , the trial member is replaced with the mutant member m .
 -
- Display the population member as an optimal solution, which has the best cost function value at the end of the optimization.

The positions of the population members of DE in our work corresponds amplitude and phase values of array elements. Our examples are built on the idea of four-element moxon array. Each array element has its own amplitude and phase values. Therefore, in this work, DE algorithm deals with a problem having eight real dimensions.

4. SIMULATION RESULTS

In order to show the performance of the moxon array and the proposed pattern synthesis method, we take account of a four-element antenna array as illustrated in Fig. 2. The center frequency is chosen as 433 MHz. The geometrical

configuration is arranged by considering this frequency value. As an array element, the moxon antenna dimension values are calculated by means of MoxGen software [13].

The wire radius is set to 1.02616 mm (12 AWG). With these frequency and wire size inputs, MoxGen produces the following values for the geometrical parameters in Fig. 1: A = 248.3 mm, B = 31.9 mm C = 12.6 mm, and D = 48 mm. The moxon array used in this paper comprises four elements separated from each other with a 485.611 mm distance. This distance is computed by using the classical optimization tool of 4nec2 [14].

Proposed array synthesis method is written in Python 2 language by using Spyder development environment. NEC2++ is integrated into the implementation as a library. DE algorithm has been used to calculate both amplitude and phase values of moxon array elements in order to place desired nulls on the pattern. 4nec2 is employed as the antenna simulator to analyze and illustrate the results calculated by the proposed method. First of all, traditional half-wave dipole (346 mm length) array and the proposed moxon array are compared to point out the higher gain and better front-to-back ratio of moxon array. Fig. 4 shows both the patterns of dipole and moxon antenna arrays.

The dipole array elements have the same wire radius and element spacing with the moxon array. It is clear from Fig. 4 that Moxon Array has higher gain than dipole antenna. The gain of moxon array is 13.1 dBi whereas that of dipole array is 10.5 dBi, the front-to-back ratio of moxon array is 11.7 dB. Both patterns in 3D can be viewed in Fig. 5. From Fig.5 , it can be inferred that the azimuth (θ) direction radiation values are in harmony with 2D plot of radiation pattern in Fig. 4.

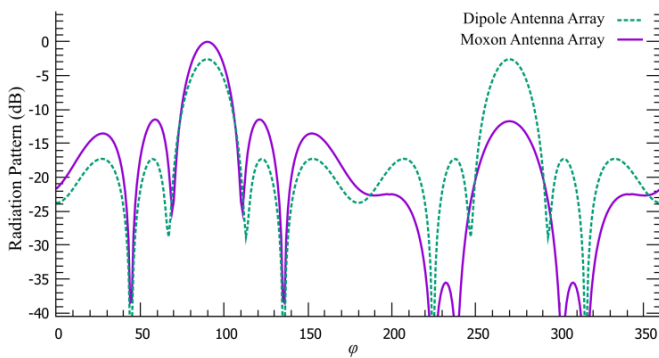


Figure 4. Pattern comparison of uniformly excited dipole and moxon antenna array.

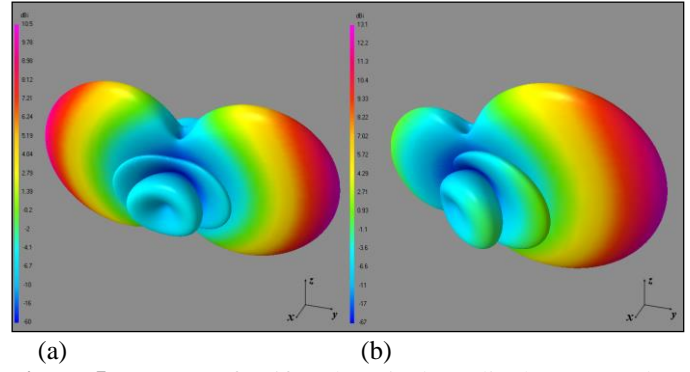


Figure 5. Patterns of uniformly excited (a) dipole array and (b) moxon array in 3D.

For the first sidelobe suppression example, we assume that there is an interference source towards the antenna array in $\varphi = 122^\circ$ direction.

Since it is known that the lower sidelobe levels than -20 dB can be acceptable for most applications [15], it would be enough to suppress the sidelobe level lower than -20 dB at 122° . But to test the power of the proposed method, we have configured the cost function (1) to limit the sidelobe level at 122° with -30 dB. 70 iterations suffice to achieve the desired pattern form.

The pattern with a suppressed sidelobe under -30 dB at 122° is shown in Fig. 6. The gain of the moxon antenna is 13 dBi as shown in Fig 7. In the same figure, it is also possible to see the sidelobe suppression location indicated by the arrow in 3D.

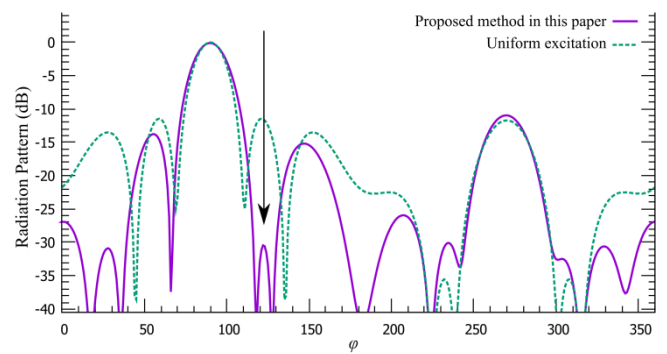


Figure 6. The moxon antenna array pattern having single sidelobe suppression at 122° obtained by the proposed method and the pattern of uniformly excited moxon antenna array.

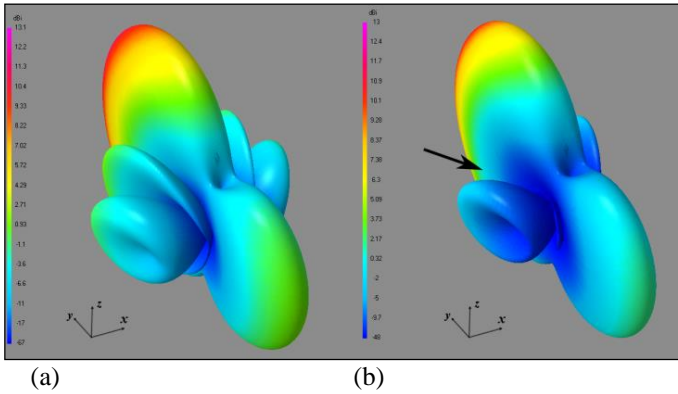


Figure 7. (a) Uniformly excited moxon antenna pattern and (b) the pattern having single sidelobe suppression at 122° obtained by the proposed method.

The setup of the first example has also been used to evaluate the robustness of the algorithm. For this aim, same configuration has been executed for 30 times and the convergence values of the cost function are recorded, as well as calculated amplitude and phase values.

The patterns of moxon array computed by proposed algorithm running 30 times are presented in Fig. 8. Especially the main lobe and suppressed sidelobe are very stable for almost every run. The algorithm is able to find very similar solutions consistently. The convergence curves for these 30 run in Fig. 9 also helps to conclude that the proposed method can be considered as a robust optimization technique.

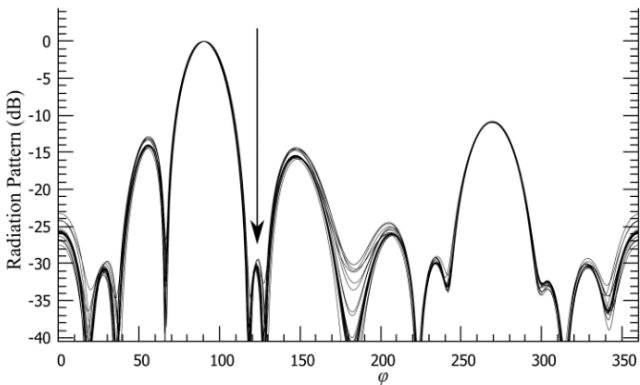


Figure 8. Patterns with a single sidelobe suppression at 122° obtained by running proposed method 30 times.

For the second example, the main aim is that the sidelobe levels at 59° and 152° are kept under -30 dB while the main lobe gain is fixed to 13 dBi., Fig. 10 exposes that the proposed technique has successfully achieved a pattern with two suppressed sidelobe under -30 dB at 59° and 152° . Besides, Fig. 11 shows in 3D both the uniformly excited moxon array pattern and the pattern achieved by the proposed method.

It is clear from Fig. 11(a) that a pattern having 13 dBi main lobe gain and two properly suppressed sidelobes are achieved.

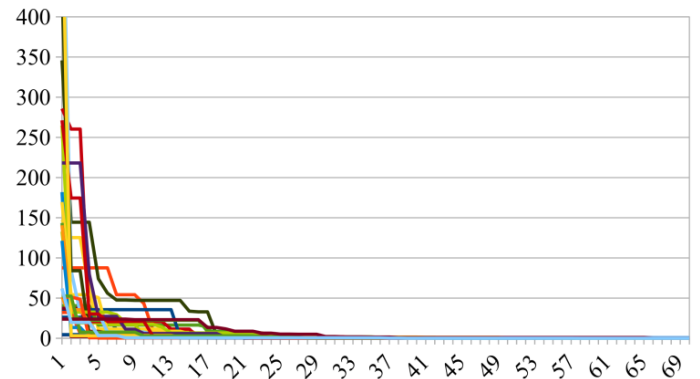


Figure 9. Convergence curves of proposed method employing DE algorithm 30 times for the first example.

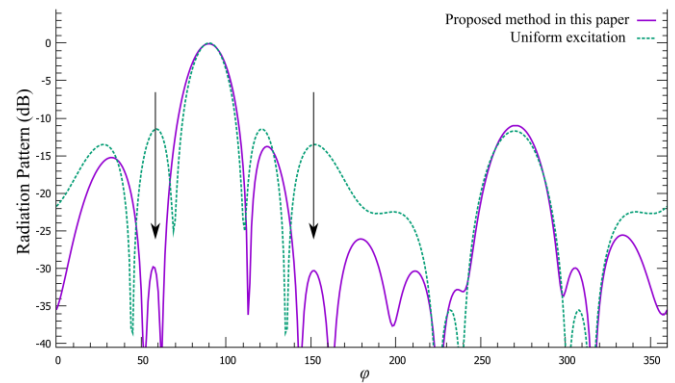


Figure 10. The moxon antenna array pattern having double sidelobe suppressions at 59° and 152° obtained by the proposed method and the pattern of uniformly excited moxon antenna array.

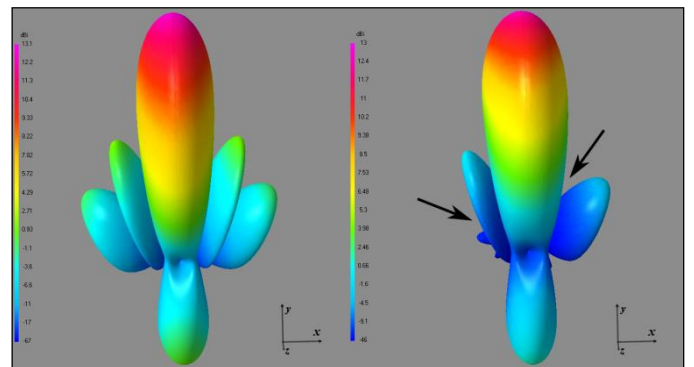


Figure 11. (a) Uniformly excited moxon antenna pattern and (b) the pattern having double sidelobe suppressions at 59° and 152° obtained by the proposed method.

5. DISCUSSIONS AND CONCLUSION

The four-element moxon antenna array introduced in this paper has a good gain and a front-to-back ratio values. It might be a better choice among the dipole alternatives for the

applications when the high directivity is necessary in a certain direction. It also naturally owns the other advantages which individual moxon antennas have. Additionally, the moxon array has an ability to have control over the pattern shape. To do that, we have proposed a method that can exploit DE optimization algorithm and NEC2.

The proposed synthesis method has achieved the targeted results for the single and double sidelobe suppression examples. Since the cost function is built on a real simulation environment rather than simple antenna array factor, an additional procedure is not needed to take mutual coupling effects into consideration separately. Besides, the robustness test for the first example shows that the proposed method has a very stable mechanism to find the optimal solutions.

In addition to the 2D plots, the examination of the 3D results have pointed out that the pattern attained by the proposed method is in desired form in the all planes of three-dimensional space. It is natural that the technique proposed in this paper is relatively slower than the other theoretical techniques because it owns a hybrid system that includes DE and NEC2 which is a complete antenna simulation system. The results show that the method proposed in this paper, achieved more realistic results than the classical techniques [6-8]. Classical techniques use the array factor formula to optimize amplitude-only [6], phase-only [7] and amplitude and phase together [8] by assuming that the array elements are isotropic radiators. Isotropic radiators are theoretical sources rather than physical antennas. Our results are obtained by employing NEC2 and DE techniques to control amplitude and phase values. This provides a special simulation opportunity, which can use real antenna elements. In this study, the array elements are determined as dipole antennas in our examples. Additionally, the method has been used to achieve the radiation patterns with prescribed nulls by sending optimization parameters to the original NEC2 computation engine. NEC2 was modified in [9] and [10] to design different types of antennas. However, this modification has to be done with the same language of the source codes of the NEC2 library. As a better alternative, our solutions are calculated with Python while the original code of NEC2 is C++. Our results have also confirmed that it is possible to use any programming technique to apply the method proposed in this paper. In the future works, it is planned that the proposed array will be constructed and tested with a module having four independent channels with digitally controlled frequency, phase, and amplitude. Furthermore, the antenna synthesis method introduced in this paper will be used for different antenna systems with additional parameters such as impedance bandwidth and radiation efficiency.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Research Fund of Nevsehir Haci Bektas Veli University. Project Number: BAP18F39.

REFERENCES

- [1] S. Winder and J. Carr, *Newnes Radio and RF Engineering Pocket Book*. United Kingdom : Elsevier, 2002.
- [2] I. Tekin, O. Manzhura, and E. Niver, "Broadband circularly polarized antennas for UHF SATCOM," in *2011 XXXth URSI General Assembly and Scientific Symposium*, 2011, pp. 1–4.
- [3] N. A. Chougale, S. K. Magdum, S. D. Patel, T. D. Dongale, and P. N. Vasmbekar, "Design and development of UHF Moxon antenna," *National Journal of Science and Information*, pp. 93–95, 2012.
- [4] J. Carson, O. Manzhura, and E. Niver, "Efficient base station antenna element for mobile communications," in *Proceedings of 2014 3rd Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation*, 2014, pp. 396–399.
- [5] R. Storn and K. Price, "Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces," *Journal of Global Optimization*, vol. 11, no. 4, pp. 341–359, Dec. 1997.
- [6] K. Guney and M. Onay, "Amplitude-Only Pattern Nulling of Linear Antenna Arrays with the Use of Bees Algorithm", *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 70, pp. 21–36, 2007.
- [7] R. L. Haupt, "Phase-only adaptive nulling with a genetic algorithm", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 45, no. 6, pp. 1009–1015, Jun. 1997.
- [8] Y. C. Chung and R. L. Haupt, "Amplitude and Phase Adaptive Nulling With a Genetic Algorithm", *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 14, no. 5, pp. 631–649, Jan. 2000.
- [9] S. D. VK and S. S. Kumar, "Optimum Design of Twin Polygonal Loop Antenna Array for UHF Applications," in *Advances in Computing and Communications (ICACC), 2014 Fourth International Conference on*, 2014, pp. 323–326.
- [10] B. George and S. S. Kumar, "Optimal design of a symmetric monopole antenna with spiral geometry," in *Intelligent Computational Systems (RAICS), 2013 IEEE Recent Advances in*, 2013, pp. 262–267.
- [11] G. J. Burke, A. J. Poggio, J. C. Logan, and J. W. Rockway, "Numerical Electromagnetic Code (NEC)," in *1979 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, 1979, pp. 1–3.
- [12] Timothy C.A. Molteno, "NEC2++: An NEC-2 compatible Numerical Electromagnetics Code", *Electronics Technical Reports No. 2014-3*, ISSN 1172-496X, October 2014.
- [13] Moxon Rectangle Generator (MoxGen), URL: <https://ac6la.com/moxgen1.html>. (Visited on Nov. 19, 2018).
- [14] 4nec2 Antenna Modeller and Optimizer, URL: <https://www.qsl.net/4nec2/>. (Visited on Nov. 19, 2018).
- [15] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 4 edition. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2016.

Soğuk İklim Bölgelerinde Bitki Topluluklarının Sıcaklık Etkileri: Erzurum Ata Botanik Bahçesi

¹Sevgi Yılmaz *¹Mehmet Akif Irmak ¹Emral Mutlu ¹Hasan Yılmaz
¹Atatürk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Erzurum.
mairmak@atauni.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 13.11.2018

Kabul Tarihi: 30.05.2019

Öz

Günümüzde yapılmış olan birçok termal konfor çalışmasına bakıldığında; sıcak iklimlerde bitkilerin tek başlarına ya da topluluklar halinde serinletme etkileri araştırılmaktadır. Kış ayları için yapılan çalışmalarda ise bitkilerin ısıtma etkisi daha çok önem arz etmektedir. Bitkilerin ısıtma etkisi kentlerde iklimi iyileştirirken aynı zamanda kentin ısınmasında da enerji tasarrufu sağlamaktadır. Yapılan çalışmalar bitkilerin aksine sert zeminlerin kışın serinletme etkisinin fazla, yazın ise daha sıcak olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, ekstrem kış kenti koşulları bulunan Erzurum'da Ata Botanik Bahçesindeki bitkilerin ve sert zeminin termal konfora etkisi araştırılmıştır. Yüze sıcaklıkları 2017 kış ayları boyunca havanın açık olduğu farklı günlerde, saat 09:00, 13:00 ve 16:00 da hassas termal kamera ile görüntüler alınmıştır. Aynı zamanda, Sky-View Factor (SVF) ölçümleri ile sıcaklık ve nem değerleri de analiz edilmiştir. Kış aylarında Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ile Huş (*Betula alba* L.) toplulukları ve alandaki otoparktan alınan ölçümlerde en iyi termal konforu, ortalama 1.8 °C daha sıcak çıkan Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) toplulukları sağlamıştır. Karla kaplı otoparkların yaydığı yüzey sıcaklığının diğerlerine göre ortalama 3.2 °C daha serin çıktığı belirlenmiştir. Yapılan çalışma göstermiştir ki; sert geçen kış kentlerinde termal konforu sağlamak amacıyla ibrelili ağaç korulukları oluşturulmalı ve geniş sert zeminler oluşturmaktan kaçınılmalıdır. Ayrıca doğal bitkilerin kentsel mekanda kullanılması termal konforlu, enerji tasarruflu ve ekolojik planlamalar için gereklidir.

Anahtar Kelimeler: Soğuk iklim, ısıtma etkileri, termal konfor, ağaçlar

Heating Effects of Plant Communities in Cold Climate Regions: Erzurum Ata Botanic Garden

¹Sevgi Yılmaz *¹Mehmet Akif Irmak ¹Emral Mutlu ¹Hasan Yılmaz
¹Atatürk University, Architectural and Design Faculty, Department of Landscape Architecture, Erzurum.
mairmak@atauni.edu.tr

Abstract

The heating effect of the plants is important for regulating thermal comfort in winter. The heating effect of the plants improves the climate in the cities and at the same time saves energy in the warming of the city. Studies indicate that hard floors in contrast to plants have more cooling effect in winter and warmer in summer. Plants also clean the intense polluted air in cities during winter months. The objective of this study was to determine the effect of thermal comfort of plants and hard floors in the Ata Botanical Garden in Erzurum. Substrate temperatures were taken at different times during the 2017 winter months at 09.00, 13.00 and 16.00 with a thermal camera. In addition, temperature and humidity values were measured with the Sky-View Factor (SVF) measurements at the same time. The results indicated that Scots pines (*Pinus sylvestris* L.) ensured the best thermal comfort with an average 1.8 °C warmer surface as compared to the others; Birch (*Betula alba* L.) communities and the parking lot in the area. The average surface temperature of snow-covered parking lots was about 3.2 °C cooler than the others. The results of this study clearly indicated that the climate can be positively affected creating coniferous trees woodland with the aim of providing thermal comfort in the hard winter cities and the use of natural plants on urban space is necessary for thermal comfort ecological planning.

Keywords: Cold climate, heating effects, thermal comfort, trees.

*¹ Sorumlu Yazar. Atatürk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Erzurum, mairmak@atauni.edu.tr, Tel:05424540459

Doi: 10.21541/apjes.482207

1. GİRİŞ

Dünyanın temel ısı kaynağı olan güneş, canlılığın temel unsurlarından biri olmanın yanında; yaşadığımız dış mekânların konforu üzerinde de etkili faktör olarak en başta gelmektedir. Güneşten yayılan ışınların gezegenimize ulaşarak atmosfer içerisinde bulunan taneciklere ve ardından yer yüzeyine çarpması ile ısıya dönüşümü süreci güneş radyasyonu olarak adlandırılmaktadır. Bu süreç canlı yaşamının sürdürülmesi amacıyla gerekli olan ısının oluşturulmasının yanında, hidrolojik döngü, fotosentez ve diğer iklim parametreleri gibi faktörler üzerinde en etkili süreçtir. Yer yüzeyinin ne ile kaplı olduğu ise güneşten gelen ışınların yansıtılması ve tutulması açısından oldukça önemlidir. Güneşten gelen ışınların yeryüzüne ulaşmasından sonra bir kısmı tutulmakta, bir kısmı ise yansıtılarak atmosfere geri gönderilmektedir. Yeryüzünde bulunan materyallerin güneşten gelen ısıyı tutarak, güneş kaybolduktan sonra çevresine bu ısıyı vermeleri olayına ise "karasal radyasyon" denilmektedir [1-2].

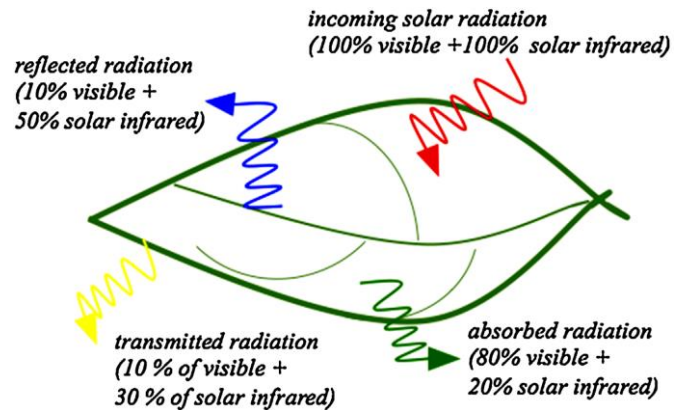
Yer yüzeyi üzerindeki ısı tutma potansiyeli yüksek olan sert zeminlerdeki artış, karasal radyasyonun artmasına neden olurken; bu durum kentsel ısı adası oluşumuna sebep olan faktörlerin başında gelmektedir.

Kentsel mekânlarda dış mekân kullanımını sağlayan teraslar, kaldırımlar ve otopark gibi alanları oluşturan sert zemin yüzey kaplamaları üzerinde oldukça fazla çalışmalar yapılmaktadır. Bu alanların özellikle kentsel ısı adası oluşumu üzerine etkileri vurgulanmakta ve genelde sıcak kentler ya da sıcak yaz dönemleri üzerinde durulmaktadır [3-4-5].

Birleşmiş Milletler'in 2016 yılı Dünya Şehirleşme Raporlarına göre dünya nüfusunun %54.5'i kentlerde yaşamakta olup, bu oranın 2030 yılına kadar %60'a ulaşması beklenmektedir [6]. Kentsel alanlardaki nüfus artışına paralel olarak kentsel mekânlarda yaşanan yoğun yapılaşma, yeşil ve açık alanların azalması, termal konforlu mekânların azalmasına yol açmaktadır. Kentsel mekânda dış ortamlarda termal konforu etkileyen canlı ve cansız materyaller üzerinde sürekli çalışmalar yapılmaktadır. Termal konforu olumlu yönde etkileyen ağaç türleri, yoğunlukları ve çeşitliliği gibi konularda oldukça fazla çalışmalar yapılmaktadır [7-8-9-10-11-12]. Özellikle ağaçların dal ve yaprakları ile güneş radyasyonunu hafiflettikleri ve buharlaşma ile ısı akışını artırarak ortamı serinlettikleri vurgulanmaktadır [10-13].

Kentsel dış mekânda yapılan çalışmalarda yeşil alanların sayısız yararlarının yanında, termal konforu ve kent mikro iklimini olumlu etkilediği belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda yeşil alanlarındaki termal konforun kentsel mekâna göre daha iyi olduğu vurgulanmaktadır [14-15]. Yeşil alanlar ve özellikle ağaçlık alanlar, güneşten gelen özellikle kısa dalga boylu radyasyonun büyük bir kısmını kendisi absorbe ettiğinden yaz dönemlerinde atmosferin aşırı ısınmasını kısmen engellerler [16].

Bitkiler özellikle terleme, güneş ışıklarını yansıtma, ısı tutma, gölgeleme ve rüzgârın azaltılması veya yönlendirilmesi gibi fonksiyonları ile mikro iklim katkı yaptıkları bilinmektedir. Bitkiler, terleme için ihtiyaç duydukları enerjiyi büyük ölçüde çevresindeki havadan alır ve bu bitki çevresinde daha serin bir alan oluşmasına katkı sağlarlar. Güneşten gelen ışının enerjisi cisimlere çarptığında ısıya dönüşmektedir. Bitki güneşten gelen bu ışınların bir kısmını yansıtmakta ve böylece ısıya dönüşmeden atmosfere göndermektedir. Bir kısmını ise yaprak ve dal yüzeyinde tutmaktadır. Bu yolla gölgeleme sağlanmakta ve bitki alt kısımları serin kalmaktadır. Bitkilerin yaprakları vasıtasıyla mikro iklim etkileri Şekil 1'de görülmektedir. Bitkilerin rüzgâr azaltma ve yönlendirme özellikleri de kentsel mikro iklim üzerinde olumlu veya olumsuz etkilere sebep olabilmektedir. Yoğun kullanıldıklarında rüzgâr hızının azalması sıcaklık artışına sebep olurken, planlı olarak yapılan ve rüzgâr koridoru şeklinde tasarlanan ağaçlar sıcak iklimli kentlerde veya sıcak dönemlerde termal konforu olumlu etkilemektedir [17-18].



Şekil 1. Bitki yaprakları tarafından emilen (yeşil), yansıtılan (mavi) ve iletilen (sarı) güneş ışınları [18].

Günümüzde bitkilerin kentlerdeki fonksiyonları incelenirken soğuk kentlerde veya kış dönemlerindeki mikro iklim etkileri ile ilgili çalışmalar istenilen seviyelerde değildir. Özellikle karla kaplı yüzeylerde güneş radyasyonu ve karasal radyasyonun durumu, bitkilerin karla kaplı dönemlerdeki mikro iklim fonksiyonları gibi konuların daha fazla araştırılması, kış kentleri açısından önem taşımaktadır.

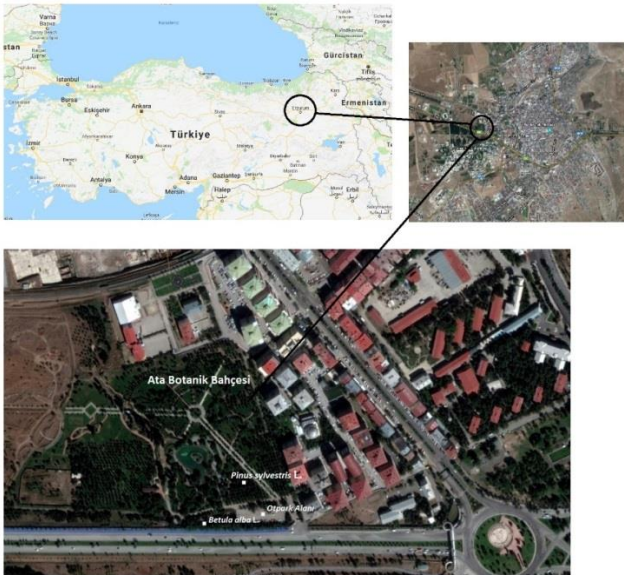
Erzurum kenti de iklim koşullarının yaşam şartlarını olumsuz etkilediği kentlerden biri olarak dikkat çekmektedir. Yapılan bu çalışma ile soğuk ve uzun geçen kış koşullarının kentsel alanlarda yaşayan halk için oluşturduğu olumsuzlukların giderilmesi, kentsel mikro klima alanlarının sağlanması bakımından yapılabilecekler için yol gösterici olması hedeflenmiştir. Çalışmada dış mekânda termal konforu belirlemek için termal kamera kullanımı [8,19-20] ve kullanılan bitkilerde Gökyüzü Görünürlük Oranı (SVF) [7-10-21] gibi ölçümler yapılarak karla kaplı yüzeylerde bitkilerin rolü belirlenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışma Türkiye'nin doğusunda bulunan Erzurum kentinde yürütülmüştür. Kent kış dönemlerinde -37°C ye varan düşük sıcaklıkları ile ülkenin en soğuk kentlerinden biri olarak dikkat çekmektedir. Yaklaşık 1850 m rakımda kurulu olan kent ve çevresinde karın yerde kalma süresi yıllık 113 gün ortalamasına sahiptir. Kış dönemleri ağır şartlara sahip olan kentte yaz dönemleri ise sıcak ve kurak geçmekte, zaman zaman 36°C 'lere varan sıcaklıklar da görülebilmektedir.

Çalışma kapsamında ölçümler, kent merkezinde bulunan 35 hektar büyüklükteki Ata Botanik Bahçesinden alınmıştır. Özellikle kış aylarında dış mekân konforunu elde etmek için analizler yapılmıştır. Bu amaçla 2017 yılı kış ayında, Ata Botanik Bahçesinin çevresindeki yüksek bir yapıdan yüksek çözünürlüklü termal kamera ölçümleri alınmıştır. Görüntü kayıtlarında Optris® PI-450 (Optris, Berlin, Germany) marka yüksek hassasiyetli termal kamera kullanılmıştır. Bu görüntüler saat 09:00, 13:00 ve 16:00 da alınmış ve kaydedilmiştir. Aynı ölçüm saatlerinde ortamın sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) ve nem (%) değerleri de ölçülmüştür. Termal kamera ölçümü yapılan alanda bulunan ağaçların altında, fotoğraf makinasına takılan balık gözü lensle çekimler yapılmış ve bu ağaçların gökyüzü görünürlük oranı (Sky View Factor=SVF) belirlenmiştir. Çalışma alanının konum haritası Şekil 2'de verilmiştir.

Gökyüzü görünürlük oranı (SVF) tamamen kapalı ve tamamen açık olduğunu gösteren 0 ile 1 arasında değer alır. Rakam 1'e yaklaştıkça gökyüzü görünürlüğü artarken, 0'a yaklaştığında ise görünürlük oranı düşmektedir [22].



Şekil 2. Çalışma alanı konum haritası.

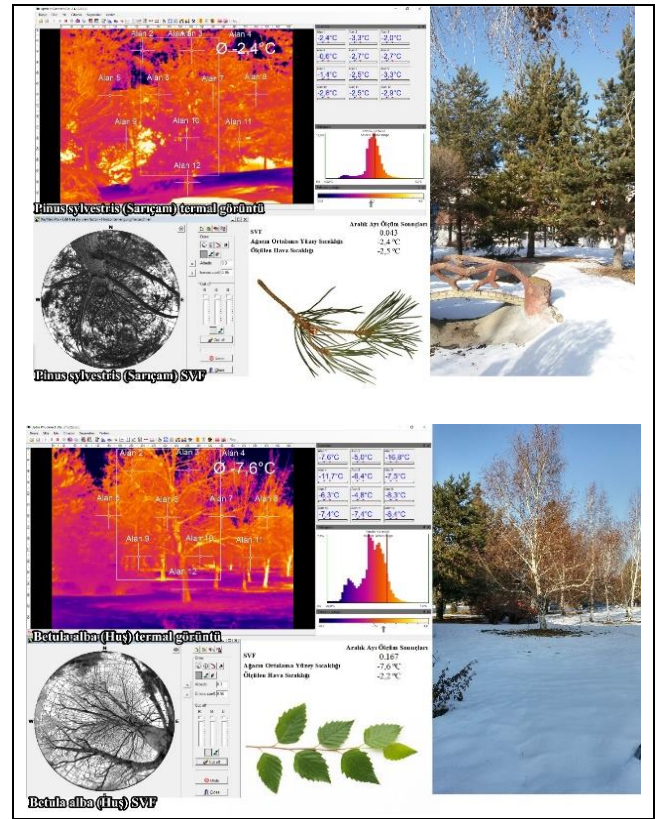
3. BULGULAR

Çalışma kapsamında yapılan ölçümler kış dönemlerinde ve yer yüzeyinin karla kaplı olduğu dönemde yapılmıştır. Kış

dönemlerinde botanik bahçesinin kapalı veya kullanılmıyor olmasından dolayı gerek otopark yüzeyi ve gerekse ağaç altları ölçüm yapılan dönemde yaklaşık 40 cm kar örtüsü ile kaplı durumdadır.

Bitkilerden alınan SVF görüntüleri ise bitkilerin alt kısmına ulaşan ve buradan yansıyan ışıklar açısından, yaprak ve dal sıklığına bağlı olarak bitkinin yüzeyinde absorbe ettiği ısı açısından ve ibreli-geniş yapraklı bitkilerde ısı absorpsiyonunun tespiti açısından önem taşımaktadır.

Kış döneminde yapılan ölçümlere göre, *Pinus sylvestris* L. (Sarıçam) bitkisi için SVF değeri 0.043 olurken, bu değer *Betula alba* L. (Huş) bitkisi için 0.167 olarak belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Kış dönemlerinde *Pinus sylvestris* L. (Sarıçam) ve *Betula alba* L. (Huş) bitkileri için SVF (Sky View Factor=Gökyüzü Görünürlük Oranı) değerleri.

Çalışma kapsamında yüksek çözünürlüklü termal kamera ile yapılan ölçümler saat 09.00, 13.00 ve 16.00'da gerçekleştirilmiştir. Termal kamera, güneşten gelip yeryüzüne çarparak ısıya dönüşen yüzeylerde sıcaklık tespiti yapmakta olup; bu amaçla sarıçam ve huş koruluklarının bitki taç yüzeyleri ile üzeri karla kaplı bir otoparkın yüzey sıcaklıkları değerlendirilmiştir. Bu şekilde yıllık 113 gün ortalama karla kaplı gün sayısına sahip olan Erzurum kentinde karla kaplı gün sayısına sahip olan Erzurum kentinde kışın yapraklı (*Pinus sylvestris* L.) ve yaprak döken (*Betula alba* L.) bitkilerinin etkileri termal konfora belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan ölçümlere ilişkin veriler Tablo 1'de görülürken; üç farklı

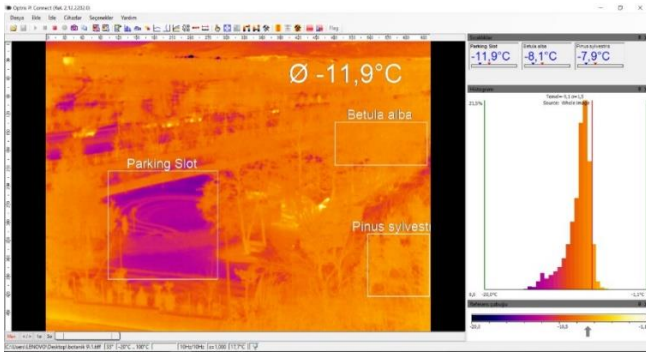
saatte alınan termal kamera görüntüleri ise Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.

Tablo 1. Çalışma alanlarının yüzey sıcaklıkları.

	09.00 (°C)	13.00 (°C)	16.00 (°C)	Ortalama (°C)
Otopark Alanı	-11.9	-10.9	-7.2	-10.0
Betula alba koruluğu	-8.1	-7.3	-4.1	-6.5
Pinus sylvestris koruluğu	-7.9	-6.8	-3.8	-6.1

Termal kamera ile alınan yüzey sıcaklıklarının 09.00, 13.00 ve 16.00 saatlerindeki ortalamaları incelendiğinde karla kaplı otopark alanında yüzey sıcaklığının -10.0°C 'ye kadar düştüğü, sarıçam koruluğu yüzeyinin ortalama -6.1°C 'ye kadar ısınabildiği ve yapraksız olan huş koruluğunun da -6.5°C sıcaklık gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 1).

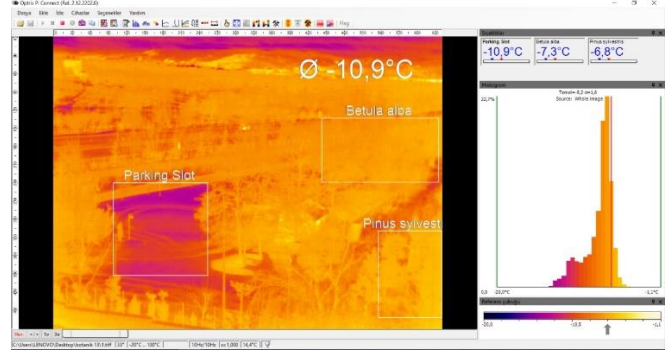
Güneşin ısıtma etkisinin zayıf olduğu sabah saatlerinde otopark alanı üzerinde ölçülen sıcaklık oldukça düşük çıkarken; bu değer -11.9°C 'ye ulaşmıştır. Aynı saatte sarıçamlar üzerinde ölçülen sıcaklık -7.9°C olarak ölçülmüştür. Otopark alanı ile sarıçam yüzeyleri arasında 4.0°C sıcaklık farkı oluşurken bu değer otopark ile huş yüzeyleri arasında 3.8°C olarak ölçülmüştür (Şekil 4).



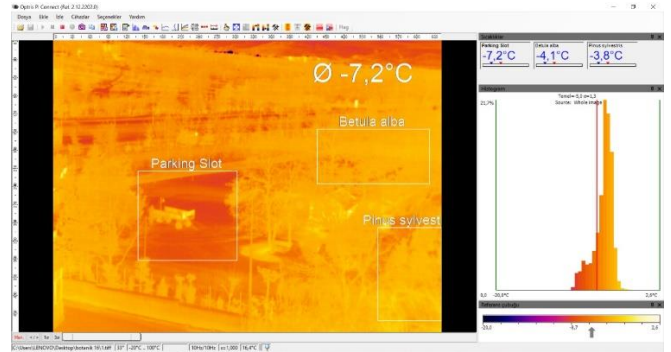
Şekil 4. Saat 09.00 için termal kamera analizi.

Saat 13.00'da otopark alanı üzerinde ölçülen sıcaklık -10.9°C olarak ölçülmüştür. Öğlen saatlerinde güneşin etkisini artırması ile birlikte otopark yüzeyindeki sıcaklık da 1.0°C artmıştır. Aynı saatte sarıçamlar üzerinde ölçülen sıcaklık -6.8°C olarak ölçülmüştür. Huş yüzeyleri üzerindeki sıcaklık ise -7.3°C olarak ölçülmüştür (Şekil 5).

Güneşin ısıtma etkisinin yüksek olduğu ve yüzeyleri ısıttığı bir saat olan 16.00'da ise otopark yüzeyindeki sıcaklık değeri -7.2°C 'ye kadar yükselerek gün içerisindeki en yüksek değere ulaşmıştır. Benzer şekilde sarıçam yüzeyleri de en yüksek sıcaklık değerine ulaşarak -3.8°C 'ye çıkmıştır. Huş yüzeyleri ise -4.1°C 'ye kadar yükselmiştir. Otopark alanı ile çam yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ise 3.4°C olarak ölçülmüştür (Şekil 6).

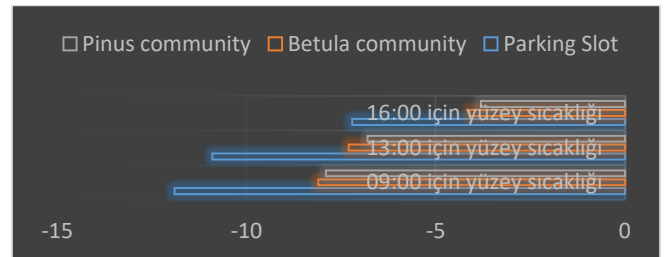


Şekil 5. Saat 13.00 için termal kamera analizi.



Şekil 6. Saat 16.00 için termal kamera analizi.

Çalışma kapsamında elde edilen yüzey sıcaklıklarının grafik gösterimlerinin yer aldığı Şekil 7. İncelendiğinde; sarıçam yüzey sıcaklıklarının tüm saatlerde diğer yüzeylere göre daha sıcak olduğu ve güneşe maruz kalmasına rağmen karla kaplı açık-yeşil alanların ağaçlık alanlara göre daha soğuk değerlere sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Çalışma alanlarının yüzey sıcaklıkları için grafik gösterimleri

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Kent termal konforunu ve mikro iklimini araştırmak amacıyla dünyanın farklı iklim bölgelerinde birçok çalışmalar yapılmıştır [23-24-25-26-27-28-29]. Bu çalışmalarda genel olarak kentsel ısı adası üzerinde durulmuştur. Soğuk iklim koşullarına sahip ve kar örtüsünün uzun süre kaldığı kentlerde güneş radyasyonu dramatik bir şekilde azalmakta, güneş ışınlarının kar örtüsüne çarparak atmosfere geri dönmesi sonucunda kent mikro iklimi değişimler yaşamaktadır. Meydana gelen albedo, kentsel alanlarda termal konfor üzerinde olumsuzluklara neden olmaktadır.

Kış dönemlerinde, kar örtüsü atmosfer ile yer yüzeyi arasında gerçekleşen ısı ve nem değişimleri üzerinde önemli bir rol oynamaktadır [23]. Walsh ve ark. [30], çalışmalarında, kar örtüsünün ABD genelinde aylık sıcaklıktaki değişimin yaklaşık % 10-20'sini oluşturduğunu belirlemiştir.

Zhang ve ark. [31], çalışmalarında bitki örtüsünün gerek kış dönemlerinde ve gerekse yaz dönemlerinde, dış mekân termal konforu üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında bitki örtüsünün yaz dönemlerinde konfor üzerinde olumlu etkiler sağladığını, kış dönemlerinde ise özellikle yaprak dökmeyen ağaçların gölge etkisinden dolayı termal konfor üzerinde olumsuz etkilere sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Ancak yapılan bu çalışmada yeryüzünün karla kaplı olmaması nedeniyle, ağaçlar yer yüzeyine ulaşacak ışık miktarını azaltmakta ve bu da yer yüzeyinde tutulabilecek ısı miktarını düşürmektedir.

Yapılan bu çalışma kapsamında ağaç yüzeylerinin kar örtüsünü tutmaması nedeniyle güneşten gelen ışınların çarpması sonucu bir kısmının ısıya dönüşerek, karla kaplı zeminlere göre daha sıcak oldukları tespit edilmiştir.

Normal koşullar altında kaplı yüzeylerden oluşan otopark alanlarının güneş etkisi ile ısı absorbe etmesi ve kentsel ısı adası oluşumuna katkı vermesi beklenmektedir. Ancak bu çalışma kapsamında yapılan ölçümler göstermektedir ki; karla kaplı olan otopark alanında güneş ışınlarının albedo sonrasında atmosfere geri dönmesi ile bu alanda ölçülen yüzey sıcaklıkları -11.9°C 'ye kadar düşmüştür.

Yaprak döken bir ağaç olan *Betula alba* L. (Huş) bitkisi koruluğunda kış dönemlerinde alınan termal görüntüler incelendiğinde, güneşten gelen ısıyı absorbe yeteneğinin, yaprak dökmeyen *Pinus sylvestris* L. (Sarıçam) ağacına göre düşük olduğu görülmüştür. Bu kapsamda ağaçlardan alınan SVF değerlerinin de önemi görülmektedir. Daha sık, kompakt dal ve yaprak yapısına sahip olan ve yaprak dökmeyen sarıaçamların 0.043 gibi düşük bir SVF değerine sahip olduğu, kapallılık oranı daha az olan ve yaprak döken Huş ağaçlarının 0.167 SVF değerine sahip olduğu görülmektedir. Yaprak ve dal sıklığı arttıkça SVF düşmektedir. Yaprak ve dal sıklığındaki artış ise güneşten gelen ışınların çarparak yansımadan büyük çoğunluğunun ısıya dönüşmesine neden olmaktadır. Yapılan bu çalışma kapsamında da elde edilen sonuçlar bu durumu desteklemektedir.

Kar örtüsünün uzun süre yerde kaldığı ve kış şartlarının zorlu geçtiği soğuk kentlerde, güneş ışınlarının yerde bulunan kar yüzeyleri tarafından yansıtılması ve atmosfere geri gönderilmesi, ortamın soğumasına, bu da yaşam konforunun düşmesine neden olmaktadır. Kış dönemlerinde kar örtüsünün yoğun bir çaba ile temizlenmesi ve kentten uzaklaştırılması durumunda albedosu kar örtüsüne göre çok daha düşük olan asfalt, beton, kaplı kaldırımlar, yeşil yüzeyler ve benzeri kentsel kaplama yüzeyleri tekrar ısınmaya başlamakta ve kar örtüsünün temizlenmediği kent

çevresindeki kırsal alanlara göre daha sıcak olmaktadır. Bu durum Erzurum kenti ile komşu olan Erzincan ilinde Toy ve Yılmaz [32] tarafından yapılan bir çalışmada değerlendirilmiştir. Yaklaşık 10 yıllık iklim verilerinin değerlendirildiği çalışma sonucunda; Erzincan gibi kırsal alanları kış dönemlerinde karla kaplı bir kentte, kentsel alanların daha konforlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Karla kaplı gün sayısı ortalamasının yıllık 113 gün olduğu Erzurum kentinde yapılan bu çalışma kapsamında yaprak dökmeyen bir ağaç olan Sarıçamdan oluşan korulukların ağaç taç yüzeylerinde, otopark gibi açık alanlardan ve yaprak döken huşlardan oluşan koruluklardan daha fazla ısı tuttukları belirlenmiştir. Bu nedenle Erzurum gibi soğuk ve karın yerde kalma süresi uzun olan kentlerde Sarıçam gibi yaprak dökmeyen bitkilerden oluşan korulukların yapılması, kış kentinde albedoyu düşürmekte, bu da kent mikro iklimi üzerinde olumlu etkilere sebep olmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 2150627 nolu 1001 projesi kapsamında alınan alet ve ekipmanlar kullanılarak yapılmıştır.*Bu çalışma ISEM 2018 sempozyumunda "Soğuk İklim Bölgelerinde Bitki Topuluklarının Sıcaklık Etkileri: Erzurum Ata Botanik Bahçesi" başlıklı bildiri olarak sunulan çalışmadan geliştirilerek hazırlanmıştır.


KAYNAKÇA

- [1] Çepel N. Peyzaj Ekolojisi Ders Kitabı. İstanbul Üniversitesi Yayın No:3510, 1988. 215s.
- [2] Şarlak N., Güven A. Global güneş radyasyon tahmini: Gaziantep uygulaması. 2016. İMO Teknik Dergi, 7561-7568.
- [3] Jongtanom Y., Kositanont C., and Baulert S. Temporal variations of urban heat island intensity in three major cities, Thailand.. Mod. Appl. Sci. 2011, 5 (5), 105–110.
- [4] Correa EN, Ruiz MA, Cantón A, and Lesino G. Thermal comfort in forested urban canyons of low building density. An assessment for the city of Mendoza. Build. Environ. 2012, 58:219-230
- [5] Irmak MA., Yılmaz S., and Dursun D., Effect of different pavements on human thermal comfort conditions. Atmosfera 2017, 30(4), 355- 366, DOI:10.20937/ATM.2017.30.04.06
- [6] Anonymous. United Nations, The World's Cities, Economics and Social Affairs Data Booklet. 2016, 29p.
- [7] Ng E., Chen L., Wang Y., and Yuan C. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: an experience from Hong Kong. Build. Environ. 2012, 47,256–271.
- [8] Aguiar AC., French K., and Chisholm LA. A comparison of the ameliorating effects of native and exotic street trees on surface heat retention at dusk. Urban Climate 2014, 10 (2014) 56–62.

- [9] Lee H., Mayer H., and Chen L. Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 148, 37–50.
- [10] Kong FH., Yan WJ., Zheng G., Yin HW., Cavan G., Zhan WF., Zhang N., and Cheng L.. Retrieval of three-dimensional tree canopy and shade using terrestrial laser scanning (TLS) data to analyze the cooling effect of vegetation *Agric. For. Meteorol.*, 2016, 217: 22-34.
- [11] Yilmaz S., Mutlu E., Yilmaz H., 2018. Alternative Scenarios For Ecological Urbanizations Using ENVI-Met Model. *Environmental Science and Pollution Research*, 25 (26): 26307–26321.
- [12] Irmak MA., Yilmaz S., Mutlu E., and Yilmaz H. Assessment of the effects of different tree species on urban microclimate. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1697-8> in press.
- [13] Thom JK., Coutts AM., Broadbent AM., and Tapper NJ. The influence of increasing tree cover on mean radiant temperature across a mixed development suburb in Adelaide, Australia. *Urban For. Urban Green.*, 2016, 20: 233- 242.
- [14] Shashua-Bar L., and Hoffman ME. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees *Energy Build.*, 2000, 31 (3): 221-235.
- [15] Hendel M., Azos-Diaz K., and Tremeac B. Behavioral adaptation to heat-related health risks in cities *Energy Build.*, 2017, 152: 823-829.
- [16] Kayhan M. Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye. Küresel İklim Değişikliği Kongresi, 2007.
- [17] Hsieh CM, Jan FC, and Zhang L. A simplified assessment of how tree allocation, wind environment, and shading affect human comfort. *Urban Forestry Urban Greening* 2016, 18:126–137.
- [18] Kong L, Lau KKL, Yuan C, Chen Y, Xu Y, Ren C, and Ng E. Regulation of outdoor thermal comfort by trees in Hong Kong. *Sustainable Cities Soc.* 2017, 31:12–25.
- [19] Ginner S, Vogt J, Tharang A, Dettmann S, and Roloff A. Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites. *Landscape and Urban Planning*, 143, 33-42. doi:10.1016/j. landurbplan. 2015, 2015.06.005
- [20] Aubrecht DM, Helliker BR, Goulden ML, Roberts DA, Still CJ, and Richardson AD. Continuous, long-term, high-frequency thermal imaging of vegetation: Uncertainties and recommended best practices. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2016, 228, 315-326. doi:10.1016/j.agrformet.2016.07.017.
- [21] Tan Z, Lau K K L, and Ng E. Planning strategies for roadside tree planting and outdoor comfort enhancement in subtropical high-density urban areas. *Building and Environment*, 2017, 120, 93-109.
- [22] De Souza LCL. Thermal environment as a parameter for urban planning. *Energy Sustainable Dev.* 2007, 11(4):44–53.
- [23] Shui T, Liu J, Zhang P, Liu S, and Zhao Z. Development of an urban canopy model for the evaluation of urban thermal climate with snow cover in severe cold regions. *Building and Environment*, 2016, 95, 160-170.
- [24] Busato F, Lazzarin RM, and Noro M. Three years of study of the Urban Heat Island in Padua: Experimental results. *Sustainable Cities and Society*, 2014, 10, 251-258.
- [25] Chun B., and Guldmann, JM. Spatial statistical analysis and simulation of the urban heat island in high-density central cities, *Landsc. Urban Plan.* 2014, 125, 76-88.
- [26] Pandey P, Kumar D, Prakash A, Masih J, Singh M, Kumar S, and Kumar K. A study of urban heat island and its association with particulate matter during winter months over Delhi. *Science of the Total Environment*, 2012, 414, 494-507.
- [27] Li YY., Zhang H, and Kainz W. Monitoring patterns of urban heat islands of the fast-growing Shanghai metropolis, China: using time-series of Landsat TM/ ETM_s data, *Int. J. Appl. Earth Observat. Geoinformat.* 2012, 19, 127-138.
- [28] Kolokotroni M, and Giridharan R. Urban heat island intensity in London: an investigation of the impact of physical characteristics on changes in outdoor air temperature during summer, *Sol. Energy* 2008, 82, 986-998.
- [29] Lokoshchenko MA. Urban ‘heat island’ in Moscow, *Urban Clim.* 2014, 10, 550-562.
- [30] Walsh JE, Tucek D R., and Peterson MR. Seasonal snow cover and short-term climatic fluctuations over the United States. *Monthly Weather Review*, 1982, 110(10), 1474-1486.
- [31] Zhang L, Zhan Q, and Lan Y. Effects of the tree distribution and species on outdoor environment conditions in a hot summer and cold winter zone: A case study in Wuhan residential quarters. *Building and Environment*, 2018, 130, 27-39.
- [32] Toy S, and Yilmaz S. Evaluation of urban-rural bioclimatic comfort differences over a ten-year period in the sample of Erzincan city reconstructed after a heavy earthquake. *Atmósfera*, 2010, 23(4), 387-402.

Effect of PWHT on Mechanical Properties of High Temperature and Pressure Resistant Nuclear Power Plant Steel Welded with SMAW and GTAW Methods

Polat Topuz

İstanbul Gedik University, Gedik Vocational School, Welding Technology Program,
Suluntepe Mah. Yunus Emre Cad. No:1/1, 34913
Seyhli -Pendik -İstanbul –Turkey,
polat.topuz@gedik.edu.tr, 

Research Paper

Arrival Date: 09.05.2018

Accepted Date: 02.06.2019

Abstract

This research aims at effect of Post Welding Heat Treatment (PWHT) on mechanical properties of 2.25Cr1Mo (P22) high temperature and pressure resistant nuclear power plant steel welded with GTAW (gas tungsten arc welding) and SMAW (shielded metal arc welding). Pre-heating was applied to the materials to be welded at 200°C before welding processes. Welding processes of materials were performed at room temperature. After welding processes, post weld heat treatment (PWHT) was applied at 750°C for 2 hours. Before and after the PWHT, welded materials were prepared in accordance with EN standards for tensile, bending, impact, hardness tests and macrostructure examinations for the investigation of mechanical properties.

Keywords: PWHT, Preheating, 2.25 Cr1Mo Steel, GTAW, SMAW.

SMAW ve GTAW Metotları ile Kaynaklanmış Yüksek Sıcaklık ve Basınç Dirençli Nükleer Enerji Santrali Çeliğinin Mekanik Özelliklerine Kaynak Sonrası Isıl İşleminin Etkisi

Polat Topuz

İstanbul Gedik University, Gedik Vocational School, Welding Technology Program,
Suluntepe Mah. Yunus Emre Cad. No:1/1, 34913
Seyhli -Pendik -İstanbul –TURKEY, polat.topuz@gedik.edu.tr

Öz

Bu çalışma, GTAW (gaz tungsten ark kaynağı) ve SMAW (elektrik ark kaynağı) ile kaynaklanmış 2.25Cr1Mo (P22) yüksek sıcaklık ve basınç dayanıklı nükleer santral çeliğinin mekanik özellikleri üzerine Kaynak Sonrası Isıl İşleminin (PWHT) etkisini araştırmayı amaçlamaktadır. Kaynak işlemlerinden önce kaynak yapılacak malzemelere 200 °C' de ön ısıtma uygulanmıştır. Malzemelerin kaynak işlemleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemlerinden sonra kaynak sonrası ısıl işlem (PWHT) 2 saat süreyle 750 °C' de uygulanmıştır. PWHT'den önce ve sonra, EN standartlarına göre hazırlanan kaynaklı malzemelerin, mekanik özelliklerin incelenmesi için, çekme, eğme, darbe, sertlik testleri ve makro yapı testleri uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: PWHT, Ön ısıtma, 2.25 Cr1Mo Çeliği, GTAW, SMAW.

1. INTRODUCTION

High temperature, pressure, creep and corrosion resistant 2.25Cr1Mo steel can be used for a long time at construction of thermal and nuclear generation, chemical and petroleum plants [1].

The original microstructure of typical 2.25Cr1Mo consist of ferrite and small amounts of pearlite and martensite. This microstructure is located at Figure 1. On the other hand, it can have different microstructure due to different heat

Corresponding Author: İstanbul Gedik University, Gedik Vocational School, Welding Technology Program, Suluntepe Mah. Yunus Emre Cad. No:1/1, 34913, Seyhli -Pendik -İstanbul –Turkey, polat.topuz@gedik.edu.tr, 0216 595 2155

Doi: 10.21541/apjes.422153

treatments [2]. (For example: preheat or postheat welding heat treatments).

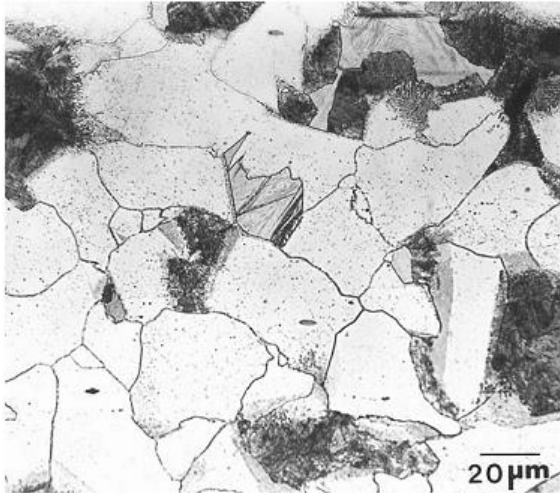


Figure 1. Original Microstructure of 2.25Cr1Mo [2]

Preheating operation is very important prior to welding for this type steels. This process provides thermal energy to the regions surrounding the weld resulting in slower conduction of welding heat away from the weldment. Preheat also provides practical benefits such as decreasing the amount of atmospheric water vapour condensation on a work piece before welding. Moreover, if it is carried out over the ambient temperature over a long period of time, it also results in more hydrogen effusion from the weldment with a corresponding decrease in hydrogen-cracking sensitivity [3].

In this study, two types of welding methods are applied on 2.25Cr1Mo steel plates. One of these method is SMAW. This method is a common method used in the welding of 2.25Cr1Mo steel. SMAW uses heat produced by an electric arc to melt a covered electrode and the welding joint at the base metal. During operation, the rod core both conduct electric current to produce the arc and provides filler metal for the joint. The core of the covered electrode consists of either a solid metal rod of drawn or cast material or a solid metal rod fabricated by encasing metal powders in a metallic sheath [4]. Schematic SMAW process shown in Figure 2.

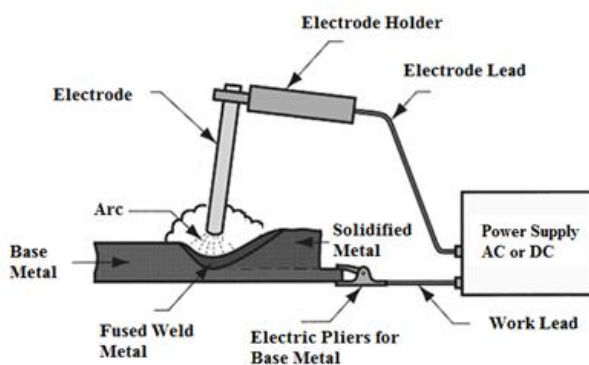


Figure 2. Schematic SMAW Process [5]

The other welding method is GTAW. This method involves striking an arc between a non-consumable tungsten electrode and the work piece. The weld pool and the electrode are protected by an inert gas, usually argon, supplied through a gas cup at the end of the welding torch, in which the electrode is centrally positioned. GTAW is used for applications such as joining pipes and welding of tubes in to the end plates of heat exchangers [6]. Schematic GTAW process shown in Figure 3.

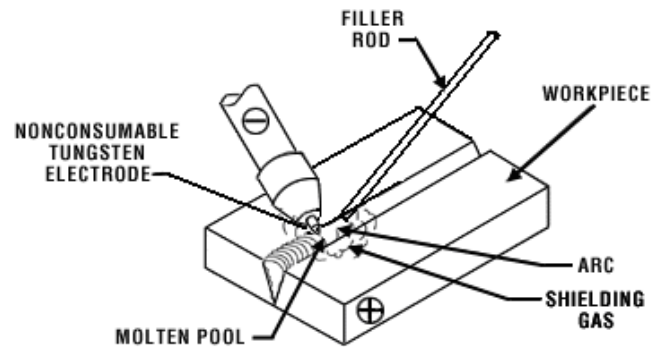


Figure 3. Schematic GTAW Process [7]

The ASME Boiler and Pressure Vessel Code requires a post weld heat treatment (PWHT) for welded P22 steel. Residual stresses that occur during welding adversely affect the performance of welded joints. The remaining stresses can be reduced by post-weld heat treatment (PWHT) [8]. Post weld heat treatment (PWHT) is a technique for improving the properties of weldments by subjecting them to a homogenizing heat treatment [3]. The most important feature of post weld heat treatment is to prevent brittle fracture of welded joint. Post-weld heat treatment softens the hardened areas and facilitates machining of the welded material. Where dimensional stability is important, residual stresses must be eliminated. Heat treatment can be applied by stress relieving annealing or solution annealing processes depending on the requirements [9].

2. MATERIAL AND METHOD

In this study, two different welding methods were applied for joining 2.25Cr1Mo steel. The chemical analysis results obtained by optical emission spectrometry are shown in Table 1.

Table 1. Chemical composition of 2.25Cr1Mo steel

2.25Cr1Mo (P22)	% C	% Si	% Mn	% P
	0,09	0,38	0,34	0,02
	% S	% Cu	% Cr	% Mo
	0,02	0,01	2,31	0,99

According to the results of the chemical analysis, after understanding that this material is P22 (normalized: 970°C for 30 min. then tempered:700°C for 32 min. and cooled in air), 4 plates were cut from this steel in size 275 mm x 225 mm x 16 mm, for use in welding operations. “V” type

welding groove was prepared to materials for both welding methods. Schematic welding mouth shown in Figure 4.

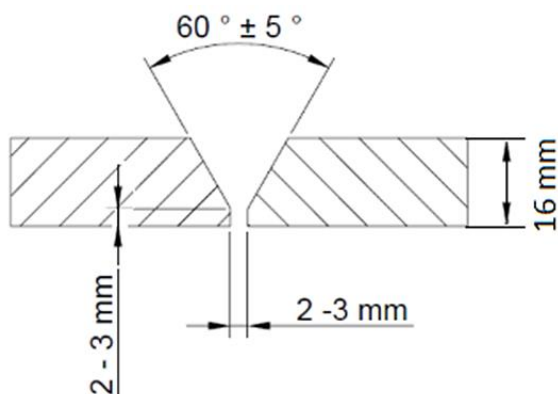


Figure 4. Schematic welding mouth

All of the welding processes were carried out by EN 9606-1 certified welders and specimens were preheated at 200 °C with gaseous fuel before welding considering carbon equivalent (C_{eq}) value. 16 mm thick plates were used for welding processes. This plates are shown in Figure 5.

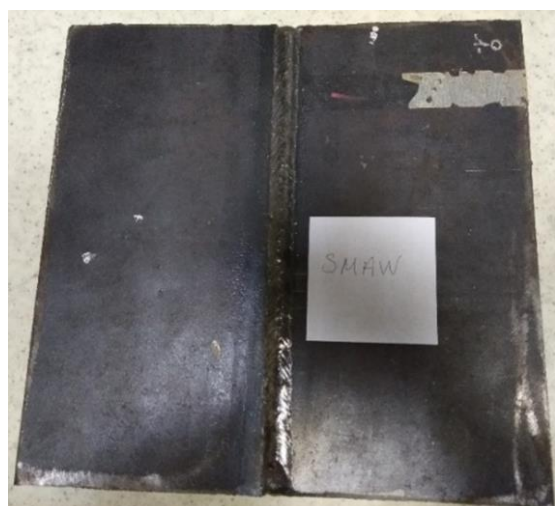


Figure 5. Welded plates with SMAW and GTAW

The parameters used in performing welding operations are shown in Table 2.

Table 2. Welding Parameters

2.25Cr1Mo (P22)	GTAW	SMAW
Voltage (V)	15	15
Current (A)	120	120
Travel speed (mm/min.)	80	100
Polarity	DC Straight	DC Straight
Heat input (kJ/mm)	1,35	1,08

The heat input, a relative measure of energy, is calculated according to the unit length of the weld seam [10]. For calculating the heat input which is one of these parameters, the following formula is used.

$$H = \frac{60 \times E \times I}{1000 \times S} \tag{1}$$

H = heat input (kJ/mm), E = arc voltage (V), I = current (A), S = travel speed (mm/min)

For GTAW process, “Phoenix SH Chromo 2 KS” covered electrode and for SMAW process, “Union I CrMo 910” filler rod was used. Their chemical analysis is shown in Table 3 and Table 4.

Table 3. Chemical Analysis of Covered Electrode for SMAW Process

Phoenix SH Chromo 2 KS (EN ISO 3580-A)				
% C	% Si	% Mn	% P	% Cr
0,07	0,25	0,70	≤0,012	2,20
% Mo	% As	% Sb	% Sn	% S
0,90	≤0,010	≤0,005	≤0,005	≤0,010

Table 4. Chemical Analysis of Filler Rod for GTAW Process

Union I CrMo 910 (EN ISO 21952-A)				
% C	% Si	% Mn	% Cr	% Mo
0.07	0.25	0.70	2.20	0.90

After welding processes, the welded plates are divided into two equal parts perpendicular to the weld seam. One of these pieces was later used for PWHT. The PWHT process was carried out at 750 °C for 2 hours to welded plates. After this process, the welded samples were allowed to cool at room temperature. Mechanical test specimens were then prepared from welded plates to identify differences before and after PWHT. All samples were prepared in accordance with EN

standards for tensile (EN 4136) [11], bending (EN 5173) [12], impact (EN 9016) [13], hardness (EN 9015-1) [14] and macrostructure (EN 17639) [15] examinations. All the experiments in this study were performed at room temperature.

After the welding operations, the samples were prepared for macroscopic etude according to EN 17639. Samples cut in parallel with the bottom surface and the upper surface were etched with Nital 10 (10% HNO₃ + 90% ethyl alcohol) after the sanding and polishing operations were completed. In this way, the structure of the weld seam has been uncovered and made ready for hardness testing and visual inspection. Macroscopic structures of welded samples are shown in Figure 6 and 7.



Figure 6. Macro photo of welded sample with SMAW



Figure 7. Macro photo of welded sample with GTAW

Tensile tests were carried out according to EN 4136 standard and the schematic drawing of tensile test specimen is given in Figure 8. below.

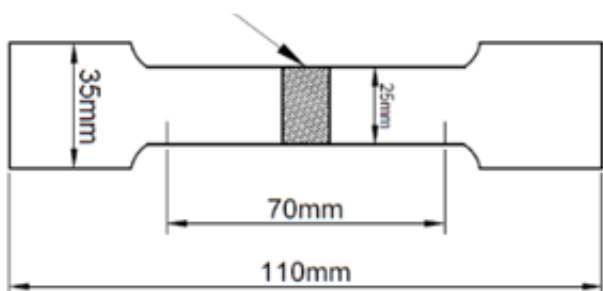


Figure 8. Schematic Tensile test specimen according to EN 4136 standard [16]

The deformation rate values which should be used for tensile test are explained by different methods and the underlying formula is used [17].

$$\text{Cross head speed/Gauge Length of the Specimen} = \text{Strain Rate} \quad (2)$$

According to the formula; When 1 mm / min speed and 70 mm test specimen were used, the rate of deformation was calculated as 0,014.

It was found that the tensile strengths of steels both GTAW and SMAW welded, decreased after PWHT. Also, for all the samples, the rupture occurred from the base material. Tensile test results are shown in Table 5 and test specimens after tensile tests shown in Figure 9.



Figure 9. Test specimens after tensile tests

Table 5. Tensile test results of samples

Welding Method	Before PWHT		
	Tensile Str. (N/mm ²)	Elongation (%)	Rupture Zone
GTAW	750	15	Base Metal
SMAW	680	16	Base Metal
	After PWHT		
GTAW	632	17	Base Metal
SMAW	597	20	Base Metal

According to EN 5173 standard, if the welding wall thickness is more than 12 mm, side bending test should be applied to the sample. Therefore, side bending test was applied to the welded samples. For each welding method, two samples were tested before and after PWHT. In both welding methods, no samples were damaged in the side bending tests. Test specimens after bending tests shown in Figure10.

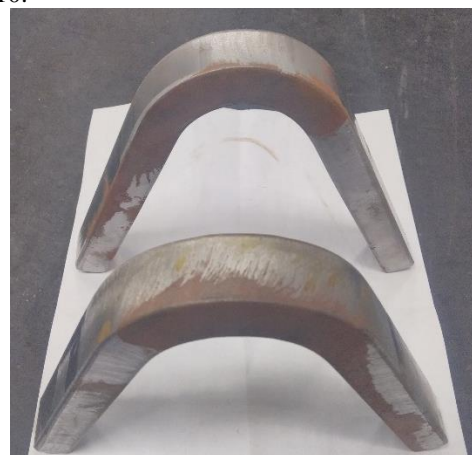


Figure 10. Test specimens after bending tests

The hardness tests were measured by the Vickers method using a load of 30 kg. Three measurements in two rows were

made from each of the base metal, HAZ and weld metal. Then, the averages of each are calculated. A schematic illustration showing how the hardness measurement is performed according to the EN 9015-1 standard is shown in Figure 11. also hardness test results are shown in Figure 12.

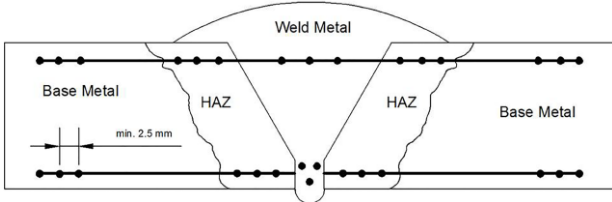


Figure 11. Schematic hardness measurement of welded material according to EN 9015-1 standard [16]

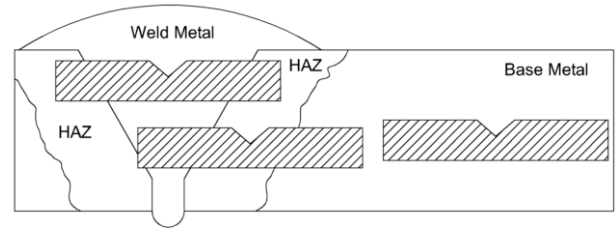


Figure 13. Notch locations according to EN 9016 standard

As a result of the Charpy Impact Tests, it was observed that the samples were fractured brittle. This situation shown in Figure 14.



Figure 14. Test specimens after impact tests

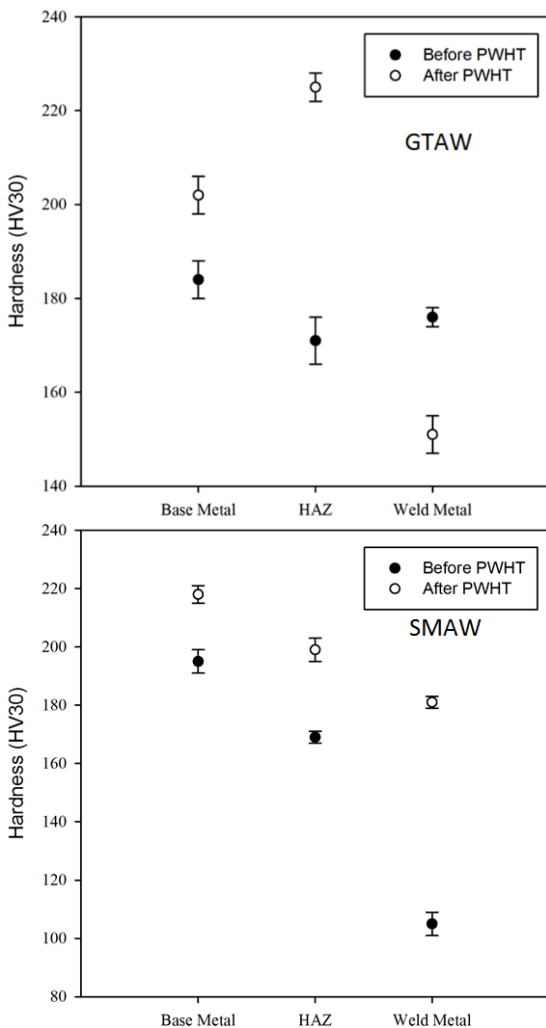


Figure 12. Hardness test results of welded samples with GTAW and SMAW

A Charpy Impact Test was applied to detect fracture energies of the samples. As in the hardness tests, 3 tests were performed for each region and the averages between them were calculated. A schematic illustration showing how the samples taken from the welded plates for Charpy Impact Test according to the EN 9016 standard is shown in Figure 13, also Charpy Impact Test results are shown in Figure 15.

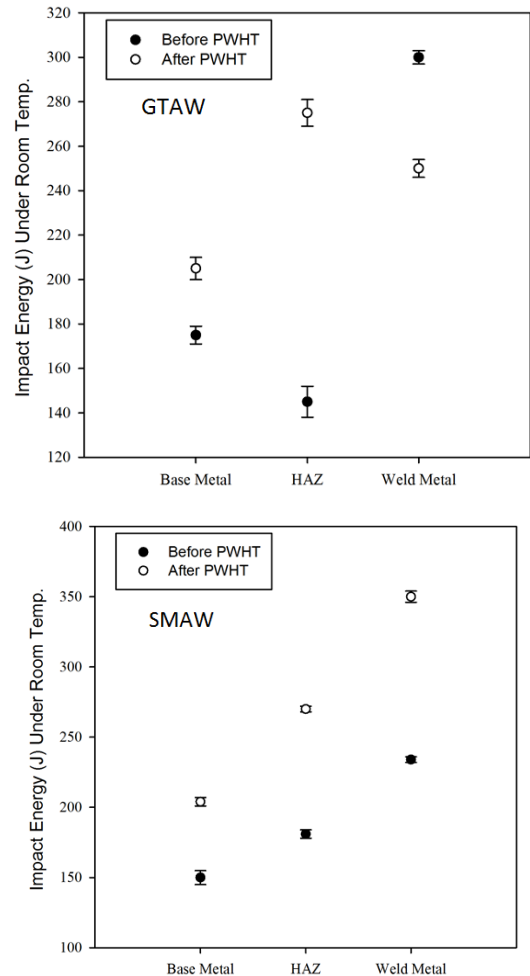


Figure 15. Impact energies of welded samples with GTAW and SMAW

3. RESULTS

The effects on the mechanical properties of the PWHT process applied to the welded materials are listed in the bottom.

Tensile strengths of steels both GTAW and SMAW welded, decreased after PWHT. It is stated in the literature that, 2.25Cr1Mo steel of 16 mm or thicker should have a tensile strength value of 480 to 630 N/mm² and a minimum elongation of 20%.

- Accordingly, it was revealed that the sample bearing both properties was the SMAW welded sample.
- In both welding methods, bend tests performed before and after the PWHT, no sample was damaged.
- When the hardness test results were examined; it was found that the hardness of the sample welded with GTAW, welded region and the base material region increased and the HAZ region decreased after the PWHT. On the other hand, in the case of the sample welded with SMAW, the hardness of all three regions decreased.
- When the Charpy Impact Test results were examined; it was found that the impact energy of the sample welded with GTAW, welded region decreased, base material region and HAZ region increased after the PWHT. On the other hand, in the case of the sample welded with SMAW, the impact energy of all three regions increased.
- After PWHT, the mechanical properties of the materials combined with both welding methods have changed positively. However, the mechanical properties of the welded materials before PWHT have also changed positively. For this reason, the implementation of the PWHT has not seemed to be necessary.

4. CONCLUSION

After PWHT process, tensile strengths of both steels welded with GTAW and SMAW, were decreased. In terms of tensile strength and minimum elongation, it was seen that the most compatible results with the literature were obtained from welded samples with SMAW. Looking at the results of the bend tests, no sample was damaged performed before and after the PWHT. According to the hardness values of welded samples measured before and after PWHT; After the PWHT, the hardness values of SMAW welded sample, HAZ, welded region and base region were observed to decrease. On the other hand, after PWHT, the hardness increase in the welded region and the base region of the GTAW welded sample and the hardness decrease in HAZ were detected. According to the Charpy impact tests performed before and after PWHT, in all samples, inversely proportional results were obtained with hardness values. This is also an expected result.

It is certain that the PWHT process improves the mechanical properties of both GTAW and SMAW welded 2.25Cr1Mo (P22) steel, but these positive values have only pulled up the positive values obtained after welding operations. So, it is not necessary to apply the PWHT process, as it can lead to waste of money and time.

REFERENCES

- [1] J. Hilkes, V. Gross, "Welding CrMo steels for power generation and petrochemical applications - past, present and future", *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa*, Vol.2, pp.12-22, 2013
- [2] B. L. Bramfitt, A. O. Benschoter, *Metallographer's Guide - Practices and Producers for Irons and Steels*, Ohio, USA, ASM International, 2002
- [3] B. King, "Welding and Post Weld Heat Treatment of 2.25%Cr-1%Mo Steel" Ph.D. University of Wollongong Thesis Collections, Australia, 2005
- [4] R. L. O'Brien, *Welding Handbook, Welding Processes*, Volume 2, 8th Edition, Miami, USA, American Welding Society, 1991
- [5] <https://136.3dpc.co/smau-welding-diagram.html>, (date of access September,10, 2018)
- [6] Weman, K.: "Welding Processes Handbook" 2nd Edition, Cambridge, UK, Woodhead Publishing, 2012
- [7] <http://www.advantagefabricatedmetals.com/tig-welding.html>, (date of access December, 3, 2017)
- [8] N. Habibpour, A. Shafyei, R. A. Najafabadi, A. Meysami, "Effects of post-weld heat treatment temperature on the microstructure and mechanical properties of welded A517-Gr.B steel by SMAW method" *Revue de Métallurgie*, Vol 312, pp.114, 2017
- [9] K. Ahmed and J. Krishnan: "Post-Weld Heat Treatment – Case Studies" *International Symposium on Thermal Spray, Founder's Day Special Issue*, Mumbai, May 2-4, (2002)
- [10] R. S. Funderburk, "A Look at Heat Input," *Welding Innovation*, Vol. 16, No. 1, pp. 8-11, 1999
- [11] EN 4136-2012: Destructive tests on welds in metallic materials -- Transverse tensile test.
- [12] EN 5173-2009: Destructive tests on welds in metallic materials -- Bend tests.
- [13] EN 9016-2012: Destructive tests on welds in metallic materials -- Impact tests -- Test specimen location, notch orientation and examination.
- [14] EN 9015-1-2001: Destructive tests on welds in metallic materials -- Hardness testing -- Part 1: Hardness test on arc welded joints.
- [15] EN 17639-2003: Destructive tests on welds in metallic materials -- Macroscopic and microscopic examination of welds.
- [16] B.Çiçek, E. G. İş, E.Gümüş, P.Topuz, "The Effect of Welding Positions on the Weldability of X20CrMoV11-1 Steels" *Hittite Journal of Science and Engineering*, Vol.5, No.1 pp. 75-83, 2018
- [17] B. Aydemir, "The Differences and The Effects of Stress/Strain Rate in Tensile Test Standards", *Metal Dünyası Dergisi*, Sayı 270, pp. 2-6, 2015

Elektrolitik Sert Metal Kaplamaya Alternatif Çevreye Duyarlı Ni-P Kaplamaların 6061 Serisi Alüminyum Altlık Üzerine Akımsız Yöntemle Biriktirilmesinde Sodyum hipofosfit, Sıcaklık ve Zamanın Etkisi

*¹Abdulkadir Akyol, ¹Hasan Algül, ¹Oğuzhan Bilaç, ¹Seda Ulu, ²Harun Gül, ¹Mehmet Uysal, ³Yusuf Çay, ¹Ahmet Alp

¹ Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 54187, Türkiye

² Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Gümüşova Meslek Yüksekokulu, Düzce Üniversitesi, Düzce, 81850, Türkiye

³ Teknoloji Fakültesi, Makina Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 54187, Türkiye

* abdulkadir.akyol1@ogr.sakarya.edu.tr

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 03.11.2018

Kabul Tarihi: 19.03.2019

Öz

Elektrolitik kaplamalara alternatif oluşturan ve dışarıdan herhangi bir elektrik ihtiyacına gerek duymadan gerçekleşen otokatalitik akımsız kaplamalar birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Homojen bir kaplama kalınlığı elde edilmesi, yüksek sertlik, iyi korozyon ve aşınma direncine sahip olması, akımsız kaplamaları oldukça yaygın hale getirmektedir. Ayrıca karmaşık şekilli parçalara da uygulanabilmesi avantajları arasında yer almaktadır. Bu çalışmada akımsız Ni-P kaplamaların sertlik, metalik nikel ve fosfor içerikleri, ısı işlem sonrası oluşan bileşik türleri ve mikroyapısal özellikleri incelenerek sodyum hipofosfit, sıcaklık ve zaman parametrelerinin etkileri ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akımsız nikel kaplama, sodyum hipofosfit, sıcaklık, zaman

The Effect of Sodium Hypophosphite, Temperature and Time in co-deposit Ni-P Coatings on 6061 Series Aluminum Substrate: An Environment-Friendly Alternative to Electrolytic Hard Metal Coatings

*¹Abdulkadir Akyol, ¹Hasan Algül, ¹Oğuzhan Bilaç, ¹Seda Ulu, ²Harun Gül, ¹Mehmet Uysal, ³Yusuf Çay, ¹Ahmet Alp

¹Faculty of Engineering, Metallurgy and Materials Engineering, Sakarya University, Sakarya, 54187, Turkey

²Machine and Metal Technology Department, Gumusova Vocational School, Duzce University, Duzce, 81 850, Turkey

³ Faculty of Technology, Mechanical Engineering, Sakarya University, Sakarya, 54187, Turkey

Abstract

The autocatalytic electroless depositions, which form an alternative to the electrolytic deposition and do not require any external electrical power, are used in many industrial areas. Electroless nickel based plating has increased attention because of their excellent corrosion, wear, thermal and electrical properties. They also offer good magnetic properties. Because of their high mechanical properties electroless nickel coating are used in many areas. Many commercial coatings have been experimented and it is easiest use nickel phosphorus, which is one of the most common. In study electroless nickel phosphorus coating the effect of sodium hypophosphite, bath temperature and bath time amount on morphology and properties of the coating was examined.

Keywords: Electroless nickel coating, sodium hydrophosphite, temperature, time

1. GİRİŞ

Akımsız nikel kaplama, çözeltideki nikel iyonlarının nötr metalik nikel indirgenmesini sağlayan kimyasal bir işlemdir

*Sorumlu Yazar: Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 54187, Türkiye, abdulkadir.akyol1@ogr.sakarya.edu.tr, +905315235588

“Bu çalışma ISEM2018 sempozyumunda "157-ID" başlıklı bildiri olarak sunulan çalışmadan geliştirilmiştir.”

[1]. Akımsız nikel kaplamalar nikel-fosfor, nikel-bor ve saf nikel kaplamalar şeklinde üç ana gruba ayrılabilir [2]. Akımsız nikel kaplamalar indirgeyici ajana göre gruplandırıldığında nikel fosfor kaplamalar için hipofosfitler, nikel bor kaplamalar için amino boranlar ve borhidrürler, saf nikel kaplamalar için ise hidrazin redükleyici olarak kullanılır. En yaygın kullanılan indirgeyici sodyum hipofosfitir [2]. Hidrazin kullanılmasıyla neredeyse saf nikelin otokatalitik olarak birikimi sağlanabilmektedir [3].

Ni-P kaplama yapısında değişiklik gösteren fosfor miktarına göre kaplama özellikleri de farklılık gösterir. Kendi içlerinde düşük (%1-3), orta (%4-10) ve yüksek (%11-13) fosforlu kaplamalar olarak sınıflandırılabilir ve kaplama özellikleri yapıdaki fosfor miktarı ile doğrudan bağlantılıdır [4]. Akımsız Ni-P kaplama tekniği yüksek aşınma direnci, iyi yağlanabilirlik ve yüksek sertlik gibi özelliklere sahip olduğu için birçok alanda kullanılır [5-9]. Düşük fosfor içerikli (1-3 % P) kaplama kristalin olup iyi bir aşınma direnci fakat klorürlü ortamda düşük korozyon direnci sağlar. Orta derecede fosfor içeren kaplama (4-10 % P) daha küçük kristal boyutlara sahiptir ve yarı amorf eğilimi gösterir. Halbuki yüksek fosfor içeren (% 11'den daha fazla) kaplamalar metalik cam gibi davranırlar. Akımsız nikel kaplamaların yoğunluğu fosfor içeriğinden ters oranda etkilenmektedir. Düşük fosforlu kaplamalarda yoğunluk 8,5 gr/cm³ iken %10-11 fosfor içeriklilerde 7,75gr/cm³ civarına düşer. Termal ve elektrik özellikleri de kaplamanın bileşiminden etkilenir. Kaplamaların iletkenliği bakır gibi geleneksel iletkenlere göre düşüktür. Buna rağmen ısıtılımlarla kaplamaların iletkenliği 3-4 kat artırılabilir. Ni-P kaplamalar düşük sürtünme katsayısına sahip olup yapışma göstermezler. Kaplamaların sertlik değerleri oldukça yüksektir ve ısıtılımla bu değerlerde artışlar meydana gelir [10].

2. MALZEME VE YÖNTEM

Deneyisel çalışmalarda Akımsız nikel kaplanacak malzeme olarak 50 mm×30 mm×2 mm boyutlarında 6061 serisi alüminyum altlıklar kullanılmıştır. Akımsız nikel kaplama yapılmadan önce altlıklar sırasıyla 120, 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200'lük SiC zımparalarla zımparalandıktan sonra yüzeyleri parlatılmıştır. Daha sonra asidik bir banyo içerisinde yüzeyinde bulunabilecek yağ, kir ve oksit tabakası giderilmiştir. Malzeme yüzey kirliliklerinin giderilmesi için aşağıda işlem aşamalarında belirtilen ön temizleme işlemi uygulanmış numuneler, ticari zinkat banyosuna daldırılmıştır. NiSO₄ içeren ticari zinkat çözeltisine daldırma yöntemi ile iki adımda gerçekleştirilmiştir. Yüzey temizlemeden kaplamaya kadar tüm gerçekleştirilen işlem adımları aşağıdaki gibidir:

- Asidik temizleme(10ml/l sülfürik asit, 12,5 ml/l hidroflorik asit, 25ml/l nitrik asit)
- Durulama (saf su ile)
- Zinkatlama İşlemi (Ticari zinkat kullanılmıştır.)
- Akımsız nikel kaplama (Ni-P)

- Tüp fırında ısıtılımla işlem (400°C sıcaklıkta 2 saat süreyle Ar-%5 H₂ gazı atmosferinde)
- Oda sıcaklığına soğutma.

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla kaplama tabakasının yüzey görüntüleri alınarak ısıtılımla öncesi ve sonrası kaplama tabakasında meydana gelen değişimler tespit edilmiştir. EDS ile kaplamalarda elementel fosfor da analiz edilerek morfolojideki dağılımı da tespit edilmiştir. Kaplama tabakasının bileşimini ve ısıtılımla sonucu kaplama tabakasında meydana gelen faz değişimleri Rigaku D/MAX 2000 marka XRD cihazı ile belirlenmiştir. X-ışınları analizi bakır tüp ($\lambda=1,5418$ Å) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. X-ışınları taraması 10° ile 90° arasında 2°/dk'luk hızla gerçekleştirilmiştir. ısıtılımla görmemiş numunelerle ısıtılımla görmüş bütün numunelerin XRD paternleri alınarak yapıdaki değişimler incelenmiş, ısıtılımla sonrası yapıdaki Ni₃P vb. bileşiklerinin oluşup oluşmadığı tespit edilmiştir. Akımsız kaplama sonrası farklı numuneler için mikrosertlik değerleri Leica VMHT marka cihazla ölçülmüştür. 25 gr'lık yükler uygulanarak bir numuneye en az 5 ölçüm yapılmış ve ortalamaları Vickers sertlik değeri olarak alınmıştır. ısıtılımla görmüş numuneler ile görmemiş numunelerin sertlik değerlerindeki farklılıklar tespit edilmiştir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

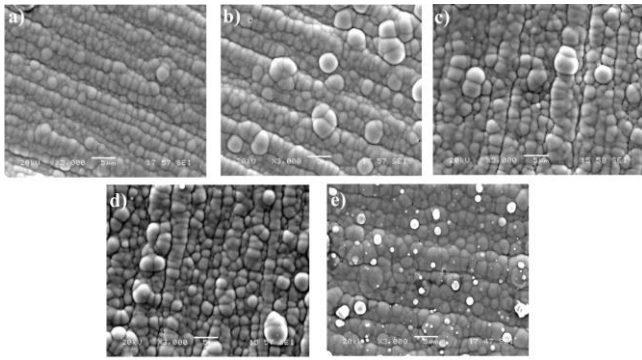
3.1. Akımsız Ni-P Kaplamaların Sodyum Hipofosfit Oranı Etkisi

Akımsız Ni-P kaplamalara NaPO₂H₂ (sodyum hipofosfit) oranının etkisi incelenmiş olup Tablo 1.'de banyo bileşimi verilmektedir. NaPO₂H₂ oranının artışıyla birlikte kaplamalarda meydana gelen morfoloji değişimleri ve kaplama kalınlıklarını incelemek için SEM, faz yapısındaki değişimler için XRD ve sertlik özellikleri için mikrosertlik değerlerine bakılmış olup bu deneyler sonucunda en iyi NaPO₂H₂ oranı seçilmiştir.

Tablo 1. Kaplama banyosunun sodyum hipofosfit ve diğer kimyasalların içeriği ve parametrelerin değişimi.

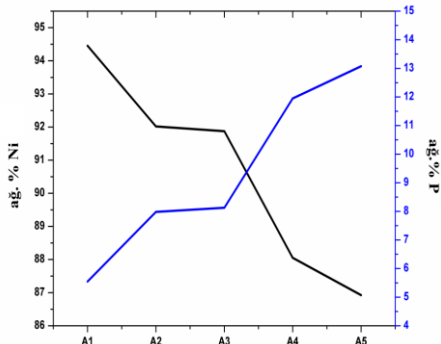
Banyo Bileşenleri	A1	A2	A3	A4	A5
NiSO ₄ .6H ₂ O (g/L)	28	28	28	28	28
NaPO₂H₂ (g/L)	10	20	30	40	50
C ₂ H ₃ NaO ₂ (g/L)	35	35	35	35	35
C ₃ H ₆ O ₃ (ml/L)	20	20	20	20	20
pH	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
Süre (dk)	30	30	30	30	30
Sıcaklık (°C)	90	90	90	90	90

Tablo 1'de akımsız Ni-P banyosunun bileşenleri verilmiştir. Tüm bileşenler sabit bırakılıp indirgeyici ve P kaynağı olarak kaplamalar üzerindeki etkisini incelemek için NaPO₂H₂ farklı konsantrasyonlarda (10, 20, 30 40 ve 50 g/L) dahil edilmiştir.



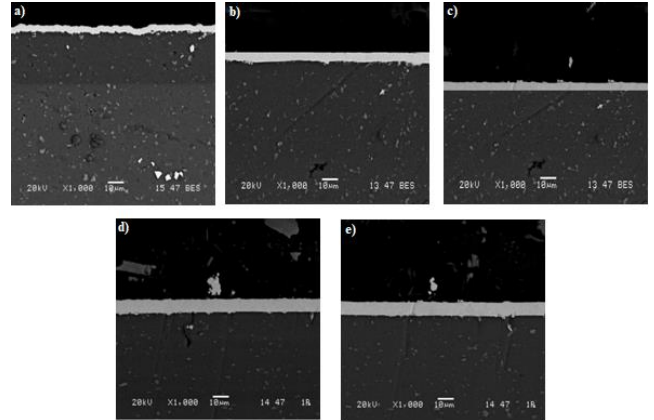
Şekil 1. Kaplama banyosundaki sodyum hipofosfit oranının etkisi a) A1 (10 g/L NaPO₂H₂) b) A2 (20 g/L NaPO₂H₂) c) A3 (30 g/L NaPO₂H₂) d) A4 (40 g/L NaPO₂H₂) ve e) A5 (50 g/L NaPO₂H₂)

Şekil 1.'de akımsız Ni-P kaplamaların NaPO₂H₂ (sodyum hipofosfit) oranına bağlı olarak SEM görüntüleri verilmektedir. Şekil 1'den de görüldüğü gibi sodyum hipofosfit oranı arttıkça tane sınırları iyice azalmıştır ve daha düz bir yüzey elde edilmiştir. 10 g/L NaPO₂H₂ oranına sahip kaplamada (A1) ince taneler ve tane sınırları açıkça görülmektedir. 30 g/L NaPO₂H₂ (A3) oranında ise taneler giderek kabalaşmaya ve tane sınırları azalmaya başlamıştır. 50 g/L NaPO₂H₂ oranına sahip kaplamada (A5) ise tane sınırları iyice azalmıştır.



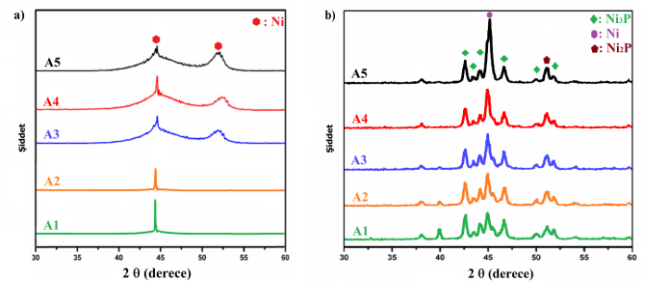
Şekil 2. Sodyum hipofosfit miktarına bağlı olarak kaplamaların Ni ve P %si, A1 (10 g/L NaPO₂H₂), A2 (20 g/L NaPO₂H₂), A3 (30 g/L NaPO₂H₂), A4 (40 g/L NaPO₂H₂) ve A5 (50 g/L NaPO₂H₂).

Numunelerin EDS analiziyle elde edilmiş grafiğe göre kaplama banyosundaki sodyum hipofosfit oranı arttıkça kaplama içindeki elementel P oranı artmaktadır. Elde edilen sonuçları literatür ile karşılaştırdığımız zaman, ağırlıkça %1-5 fosfor içeren (düşük fosforlu) akımsız nikel kaplamalarının mikro yapıları kristal haldedir. Ağırlıkça % 6-9'u fosfor içeren (orta fosfor) kaplamalar karışık kristalimsi ve amorf yapıdadır. Buna karşın ağırlıkça % 10-13 fosfor (yüksek fosfor) içeren kaplamalar amorf yapıda oluşurlar [2]. En yüksek P % sine, 50 g/L sodyum hipofosfit kullanıldığında ulaşılmıştır (%13,075 elementel P). Ancak yüksek P içeriklerine hem A4 hem de A5 banyosu ile ulaşılabildiği gözlenmiştir.



Şekil 3. Farklı oranda redükleyiciyle oluşan kaplamaların kesitleri a)A1 (10 g/L NaPO₂H₂), b)A2 (20 g/L NaPO₂H₂), c)A3 (30 g/L NaPO₂H₂), d)A4 (40 g/L NaPO₂H₂) ve e)A5 (50 g/L NaPO₂H₂)

Şekil 3'de (A1) numunesinde yaklaşık olarak 5 µm'lik bir kaplama kalınlığı elde edilmiştir. Fakat kaplama banyosundaki sodyum hipofosfit oranının artmasıyla kaplama kalınlığı önemli bir ölçüde artış göstermektedir ve en homojen kaplama (A4) ve (A5) numunesinde elde edilmektedir.

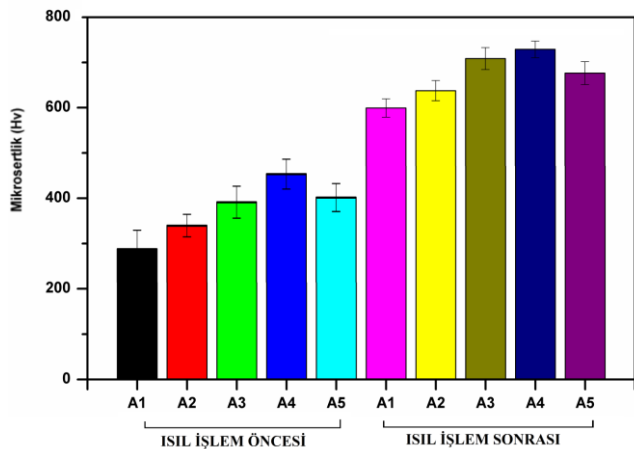


Şekil 4. Akımsız Ni-P kaplamalarda kaplama banyosunda farklı miktarlarda sodyum hipofosfit oranının incelendiği numunelere ait XRD verileri a) ısıtım öncesi ve b) ısıtım sonrası

Şekil 4'de akımsız Ni-P kaplanmış numunelere ait XRD verileri verilmiştir. Kaplamada fosfor oranının artmasından dolayı latite oluşan düzensizlik kristalin fazdan daha amorf faza doğru değişimi (Şekil 4a) sebep olmaktadır. M.Czagány ve arkadaşları sodyum hipofosfit içeriğinin artmasıyla kaplamanın amorf yapıda oluşacağını savunmuşlardır [11,12]. Fosfor oranıyla birlikte piklerin daha yayvanlaştığı görülmektedir. XRD piklerinde sodyum hipofosfit oranı azaldıkça piklerin şiddeti artmakta ve FWHM daralmaktadır. Bu durum genel olarak tane boyutunun azaldığı ve kristalinitenin arttığına yorumlanmaktadır. Şekil 4 (a)'ya baktığımız zaman nikel ait piklerin (111) yönünde ve (200) yönünde olduğu görülmektedir. Isıtım uygulanmamış yapılar incelendiğinde, amorf yapının varlığı ve bu yapıdaki yüksek şiddetli olarak yer alan (111) yönündeki Ni piki, kaplamadaki baskın yöneliminin [111] doğrultusunda olduğunu göstermektedir. Bu da sıkı paket (111) düzlemlerinin numune yüzeyine paralel şekilde yer aldığı

anlamı taşımaktadır. Kaplama banyosunda sodyum hipofosfit miktarının artmasıyla; kaplama bünyesindeki fosfor içeriği artması büyümenin (111) yönünde oluşmasını tetiklediği ve (111) yönündeki büyümenin diğer yönlere göre daha düşük bir gerilme olduğunu söylemiştir. A3 numunesinden sonra (200) yönünde bir izlenim gerçekleşmiştir. En düşük fosfor oranına sahip olan numunede (A1) 44°'de Ni (111) düzlemine ait pik gözükmemektedir. 30 g/L NaPO₂H₂ (sodyum hipofosfit) içeren numunede (A3), kaplamanın kristalin veya mikro kristalin ve amorf fazların karışımını şeklinde pikler içermektedir. 50 g/L NaPO₂H₂ oranına sahip numunede (A5) ise kaplamadaki en yüksek fosfor oranı bulunmakta (bkn Şekil 2) olmasına rağmen Şekil 4a daki X-ray eğrisinde herhangi bir pik gözükmemektedir. Bu da yapının tamamen amorf olduğunu göstermektedir [12]. Isıl işlem sonrasında kaplamalarda bulunan amorflik ortadan kalkmakta ve tamamıyla kristalin fazlar elde edilmektedir. Isıl işlem sonrasında ana matris nikel (44°, 54°) haricinde Ni₂P(51°), Ni₃P (36°, 38°, 42°, 43°, 46°, 49°, 52°) gibi ikincil fazlar oluşmaktadır [13].

Sertlik testleri daha önceden kesitten bakalit yardımıyla hazırlanan numunelerde akımsız Ni-P kaplamalarda fosfor oranının ve ısıl işlemin etkisini incelemek adına, 400 °C'de argon-hidrojen koruyucu atmosferinde 2 saat boyunca ısıl işleme tabi tutulmuş farklı fosfor oranına sahip kaplamaların sertlik değerleri Vickers cinsinden Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Sodyum hipofosfit miktarına bağlı olarak elde edilen akımsız Ni-P kaplı numunelere ait ısıl işlem öncesi ve sonrası sertlik değerleri

Şekil 5'de gözüktüğü gibi ısıl işleme tabi tutulmuş kaplamaların sertlikleri ısıl işlem görmemiş numunelere göre oldukça yüksektir. Czagány ve arkadaşları çalışmalarında artan sodyum hipofosfit oranıyla birlikte ısıl işlem sonrası kaplamaların sertliğinin arttığını bulmuştur. Isıl işlemden sonra, sert Ni₃P fazının artmasıyla birlikte oluştuğunu söylemektedirler [13]. Sertlikteki bu artış, ısıl işlem ile birlikte düşük sodyum hipofosfit oranına sahip kaplamalarda oluşan kristalin Ni₃P, Ni₂P vb. bileşiklerin oranı az olduğundan sertlikler daha düşük çıkmıştır. Yüksek elementel fosfor oranına sahip kaplamalarda yapılan ısıl işlem ile yapıda oluşan seramik özellikli Ni₂P, Ni₃P gibi

intermetalik fazlarının daha fazla oluşmasından dolayı bu kaplamalarda sertlik değerleri daha yüksek olarak elde edilmiştir. Kaplamadaki P un belli bir orandan daha fazla artması ile sertlikte bir artışın devam etmediği de gözükmemektedir.

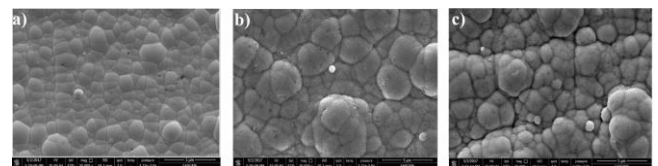
3.2. Akımsız Ni-P Kaplamalarda Kaplama Banyosu Sıcaklığının Etkisi

Akımsız Ni-P kaplamalarda kaplama banyosu sıcaklığının kaplamalar üzerine etkisi incelenmiş olup banyo bileşimi Tablo 2'de verilmektedir. Kaplama banyosu sıcaklığının artışıyla birlikte kaplamalarda meydana gelen morfolojik değişimler, kaplama kalınlığında ve elementel Ni ve P oranındaki değişimler SEM yardımıyla, ısıl işlem öncesi kristalinite/amorflik durumu ve ısıl işlem sonrası değişimler ise XRD yardımıyla incelenmiştir. Kaplamaların sertlik özelliklerine de bakılarak optimum kaplama banyosu sıcaklığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Tablo 2. Akımsız Ni-P kaplamalarda kaplama banyosu sıcaklığının etkisinin incelendiği kaplama banyolara ait banyo bileşimleri ve çalışma koşulları

Banyo Bileşenleri	B1	B2	B3
NiSO ₄ .6H ₂ O (g/L)	28	28	28
NaPO ₂ H ₂ (g/L)	30	30	30
C ₂ H ₃ NaO ₂ (g/L)	35	35	35
C ₃ H ₆ O ₃ (ml/L)	20	20	20
pH	4-5	4-5	4-5
Süre (dk)	30	30	30
Sıcaklık (°C)	70	80	90

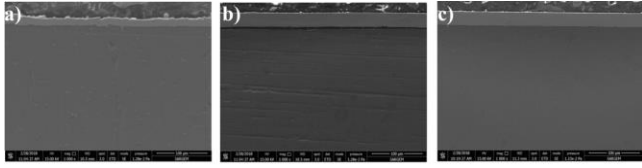
Şekil 6'da akımsız Ni-P kaplamaların kaplama banyosu sıcaklığına bağlı olarak SEM görüntüleri verilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça tane sınırları iyice azalmıştır. (B1) numunesinde kaba nikel taneler gözükürken (B3) numunesine doğru amorflaşma görülmektedir.



Şekil 6. Farklı sıcaklıklardaki akımsız Ni-P kaplama banyolardan elde edilen numunelere ait yüzey morfolojilerinin SEM görüntüleri a) B1 (70°C), b) B2 (80°C) ve c) B3 (90°C)

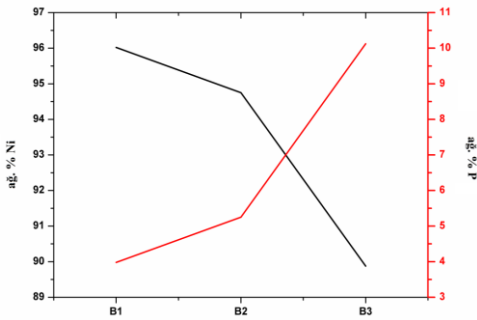
Kaplama banyosunun sıcaklığının etkisi Şekil 7 de görülmekte olup, sıcaklık arttıkça kaplama kaplama kalınlığı da artmaktadır. Bununla birlikte aynı fosfor içerikli (çeşitli kaplama sıcaklıklarında), nikel kaplamaların kristalleştirilmesi, sıvı alaşımlarının katılmasına benzer bir mekanizma ile meydana gelir. Bu da fosfor içeriğinin artmasına neden olmaktadır [14]. Benzer durum Şekil 8'de de açıkça görüldüğü üzere mevcut olup, artan sıcaklıkla P %

si artmaktadır [5]. 90°C'lik kaplama banyosunda bir saatlik kaplama sonucunda elde edilen numunede (B3 numunesi) yaklaşık olarak 17 µm'lik bir kalınlık elde edilmiştir.



Şekil 7. Akımsız Ni-P kaplamalarda farklı sıcaklıklardaki kaplama banyolarından elde edilen numunelere ait kesit görüntüleri a) B1 (70°C), b) B2 (80°C) ve c) B3 (90°C)

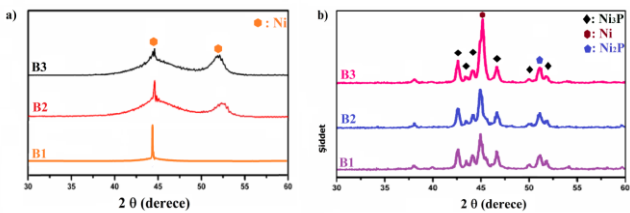
Farklı sıcaklıklarda elde edilen akımsız Ni-P kaplama tabakasındaki % Ni ve % P içeriklerinin sıcaklıkla değişimine ait EDS analiz değerleri Şekil 8 de verilmiştir.



Şekil 8. Farklı sıcaklıklarda elde edilen akımsız Ni-P kaplamalara ait EDS analizi.

Şekil 8 den görüldüğü gibi kaplama banyosunun sıcaklığının artmasıyla kaplama içinde biriken ağırlıkça elementel % P oranı artmaktadır. Nikel % si ise kaplama sıcaklığı ile azalmaktadır. Daha yüksek P içeriği isteniyorsa daha yüksek sıcaklıklarda kaplama yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

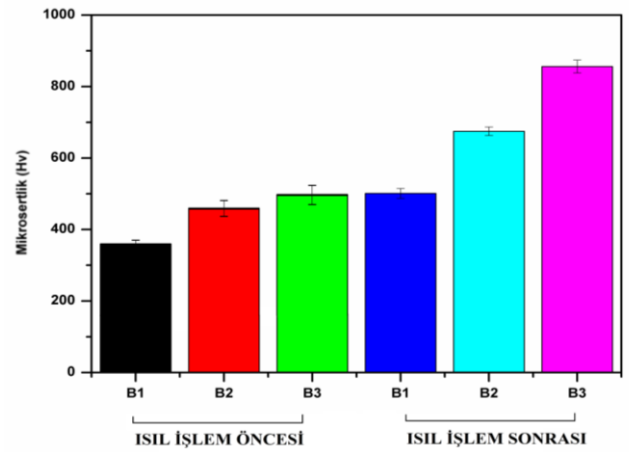
Şekil 9'da farklı sıcaklıklardaki kaplama banyolarından elde edilen numunelerin ısıtma işlem öncesi ve sonrası XRD sonuçları verilmiştir.



Şekil 9. Akımsız Ni-P kaplamalarda farklı sıcaklıklardaki kaplama banyolarından elde edilen numunelere ait XRD verileri a) ısıtma işlem öncesi ve b) ısıtma işlem sonrası

Şekil 9a'ya bakıldığında kaplama banyosu sıcaklığı 70 °C'de elde edilen B1 numunesinin yapısı kristalin bir yapıda iken, sıcaklığın 90 °C'ye çıkarılmasıyla elde edilen B3 numunesinin ısıtma işlem öncesi X-ışını kırınım örgüsünde 44° ortaya çıkan pik, yapının amorf yapıya doğru gittiğini

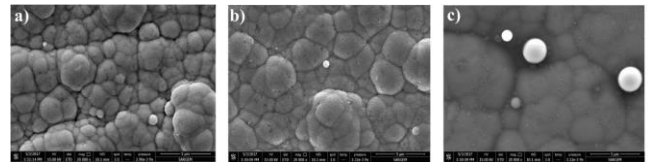
göstermektedir. Bu da kaplama banyosunun sıcaklığının artmasıyla kaplamaya giren ağırlıkça elementel %P oranının arttığını ve yapının bundan dolayı daha amorf bir hal aldığı söylenebilir [15]. Şekil 9b ise farklı kaplama banyosu sıcaklıklarında elde edilen numunelerin ısıtma işlem sonrası XRD eğrileri verilmiştir. Görüldüğü üzere, ısıtma işlem uygulanmasıyla Ni matrisin içinde nikelin yanı sıra Ni₂P ve Ni₃P çökelti fazlarının oluştuğu görülmektedir. Özellikle banyo sıcaklığının artmasıyla 43°deki Ni₃P'ye ait pikin şiddetinin arttığı gözlemlenmektedir. Banyo sıcaklığının artmasıyla kaplama içindeki ağırlıkça elementel % P miktarının artması daha fazla Ni₃P fazının çökmesine neden olmaktadır.



Şekil 10. Akımsız Ni-P kaplamalarda farklı sıcaklıklardaki kaplama banyolarından elde edilen numunelere ait ısıtma işlem öncesi ve sonrası sertlik değerleri

Şekil 10'da akımsız Ni-P kaplamaların ısıtma işlem öncesi ve sonrası sertlikleri görülmektedir. Sıcaklık artışına bağlı olarak kaplamanın kesitinin daha kalın hale gelmesi yanında tabakada Ni₂P, Ni₃P gibi sert fazların oluşumundan dolayı sertlik artmaktadır.

3.3. Akımsız Ni-P Kaplamalarda Kaplama Süresinin Etkisi

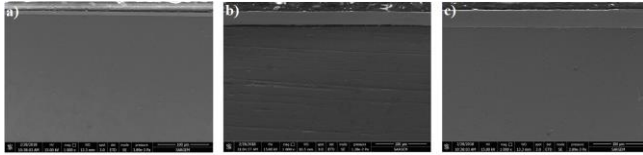


Şekil 11. Farklı kaplama sürelerinde elde edilen akımsız Ni-P kaplamaların SEM görüntüsü a) C1 (30 dk), b) C2 (60 dk) ve c) C3 (90 dk)

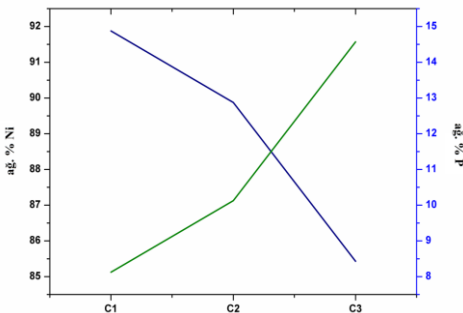
Akımsız Ni-P kaplamalarda kaplama süresinin, kaplamalar üzerindeki etkisi incelenmiş olup Tablo 3'de banyo bileşimi ve çalışma koşulları verilmektedir.

Tablo 3. Ni-P kaplamalarda kaplama süresinin etkisinin incelendiği banyoların bileşenleri ve çalışma koşulları

Banyo Bileşenleri	C1	C2	C3
NiSO ₄ .6H ₂ O (g/L)	28	28	28
NaPO ₂ H ₂ (g/L)	30	30	30
C ₂ H ₃ NaO ₂ (g/L)	35	35	35
C ₃ H ₆ O ₃ (ml/L)	20	20	20
pH	4-5	4-5	4-5
Süre (dk)	30	60	90
Sıcaklık (°C)	90	90	90

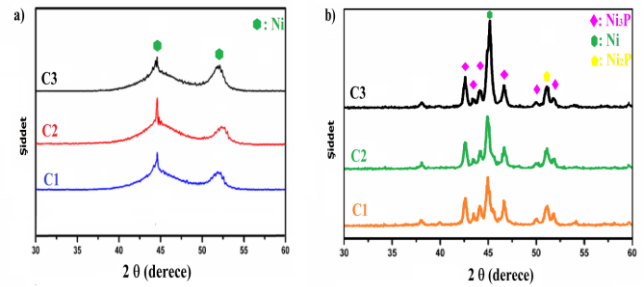
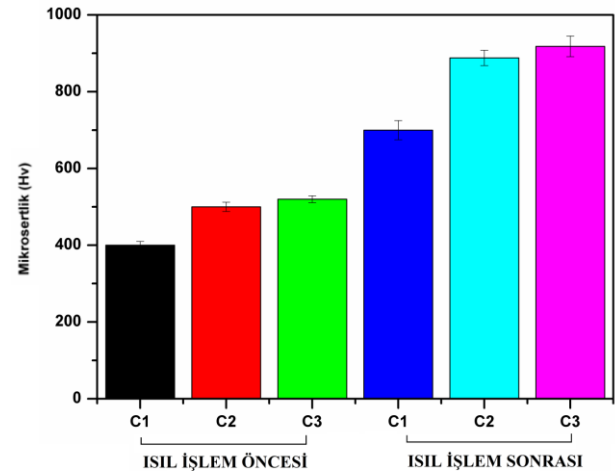
**Şekil 12.** Farklı kaplama sürelerinde elde edilen akımsız Ni-P kaplamalara ait kesit görüntüsü a) C1, b) C2 ve c) C3 (90 dk)

Şekil 12'de farklı kaplama sürelerinde elde edilen kaplamaların kesit görüntüleri görülmektedir. En uzun kaplama süresine (90 dk) sahip olan (C3) kaplamasında 25 µm kaplama kalınlığı elde edilirken, (C1) numunesinde ise kaplama kalınlığı 10 µm'dir [16]. Ayrıca sıcaklık 90 C de en iyi verim alındığından, bu sıcaklıkta redüksiyon hızı da arttığından dolayı kaplama hızı ve kalınlığı artmaktadır. Bu durumda hem nikelin hem de P un redüklenmesi söz konusu olmasına rağmen, Şekil 13'e bakıldığında kaplama içerisindeki P oranının daha fazla olması, P redüksiyon hızının daha fazla olduğunu da ortaya koymuştur.

**Şekil 13.** Farklı kaplama sürelerinin kaplamalardaki %Ni ve %P değişimine etkisi (EDS analizi) (C1: 30 dk, C2: 60 dk, C3: 90 dk)

Şekil 14'de farklı kaplama sürelerine sahip akımsız Ni-P kaplamaların ısıtılma öncesi ve sonrası X-ray pikleri görülmektedir. Isıtılma öncesinde her üç numune için de piklerin artan zamana bağlı olarak daha da yayvanlaşmakta ve amorf yapılar gözükmemektedir. Isıtılma sonrasında zaman arttıkça kaplama içerisinde ağırlıkça P oranının artmasıyla birlikte 44° pikin daha dik ve yüksek şiddete sahip olduğu anlaşılmaktadır. P un etkisiyle oluşan amorf yapıların ısıtılma ile kristalize olduğu, nikelin yanında ayrıca Ni₂P ve Ni₃P kristalin fazlarının oluştuğu, en yüksek şiddete

dolayısıyla fazla kristaliniteye 90 dk lık sürede ulaşıldığı anlaşılmaktadır.

**Şekil 14.** Akımsız Ni-P kaplama süresinin kristaliniteye etkisi (XRD eğrileri) a) ısıtılma öncesi b) ısıtılma sonrası**Şekil 15.** Farklı kaplama sürelerinin sertliğe etkisi a) ısıtılma öncesi, b) ısıtılma sonrası

Şekil 15'de akımsız Ni-P kaplamaların ısıtılma öncesi ve sonrası sertlik değerleri verilmektedir. Şekle göre en yüksek sertliğe sahip olan Ni-P kaplaması 90 dk kaplama (C3) yapılan numunede elde edilmiştir. Burada sertlik değeri yaklaşık olarak ısıtılma öncesi 512 HV iken, ısıtılma sonrası 950 HV'e kadar çıkmaktadır. Sertlik değerinin artışı Ni₂P, Ni₃P seramik özellikli fazların oluşumu nedeniyle olmaktadır [16].

SONUÇLAR

Akımsız Ni-P kaplamalar başarı ile üretilmiş ve bu kaplama çalışmalarına indirgeyici konsantrasyonunun (sodyum hipofosfit) artmasıyla kaplama tabakasındaki %P oranı artmış, ısıtılma işlem uygulanmamış numunede amorf yapı baskınken ısıtılma sonrası Ni₃P ve Ni₂P kristalin fazlarının artışına bağlı olarak sertlikte de artış gözlenmiştir.

Kaplama banyosu sıcaklığının artışına bağlı olarak %P oranı, kaplama kalınlığı ve amorflaşma da artmıştır. Isıtılma sonrası kristalinite artmış ve sertlikte ciddi artışlar meydana gelmiştir.

Kaplama süresinin artışıyla tabakadaki %P oranı, amorflaşma ve kaplama kalınlığı artmıştır. Kaplamalara ısıtılma

işlem uygulandığında seramik esaslı Ni₂P ve Ni₃P bileşikleri teşekkül etmiştir. Kaplamada en yüksek sertliğe 90 dakikalık sürede ulaşılmış olup, 950 Vickers sertliklere ulaşılmıştır.

Çevre ve sağlık açısından zararlı Cr⁺⁶ banyosundan hareketle elde edilen Cr kaplamaların sertliğinin 850-1000 Vickers civarında olduğu düşünüldüğünde, çevresel açıdan daha olan pozitif akımsız banyolar aracılığıyla 950 Vickers sertliğe ulaşılması son derece önemlidir. Üstelik çevresel ve sağlık problemlerinden kaynaklı maliyetler de söz konusu olmayacak demektir.

TEŞEKKÜR


Bu çalışma, Tübitak'ın 1005 çerçevesinde desteklediği 116M998 Nolu proje sonuçlarından hazırlanmıştır.


KAYNAKÇA

- [1] R. C. Özden, "Sıcak Haddelenmiş AZ91 Magnezyum Alaşımı Üzerine Uygulanan Akımsız Ni-P-W Kaplamanın Korozyon ve Aşınma Özellikleri," Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2015.
- [2] P. Sampath Kumar and P. Kesavan Nair, "Studies on crystallization of electroless Ni-P deposits," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 56, no. 1-4, pp. 511-520, 1996.
- [3] D. Gökçe, "Akımsız Nikel Fosfor/nikel Bor Dupleks Kaplamaların Korozyon Ve Aşınma Dirençlerinin İncelenmesi," İstanbul Teknik Üniversitesi, 2012.
- [4] J. Sudagar, J. Lian, and W. Sha, "Electroless nickel, alloy, composite and nano coatings - A critical review," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 571, pp. 183-204, 2013.
- [5] A. I. Aydeniz, A. Göksenli, G. Dil, F. Muhaffel, C. Calli, and B. Yüksel, "Electroless ni-b-w coatings for improving hardness, wear and corrosion resistance," *Mater. Tehnol.*, vol. 47, no. 6, pp. 803-806, 2013.
- [6] S. K. Das and S. Prasamta, "A parametric investigation of the friction performance of electroless Ni-B coatings," *Lubr. Sci.*, vol. 23, pp. 81-97, 2011.
- [7] K. N. Srinivasan, R. Meenakshi, A. Santhi, P. R. Thangavelu, and S. John, "Studies on development of electroless Ni-B bath for corrosion resistance and wear resistance applications," *Surf. Eng.*, vol. 26, no. 3, pp. 153-158, 2010.
- [8] S. K. Das and P. Sahoo, "Tribological characteristics of electroless Ni-B coating and optimization of coating parameters using Taguchi based grey relational analysis," *Mater. Des.*, vol. 32, no. 4, pp. 2228-2238, 2011.
- [9] P. G. Venkatakrishnan, S. S. Mohamed Nazirudeen, and T. S. N. Sankara Narayanan, "Formation and Structural Characterization of Electroless Ni-B-P Ternary Alloy Coatings," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 592-594, pp. 385-390, 2014.
- [10] A. Zarebidaki and S. R. Allahkaram, "Effect of surfactant on the fabrication and characterization of Ni-P-CNT composite coatings," *J. Alloys Compd.*, vol. 509, no. 5, pp. 1836-1840, 2011.
- [11] R. Taheri, "Evaluation of Electroless Nickel-Phosphorus (EN) Coatings," PhD Thesis, no. August 2002, p. 229, 2003.
- [12] M. Czagány, P. Baumli, and G. Kaptay, "The influence of the phosphorous content and heat treatment on the nano-micro-structure, thickness and micro-hardness of electroless Ni-P coatings on steel," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 423, pp. 160-169, 2017.
- [13] T. S. N. Sankara Narayanan, I. Baskaran, K. Krishnaveni, and S. Parthiban, "Deposition of electroless Ni-P graded coatings and evaluation of their corrosion resistance," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 200, no. 11, pp. 3438-3445, 2006.
- [14] H. Ashassi-Sorkhabi and S. H. Rafizadeh, "Effect of coating time and heat treatment on structures and corrosion characteristics of electroless Ni-P alloy deposits," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 176, pp. 318-326, 2004.
- [15] M. Yan, H. G. Ying, and T. Y. Ma, "Improved microhardness and wear resistance of the as-deposited electroless Ni-P coating," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 202, no. 24, pp. 5909-5913, 2008.
- [16] M. Anik and G. Celikten, "Analysis of the electrochemical reaction behavior of alloy AZ91 by EIS technique in H₃PO₄/KOH buffered K₂SO₄ solutions," *Corros. Sci.*, vol. 49, no. 4, pp. 1878-1894, 2007.

Tedarik Zincirinde Kaos: Bir Literatür Taraması

*¹ Neslihan Açıkgöz, ² Gültekin Çağal

¹ Tarsus Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Mersin, acikgoz.neslihan@gmail.com 

² Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya, cagil@sakarya.edu.tr 

Derleme Makalesi

Geliş Tarihi: 16.05.2019

Kabul Tarihi: 07.08.2019

Öz

Tedarik zinciri, ürün veya hizmetin tedarikçiden başlayıp son müşteriye ulaşana kadar ki süreçte birçok varlık ve etmen arasındaki etkileşimlerin bütününden oluşan dinamik bir sistemdir. Zamanla artan müşteri sayıları ve bağlantılarıyla değişen ilişkiler bu dinamik sistemi daha karmaşık hale getirmektedir. Giderek büyüyen bu sistem karmaşıklığı öngürülemez sorunlara yol açmaktadır. Bu karmaşıklığın nedeni olarak gözlenebilen ya da gözlenemeyen birçok faktör gösterilebilir. Rekabet ortamının arttığı global dünyada firmalar bu karmaşıklığı çözenin en iyi yolu olarak tedarik zincirinin her halkasının kusursuz işlemesi olarak görmektedir. Halkanın içerisinde etkisi yok denecek kadar küçük olduğu düşünülüp göz ardı edilen bir kısım faktörlerin etkilerinin büyük olduğu, yapılan analizlerle ortaya konmuştur. Zincirin herhangi bir yerindeki küçük bir aksaklık ise tedarik zincirinde önlenemez bir kaosa yol açabilmektedir. Öngörülemezlik nedeniyle başlangıç koşullarında yapılan ufak bir değişiklik veya bir hata tedarik zinciri sistemi yönetiminin sonuçlarında beklenmedik büyük dalgalanmalara ve güçlüklerle sebep olacaktır. Literatürde yapılan bazı çalışmalara göre tedarik zinciri sistemi, kaos kuramının temeli olan kelebek etkisine en iyi örneklerden biridir. Tedarik zinciri yönetimi konusunda sistemdeki kaotik durumların ortaya konması, bundan kaçınmak için yapılabilecek çalışmalar ve kaos kontrolü gibi tedarik zinciri sistemi içerisinde kaos kuramının varlığı ile ilgili ULAKBİM tarafından taranan makaleler, bildiriler ve PROQUEST veri tabanında yayınlanan doktora seviyesindeki tezleri araştırmak ve bu ilişkiyi inceleyen araştırmacılara kolaylık sağlamak amacıyla bu çalışma "tedarik zincirinde kaos kuramının bir literatür taraması" olarak derlenmiştir. Yapılan çalışmalarda kaos kuramının karar verme rolü, tedarik zincirinin kaotik niteliklerinin irdelenmesi, matematiksel model oluşturma ile kaotik yapısının incelenmesi, kaos kontrol ve senkronizasyon konuları üzerinde durulduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kaos, Tedarik Zinciri, Literatür Taraması

Chaos on Supply Chain: A Literature Review

*¹ Neslihan Açıkgöz, ² Gültekin Çağal

¹ Tarsus University, Vocational School, Mersin, acikgoz.neslihan@gmail.com

² Sakarya University, Engineering Faculty, Industrial Engineering Department, Sakarya, cagil@sakarya.edu.tr

Abstract

The supply chain is a dynamic system of interactions between many assets and factors in the process from the supplier to the end customer until the product or service reaches the end customer. The increasing number of customers and their changing relationships with time make this dynamic system more complex. The complexity of this growing system leads to unpredictable problems. Many factors that can be observed or not observed as the cause of this complexity can be shown. In the global world where the competitive environment is increasing, companies see this as the best way to solve this complexity as the perfect functioning of every link in the supply chain. The effects of a number of factors that are ignored and thought to be small enough to have no effect in the supply chain have been demonstrated by analysis. A small hitch in any part of the chain can lead to an inevitable chaos in the supply chain. A slight change or an error in initial conditions due to unpredictability will cause unexpected large fluctuations and difficulties in the results of supply chain management. According to some studies in the literature, the

supply chain system is one of the best examples of the butterfly effect, which is the basis of chaos theory. This study aims to investigate the articles, papers and theses related to the existence of chaos in the supply chain system such as chaotic control in the supply chain management system, the studies that can be done to avoid the chaotic situation in the system, and to provide the convenience of investigators who study this relationship. In the studies, it was seen that the role of decision making in chaos theory, examining the chaotic characteristics of the supply chain, analyzing the chaotic structure with mathematical modeling, chaos control and synchronization.

Keywords: Chaos, Supply Chain, Literature Review

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hammaddeden ürün teslimine ve oradan da müşteriye kadar; tedarikçiler, üreticiler, dağıtıcılar, perakendeciler, toptancılar, müşteriler gibi tüm süreç elemanları ile ürün ve süreç elemanları arasındaki bilgi akışı da dâhil olmak üzere, bu karmaşık süreç tedarik zinciri olarak tanımlanmaktadır. Firmalar özellikle müşteri taleplerini zamanında karşılayarak müşteri memnuniyetini sağlamak ve böylelikle teslimat performanslarını arttırmak, stoklarını düşürmek, maliyetlerini azaltmak gibi çeşitli amaçlar doğrultusunda tedarik zinciri yönetimi üzerinde durmaktadırlar.

Ne var ki zincir içerisinde veya dışında olup zinciri etkileyen; tedarikçi, son kullanıcı talebi, çevre, organizasyon yapısı ve insan davranışları gibi birçok belirsizlik kaynağı [1] mevcuttur. Tedarik zincirinin doğası gereği içinde bulundurduğu insan faktörü ve belirsizliğe sebep olan parametrelerin varlığı, sistemin davranışlarını ancak belli varsayımlar altında ve içinde hatanın minimuma indirgenmesi üzerine yapılan çalışmaların ürünleri olan modeller yardımıyla incelemeyi mümkün kılmaktadır. Bir kısım çalışmalar ise farklı bir bakış açısıyla "kaos kuramı" benimsenerek sistem davranışının daha iyi anlaşılacağı üzerinedir.

2. TEDARİK ZİNCİRİNDE KAOS (CHAOS IN SUPPLY CHAIN)

Kaos, bir sistemden doğan, periyodik olmayan, davranışın bileşenleri arasındaki etkileşimi kestirilemeyen ve başlangıç koşullarına hassas bağımlılık gösteren davranıştır [2]. Kısaca kaos bir sistem davranışdır ve sistemdeki doğrusal olmayan, belirsiz davranışların sistemi kestirilemez duruma sokması halidir. Başlangıç koşullarındaki önem verilmeyen değişkenlerin sonuçlar üzerindeki belirlenemeyen etkileridir. "Kelebek etkisi" olarak tanımlanmış olan ve kaos teorisinin özünü oluşturan bu durum tedarik zinciri içerisinde kendisini en iyi "kamçı etkisi" ile göstermektedir. Talep tahmini hatalarının kademeler yükseldikçe artması [3], tedarik kıtlığı durumunda sipariş boyutlarının yükselmesi veya sipariş iptallerinin oluşması [4], siparişlerin beklentilerle toplu halde gönderilmesi [5] ile fiyatların promosyon kampanya vb. uygulamalarla dalgalanması [6,7] şeklinde tanımlanmış 4 temel sebep tedarik zincirinde katmanlar arasında giderek artan talep dalgalanmalarına, diğer bir deyişle "kamçı etkisi" ne yol açmaktadır. Bunun bir başka örneğini Grabinski [8] çalışmasında vermiştir:

"Kelebek kanat etkisi yerine bir forklift sürücüsü etkisi bulabilirsiniz: tedarik zincirinin ayrıntıları belli bir forklift sürücüsünün yemek molasını bitirme zamanındaki ağırlığına bağlı olacaktır."

Bu alanda birçok araştırmacı yukarıda bahsi geçen tedarik zincirinde belirsizlik konusuna kaotik teori ile yanıt bulmak üzerine çalışmış ve belirsizlik kaynaklarının sistemin kaotik davranış sergilemesine neden olduğunu ortaya koymuşlardır [9]. Makalelerde ele alınan ve dinamik davranışlarında kaotik yapının görüldüğü ya da zincir içerisinde kaosu etkileyen tedarik zinciri parametreleri Tablo 1 de özetlenmiştir.

Tablo1. Literatürde dinamik davranışlarında kaotik yapının görüldüğü ya da zincir içerisinde kaosu etkileyen tedarik zinciri parametreleri.

Parametre	Konu geçen makale/tez/ bildiri
Stok	[9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16]
Üretim stratejisi	[10]
Talep miktarı ve talep tahmini	[9], [11], [14], [16], [17], [18], [19]
Ürün tasarımı	[11]
Fiyat	[9], [14], [20]
Kuyrukta bekleyen ürün/malzemeler	[21]
Sevkiyat oranı	[12]
Hizmet düzeyi	[12]
Maliyet	[12], [19]
Kar maksimizasyonu	[22]
Planlama ve tahminleme	[18]
Sipariş ve sipariş politikaları	[13], [16]
Tedarik süresi	[16]

Yukarıda verilmiş olan parametrelerin kaotik yapısını ya da sistemin periyodik, istikrarlı yarı-periyodik veya kaotik olup olmadığını; kısacası sistemin dinamik davranışlarını inceleyebilmek için, iki yol kullanılmış olduğu görülmüştür: Grafik yöntem ve nicel yöntem. Grafikler veri eğilimlerini ve modellerini göstermede görsel olarak daha kullanışlıdır. Zaman serisi grafikleri, faz uzayı grafikleri, haritalar ve güç spektrumu sistem davranışlarını incelemek için kullanılan grafik yöntemlere; lyapunov üsteli (LE), entropi, fraktal boyut, kapasite boyut ve korelasyon boyutu yaygın olarak kullanılan niceleyicilere örnek olarak verilebilir [23].

Literatürde incelenen çalışmalarda kaos varlığının tespiti için kullanılan analiz yöntemleri Tablo 2’de verilmiştir. Buna göre çalışmaların büyük bir oranında kaosun varlığının

özellikle Lyapunov üsteli, çatalanma diyagramı ve zaman serileri analizleri ile ortaya konduğu tespit edilmiştir.

Tablo 2. Literatürdeki çalışmalarda kaos varlığının tespitinde kullanılan yöntemler

Yazar(lar)	Yayın Tarihi	Kullanılan Yöntemler									
		Çatalanma Diyagramı	Lyapunov Üsteli	Güç Spekturumu	İstatistiksel Analiz	Kaotik Çeker	Zaman Serisi	Faz Diyagramı	Denge Noktaları	Yanlış Yakın Komşu	Kolmogorov Entropisi
Horns, A.,	1989										x
Deshmukh	1993		X		x			x			
Beaumariage, T., Kempf, K.,	1994						x				
Feichtinger, G., Hommes, C.H., Herold, W.,	1994	x									
Thiel, D.,	1996	x					x				
Wilding	1997		x								
Jayanthi, S., Sinha, K.K.,	1998		x		x		x				
Wilding, R.D.a	1998		x		x	x	x			x	
Wilding, R.D.b	1998		x		x	x	x			x	
Larsen E.R., Morecroft J.D.W. ve Thomsen J.S.,	1999		x								
Katzorke I., Pikovsky, A.,	2000		x		x						
P., Alfaro, M.,	2001	x		x	x						
Reyes	2002						x				
Schmitz, J.P.M., Beek, D.A. van, Rooda, J.E.,	2002						x				
Kumara, S. R. T., Ranjan, P., Surana, A., & Narayanan, V.	2003	x		x							
Chryssolouris, G., Giannelos, N., Papakostas, N., Mourtzis, D.	2004							x			
Agiza, H.N., Elsadany, A.A.	2004	x	x			x					
Bruzzzone A.G., Revetria R., Simeoni S., Viazzo S. ve Orsoni A.,	2004	x									
Alfaro, M.D., Sepulveda, J.M.	2006		x	x	x	x					
Wu y. ve Zhang D.Z.,	2007		x								
Y. Wu and D. Z. Zhang	2007		x								
Papakostas, N., Mourtzis, D.	2007	x	x								
Benaissa, K., Diep, D., Dolgui, A.	2008	x									
Bachlaus, M., Tiwari, M. K., Shankar, R.,	2008	x	x				x				
Grabinski, M.,	2008	x	x								
Ma J. ve Feng Y.,	2008	x	x								
Hwang H.B. ve Xie N.	2008		x								
AnneK. R., Chedjou J.C. ve Kyamakya K.,	2009	x						x			
Bartholdi III, J.J., Eisenstein, D.D., Lim, Y.F.	2009		x				x				
Sun, Y. , Babovic, V., Chan, E.S.,	2010									x	
J. Ma, X. Pu	2011	x	x			x					
Ramírez ve Peña,	2011						x				
Guo Y. ve Ma J	2013	x		x							
Wang G. ve Ma J.	2013	x	x			x					
Macdonald J.R., Frommer I.D. ve Karaesmen I.Z.	2013	x					x				
Alfaro, M.D., Sepúlveda, J.M., Ulloa, J.A.	2013		x	x	x						
Ma J., Chen B.	2014	x	x	x							

Yazar(lar)	Yayın Tarihi	Kullanılan Yöntemler									
		Çatalanma Diyagramı	Lypunov Üsteli	Güç Spekturumu	İstatiksel Analiz	Kaotik Çeker	Zaman Serisi	Faz Diyagramı	Denge Noktaları	Yanlış Yakın Komşu	Kolmogorov Entropisi
Ma J. ve Wang H.	2014	x	x								
Li T. ve Ma J.	2014	x							x		
Dong M.A.	2014	x	x	x	x						
Hwang H.B. ve Yuan X.	2014		x								
Ma J., Li, Q	2014	x	x	x		x					
Demir, B., Alptekin, N., Kılıçaslan, Y., Ergen, M., Çağlarırnak Uslu, N.,	2015		x								
Sajid, M., Almufadi, F., Jahanzaib, M.,	2015		x								
Göksu A., Kocamaz U.E. ve Uyaroğlu Y.,	2015		x				x	x			
Junhai Ma , Fang Zhang	2015	x	x			x					
Wandong Lou 1, Junhai Ma and Xueli Zhan	2016	x	x			x					
Junhai Ma and Fengshan Si	2016	x	x	x		x					
Zhihui Han 1, Junhai Ma , Fengshan Si and Wenbo Ren	2016	x	x			x	x				
Junhai Ma , Lei Xie	2017	x	x				x				
Asaf Levi Juan Sabuco Miguel A.F. Sanjuan	2017	x	x				x				
Junhai Ma and Wandong Lou	2017	x	x				x				
Junhai Ma , Hao Ren , Miao Yu ,and Meihong Zhu	2018	x	x			x					x
Hamid Norouzi Nav Mohammad Reza Jahed Motlagh Ahmad Makui	2018		x				x	x			
Jianwei Chang1 and Liuwei Zhao	2018	x	x								
Gültekin Çağıl, Neslihan Açıkgöz	2018						x	x			

Tedarik zinciri sistemini bir bütün olarak ele alan ve içerisinde kaos teorisinin uygulandığı, tedarik zinciri yönetiminin kaos teorisi ile açıklandığı ve

anlamlandırılmaya çalışıldığı az sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar içerikleri ve inceleme alanları bakımından Tablo 3’de gruplandırılmıştır.

Tablo3. Literatürde tedarik zinciri sistemini bir bütün olarak ele alarak kaotik analizlerin yapıldığı çalışmalar

Grup no	Grup adı	Referans makale ve tezler
1	Talep tahmini, stok yönetimi, ürün tasarımı gibi zincirin tamamını etkileyen temel fonksiyonlardaki karmaşıklığın kaos bakış açısı ile yorumlanması ve anlamlandırılması	[8], [11], [12], [13], [16], [18], [24], [25], [26], [27], [28]
2	Farklı şekilde modellenmiş tedarik zinciri sisteminin dinamik davranışlarının incelenmesi	[8], [10]; [14], [15], [16], [17], [19], [20], [21], [22], [29], [30], [31]
3	Tedarik zinciri yönetimi sistemi kaos senkronizasyonunun ve kontrolünün araştırılması	[32], [33], [34], [35]
4	Bir tedarik zinciri yönetim metodolojisi olarak kaos teorisinin kullanılması	[36], [37]

1.1. Zincirin Tamamını Etkileyen Temel Fonksiyonlardaki Karmaşıklıkta Kaos Bakış Açısı (Chaos Perspective On The Complexity of The Basic Functions Affecting The Whole Chain)

Tedarik zinciri çok sayıda elemanı ile bunlar arasındaki bilgi, para, ürün vb. akışlar nedeniyle karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu sisteme ait tüm bileşenler birbirleriyle etkileşim halindedir ve zamana bağlı olarak durumları değişir. Bu, sistemin dinamik yapıda olduğunun bir göstergesidir. Karmaşık veya kaotik sistemlerin belli bir zaman sonra nasıl davranacaklarını tam olarak kestirebilmek imkânsızdır. Literatürde çok az sayıda çalışma küçük bir adım sonrasını tahmin etmek üzerine olsa da uzun süreli tahminlerin mümkün olmadığı açıklanmıştır. Tedarik zincirinde kararlar birçok faktöre bağlı olarak davranış değişikliği gösterebilir. Kaotik sistemler her zaman aynı girdiye aynı biçimde tepki vermezler. Zincir içerisinde belirsizlikler vardır. Nonlineerlik kaosun vazgeçilmezi olsa da tedarik zinciri içerisinde nadiren bulunur.

Grabinski [8], tedarik zinciri yönetimi içerisinde nonlineerliğin iki kaynağının varlığına dikkat çekmiştir: Birincisi, genellikle doğrusal olmayan denklemler ile maliyet optimizasyonudur (faiz bunun için orjinal bir örnektir), ikincisi ise eğer-sonra(if-then) kararlardır. Karar verme davranışının sistemde kaos oluşumunda önemli bir etken olduğu konusunda Hwang and Xie [16]'de hemfikir olduğu görülmektedir. Hwang and Xie [16] ayrıca sipariş politikalarının da sistemin kaotik davranış sergilemesine neden olabileceğini de vurgulamışlardır. Tedarikçi, perakendeci, dağıtıcı ve fabrikadan oluşan dört elemanlı basit bir tedarik zinciri modeli simülasyonunda bile envanter seviyesinde ve gelen siparişlerde deterministik kaos meydana geldiği görülmektedir [13].

Literatür incelendiğinde nonlineerliğin hizmet düzeyi ve maliyet arasında da oluştuğunu söyleyen Wilding [12]'e göre; bir depodaki envanter seviyesi sevkiyat oranını etkiler, eğer envanter istenilen seviyeye yakın ise sevkiyat oranı sipariş oranına eşit olabilir ancak envanter miktarı düşük ise bu durum sevkiyat oranını düşürür ve hizmet düzeyi azalır. Hizmet düzeyi ve maliyet arasındaki ilişki artan bir eğri ile tasvir edilir. Bu durum doğrusal olmayan bir yapının olduğunu göstermektedir. O nedenle tedarik zinciri yönetiminde geliştirilen kontrol sistemlerinin kaotik davranış sergilemesi mümkündür.

Planlamanın talep tahmini ve değişkenlik göz önüne alındığında firmalar ya da endüstriler açısından stratejik öneme sahip olduğu görülmektedir. Hangi alanda olursa olsun planlama yapan insanlar kullandıkları modellerde, talep tahmininin belirsiz olduğu ve belirsizliğin zamanla daha büyüdüğünü bilirler. Çünkü müşteri talebi öngörülürken, her bir müşteri kendi için önemli anahtar değişkenleri yorumlar ve satın alma kararını verir. Karmaşıklık, her müşterinin karar verme sürecini tahmin etme ve anlamadaki güçlüklerle başlar. Birçok müşteriyi

benzersiz karar setleri ile satın alma kararını göz önüne aldığımızda tahmin ve talep planlaması katlanarak daha karmaşık hale gelir [11]. Kaotik sistemler kararlı bir dengeye ulaşamazlar, bir kez kestiği bir noktayı asla bir daha kesmezler. Kısa süreli tahminler yapılabilir ancak zaman uzadıkça karmaşıklık ve doğrusal olmayan etkileşimler yani belirsizlik arttığından talep dalgalanmaları ile zaman arasında kaotik bir ilişki söz konusu olmaktadır [18].

1.2. Matematiksel Modellenmiş Tedarik Zinciri Sisteminin Dinamik Davranışları (Dynamic Behavior Of Mathematically Modeled Supply Chain System)

Bir tedarik zinciri sisteminde dağıtıcıdaki ve toptancıdaki başlangıç stok seviyesindeki değişim, simülasyonda kaotik çekicinin varlığını etkilemektedir. Bu kaos kuramının başlangıç koşullarına hassas bağımlılık ilkesini gözler önüne seren bir örnek oluşturmaktadır [15], [9]. Değişken sayıları ve bunlar arasındaki ilişkiler artması ile kaotik davranış arasında da bir ilişki vardır. Geliş hızı, servis oranı, kuruk uzunluğu gibi değişkenler göz önüne alınarak modellenmiş iki kuyruk ve bir işlemcinin yer aldığı bir kuyruk sisteminde, kuyrukta bekleyen malzemeler, ürünler veya işler belli bir sayının üzerinde çıktığında sistemin kaotik davranış sergilediği Kumara ve diğerleri [21] tarafından ortaya konmuştur.

Müşteriler ve tedarikçiler arasındaki etkileşimin tedarik zinciri davranışına etkisi üzerinde duran Wu and Zhang [14] ise; müşteriler, bir perakendeci ve üretici de dahil olmak üzere üç katmanlı bir müşteri-tedarikçi sistemini; indirim, stok, talep değişkenleri ile modellemiştir. Müşteriler tedarikçi tarafından yapılan fiyat indirimi teklifine göre satın almada bulunurlar. Bu bir tepki olarak nitelendirilmiştir. Tedarikçiler tutulan stok miktarına göre fiyat belirlenmesi gerçekleştirirler. Fiyata bağlı talep göz önüne alındığında, talep-indirim fonksiyonunda kaotik davranışın var olduğu görülmüştür. Ma and Feng [9] ise özellikle tedarikçi talebini modelinde kullanarak fiyat dalgalanmalarının kaotik etkisini gözlemlemiştir.

Sistemdeki birtakım değişimlerin kaotik davranışa sebep olmasının yanında; kaos, tedarik zinciri içerisinde negatif veya pozitif etkiye de sahip olabilmektedir. Dong [10] çalışmasında, kamçı etkisi ile ürün miktarı ve maliyet bakımından stok hacmindeki artışın işletme için negatif yönde bir etki oluşturmakla birlikte; işletmenin iç ve dış çevresel değişimlerle başa çıkma kabiliyeti olarak ifade edilebilecek esnek üretim gibi üretim stratejisini kaotik özelliklere göre yapılandırabilmesine olanak sağladığı üzerinde durmuştur.

Makalede stoğa ve siparişe göre üretim stratejilerini göz önüne alan üç aşamalı tedarik zinciri sistemi matematiksel modellenmiştir ve model değişkenleri olarak talep ve stok ele alınmıştır. Zincirin kaos durumunda kamçı etkisi gösterdiği analizler ile ortaya konmuştur.

1.3. Tedarik Zinciri Yönetimi Sisteminde Kaos Senkronizasyonunun Ve Kontrolünün Araştırılması (Investigation Of Chaos Synchronization And Control İn Supply Chain Management System)

Kaos senkronizasyonu, iki veya daha fazla, dağıtıcı (dissipative) kaotik sistemin birleşmesiyle ortaya çıkabilen bir olgudur. Böylelikle senkronize durumun kararlılığı [38] yani kaotik etkinin azaltılarak kontrolün sağlanması amaçlanmaktadır. Senkronizasyon, etkileşimli sistemlerin yapısına ve bağlantı türüne ve sistemler arasındaki yakınlığa bağlı olarak çeşitli formlarda olabilir. Tedarik zinciri sisteminde senkronizasyonu ve kontrolünü geri bildirim (feedback) kontrolörleri ([32], [33]) veya hibrit zeki kontrol modelleri [34] ile sağlayan çalışmaların yanında Lei, Li ve Xu [39] tedarik zinciri sisteminde kamçı etkisinin olumsuz etkilerini azaltmak için yapay sinir ağları kullanılarak sistem senkronizasyonu ile kaos kontrolü de amaçlamışlardır.

1.4. Bir Tedarik Zinciri Yönetim Metodolojisi Olarak Kaos Teorisi (Chaos Theory As A Supply Chain Management Methodology)

Sistemdeki stokastik olayların etkisinin incelenmesi ve kaotik davranışlara ilişkin risk değerlendirmesi üzerine yapılan çalışmalar, acil durum planı üzerine tahmin yapmaya yardımcı olacaktır [36]. Bu yönüyle kaos teorisi bir yönetim metodolojisi olarak da kullanılmaktadır.

2. TEDARİK ZİNCİRİ VE KAOS İÇERİKLİ ÇALIŞMALAR ÖZET TABLOSU (A SUMMARY TABLE OF SUPPLY CHAIN AND CHAOS STUDIES)

Tablo 4'de, tedarik zincirinde kaos konulu literatürdeki tüm makaleler ile doktora düzeyinde tezlerin bir derlemesidir. Tabloda, yapılan çalışmalardaki amaç ve bulguların yanı sıra, sistemdeki kaos yapısının belirlenmesinde kullanılan teknikler ve makale/tez içerisinde verilmiş modeller ile ilgili özet bilgiler de bulunmaktadır.

Tablo4. Tedarik zinciri ve kaos içerikli makale, bildiri ve doktora tezleri özet tablosu

Yazar(lar), Yıl	Model	Model Açıklama	Kaos Belirleme Yöntemi	Amaç	Sonuç-bulgular
Horns, A., 1989 [40]	Üretim tesislerinin deterministik simülasyonu yapılmıştır			Deterministik modellerin eksik özelliklerine bağlı 'Kaos' olayının dışında çıkan üretim tesislerinin deterministik simülasyonunun temel bir sınırının olup olmadığı sorusunu cevaplandırmak için bu çalışma yapılmıştır.	
Deshmukh, 1993 [41]			•	İmalat sisteminin dinamik davranışı farklı sıralama politikaları altında çalışılmıştır.	İmalat sistemi modellerinde kaotik veya tahmin edilemez davranışın deneysel kanıtı sunulmuştur. Nonlineer dinamik sistemlerde uzun süreli tahmin imkansızdır.
Beaumariage, T., Kempf, K., 1994 [42]	Dört süreç aşamasına ve dört adet ekipmana sahip bir imalat sisteminin deterministik simülasyonu modellenmiştir.	İşin tamamlanma süresi (TPT) performans göstergesi olarak alınmıştır.	Çalışmada; üretim makineleri çizelgelemesi, parti büyüklüğü ve kapasitesi faktörlerinin her birinin, kaotik davranışın başlangıcı için gerekli olan karmaşıklığa katkısının olduğu gösterilmiştir.	İmalat sisteminde politika veya kuyruktaki küçük değişikliklerin büyük performans değişimlerine sebep olup olmadığının kaos kuramı ele alınarak incelenmesi amaçlanmıştır.	3 farklı bırakma politikasının çok farklı performans sonuçları ürettiği görülmüştür (bırakma politikaları sisteme hammadde eklemek için miktar ve zaman belirler). Ayrıca 3 farklı dinamik kuyruk değişimleri (fifo, pull, push) çok farklı performans sonuçları üretmektedir.
Thiel, D., 1996 [43]	Farklı verimlilik değerlerine göre Work-in-process (WIP) seviyesinde envanter istikrarı için sistem dinamiği modeli inşa edilmiştir.		• Envanter seviyeleri grafikleri • Çatallanma diyagramı	Çalışma, just-in-time felsefesine dayanan üretim sistemlerinde oluşabilecek istikrarsızlık ve kaosu ele almaktadır	İş sürecinin verimliliğinin kaotik davranış sergilediği seviyeler belirtilmiştir.

Yazar(lar), Yıl	Model	Model Açıklama	Kaos Belirleme Yöntemi	Amaç	Sonuç-bulgular
Wilding, 1997 [26]	Tedarikçi, montajcı ve müşteri den oluşan üç aşamalı tedarik zinciri modeli.	Matematiksel model kullanılmamıştır	<ul style="list-style-type: none"> Lyapunov üstelleri 	Tedarik zinciri içindeki sistemler tarafından dahili olarak üretilen belirsizlik kaynakları ve tedarik zinciri performansı üzerindeki etkisini incelemek	Deterministik kaosun simüle edilen depo tedarik zincirinde kolayca üretilmediği gösterilmiştir. Kaos derecesinin tedarik zincirinde kademelerin sayısına bağlı olduğu saptanmıştır. Tedarik zinciri içerisinde yaşanan dinamik davranışa sebep olan üç bağımsız etki tartışılmıştır: deterministik kaos, paralel etkileşimleri ve talep büyütme.
Jayanthi, S., Sinha, K.K., 1998 [44]	Bir gofret üretim tesisinden, 125 haftalık zaman serisi verilerini kullanarak, kavramsallaştırma testi yapılmıştır			Yüksek teknoloji imalatında yenilik uygulaması kaotik bir süreç midir? sorusu ampirik analize rehberlik eder.	
Wilding, R.D. 1998a. [12]			Doğrusal olmayan verilerin analiz yöntemleri için kaynak gösterilmiştir Zaman Serisi	Kaotik sistem özelliklerinin açıklanması ve tedarik zincirinin kaotik yapısının incelenmesi	Çalışma basit bir tedarik zincirlerinin kaotik sistemlerin özelliklerini görüntüleyebildiğini göstermektedir
Wilding, R. D., 1998b. [13]				Tedarik zinciri içerisinde belirsizlik kaynakları olarak tanımlanan üç bağımsız etkinin (deterministik kaos, paralel etkileşimler ve talep amplifikasyonu) incelenmesi.	
Larsen E.R., Morecroft J.D.W. ve Thomsen J.S., 1999 [15]	Bira dağıtım oyununa ait tedarik zinciri modeli kullanılmıştır	Sterman (1989)'ın tedarik zinciri modeline istenen stok ve istenen tedarik hattı formülleri adapte edilmiştir	Lyapunov üstelleri	Çok çeşitli dinamik davranışlar üretebilen bir üretim-dağıtım zincirinin kademeli yapısının nasıl olduğunu göstermek	<ul style="list-style-type: none"> Simülasyon ile işletmemaliyeti profiline davranış şekillerine ve kaosa luşturma koşullarına nasıl bağlı olduğunu ortaya koymuştur Parametre alanının detaylı haritaları dinamikler ve maliyetler üzerine envanter kontrol politikalarının etkisini grafiksel olarak göstermiştir Analizler düşük maliyetli politikaya parametre bölgelerinde "gezinmenin" (navigate) karar vericiler için neden zor olduğunu göstermiştir. İlke geçici ortalamamaliyeti ve Ortalamakararlı durum maliyeti grafikleri ile maliyet ve sistem kararlı/kararsız davranışlar arasındaki bağlantının olduğu gösterilmiştir.
Katzorke I., Pkovsky, A., 2000 [45]	Sürekli ve kesikli düzen malzeme akışı için üretim dinamiklerinde (Wiendahl huni yaklaşımına dayalı) dengeli		<ul style="list-style-type: none"> Lyapunov üsteli Korelasyon fonksiyonu 	Kaosu kontrol ederek, maliyet fonksiyonunun minimizasyon sorununu ele almıştır.	Çalışmada özellikle, kaosun bir maliyet fonksiyonunun minimize edilmesi için kontrol edilebilir olduğunu gösterilmiştir. Sürekli akış durumunda sistem güçlü kaotik özellikler göstermektedir

Yazar(lar), Yıl	Model	Model Açıklama	Kaos Belirleme Yöntemi	Amaç	Sonuç-bulgular
	üç huni modeli kullanılmıştır.				
Charpentier, P., Alfaro, M., 2001 [46]	Esnek üretim sisteminde mekanik parçaların montaj hattı modellenmiştir. Her biri üç montaj işlemine sahip iki parça simüle edilmiştir.	Kuyruktaki parça sayısı zamansal ortalamaları (y), t anında kuyruktaki parça sayısı(x) in zamana bağlı fonksiyonu olarak modellenmiştir.	<ul style="list-style-type: none"> Çatallanma analizi Otokorelasyon grafiği, Fourier spectrum, Lyapunov üstelleri 	Çalışmanın amacı, imalat üretim sistemlerinde kaotik davranışların varlığını kanıtlamak ve açık hale getirmek.	Bir atölye içinde, kaotik veya rastgele davranışa sahip başka bir hücre olmasına rağmen bir başka hücre deterministik davranış sergileyebilir. Üretim oranları ile geliş oranları arasındaki oranı değiştirilerek davranış değiştirmek mümkündür. Farklı kuyruk politikaları (Fifo, spt-en kısa işlem süresi, hpt-en uzun işlem süresi) için alt sistemlerin davranışları tablo halinde verilmiştir. Bazıları kaotik davranış sergilerken bazıları kararlı (fixed point) şeklinde davranış göstermiştir. Bir bozulma (perturbation) gibi çalışmadaki ufak bir değişiklik sistemin beklenmeyen davranış sergilemesine neden olmaktadır.
Reyes 2002 [37]		Talep fonksiyonu, bir raf alanı tahsisi modeli ve yeni sipariş noktası modelleri önermektedir.		Bakkal tedarik zincirinde ürün ikamesi ve ürün çoğalması etkilerini modellemektir. Kaos teorisi; dağıtıcı, üretici ve tedarikçi etkileşimlerine geri akışı tedarik zinciri koordinasyonu ve etkili müşteri tepkisi kullanımı iyileştirmeleri için bir metodoloji olarak keşfedilmiştir.	Bakkal tedarik zinciri gibi dinamik sistemlerin, başlangıç koşullarına bağımlılığı sergilediklerinde, sistemde deterministik kaos bulunabileceği tartışılmıştır.
Dessert, P.E., James, S.D., 2002 [47]	Hurda oranı, araç kurulum maliyeti ve çevrim süresi parametreleri üzerinde oynayabilmeye ve maksimum karı getirecek miktarları belirlemeyi sağlayan simülasyon modeli kullanılmıştır.	Birden fazla parametrenin elde edilen net kar üzerindeki kaotik değişikliklerin etkisini göstermek için modifiye edilen bir simülasyon sistemidir.		Amaç: üretim sürecini optimize etmektir	Belirlenen parametrelerdeki küçük değişimlerin büyük etkilerinin olduğu yapılan simülasyon ve hesaplanan net kar ile ortaya konmuştur. Sonuç olarak eğer bir imalat firması parametreleri değiştirmek için en uygun seti bulursa, karlılıkta net büyük getiri için bu parametrelerde sadece küçük değişiklikler gerektirir.
Schmitz, J.P.M., Beek, D.A. van, Rooda, J.E., 2002 [48]	Çalışmada, bir gofret üretim tesisinden elde edilen zaman serisine, iyi uyan kaotik davranış sergilediği görülen 'kara kutu' ARIMA modeli oluşturmak için kullanılmıştır		<ul style="list-style-type: none"> İki makine üretim sisteminin bir kesikli olay modelinin düzensiz davranışı, doğrusal olmayan zaman serisi analizi ve duyarlılık analizi ile analiz edilmiştir. Yapısal kararlılık analizi 	Çalışmada, Kaotik davranışlar görünen üretim sistemi modelleri literatür olarak tartışılmış ve dinamik sistemlerin kaos teorisi, üretim sistemlerinin küçük kesikli olay modellerine uygulanmıştır.	Çoğu durumda, üretim sistemi bms's' nin kesikli-olay modeli, küçük farklılıklara duyarlı olmadığından tam anlamıyla kaotik olduğu söylenememektedir.
Kumara, S. R. T., Ranjan, P., Surana, A., & Narayanan, V. (2003). [21]	Tedarik zincirinde kuyruk modeli oluşturulmuş ve kaos varlığı tespit edilmiştir	Kuyruk modeli 4 denklemden oluşan kesikli dinamik denklem sistemi ile gösterilmiştir.	<ul style="list-style-type: none"> Güç spectrumu Çatallanma diyagramı 	Bu çalışmada önleyici olmayan kuyruk modeli ve onun lojistik alana etkileri incelenmiştir. Bir prototip tedarik zinciri örneği kullanılmıştır ve elde edilen davranışlar incelenmiştir.	Tedarik zincirinde kuyruk modeli oluşturulmuş ve kaos varlığı tespit edilmiştir

Yazar(lar), Yıl	Model	Model Açıklama	Kaos Belirleme Yöntemi	Amaç	Sonuç-bulgular
Bruzzone A.G., Revetria R., Simeoni S., Viazzo S. ve Orsoni A., 2004 [36]	Problem tespiti ve kaotik davranışlara ilişkin risk değerlendirme ve sınıflandırma teknikleri ile bunların etkilerini analiz etmeyi içeren bir simülasyon tabanlı metodoloji geliştirilmiştir	Matematiksel model kullanılmamıştır	<ul style="list-style-type: none"> Çatalanma diyagramı 	Kritik sonuçlardan kaçınmak ve azaltmak amacıyla, endüstriyel işlemlerde kaotik kaynakları belirlemek Gerçek bir sanayi durumu:Dağıtık kimyasal işleme lojistiği ile ilgili bir üretim sorununu incelemek	<ul style="list-style-type: none"> Önerilen metodolojikaotik eşik düzeyinde değerlendirerek sistemdeki stokastik olayların etkisini belirleyebilir. Uygulamaya dayalı bu tür bir yaklaşım, kaosu sistemi kontrol edilemez hale getirdiği durumları tespit etmek için uygulanabilir. Stratejik yönetim kararları sistemde kaos düzeyi etkiler.
Agiza, H.N., Elsadany, A.A. 2004 [22]	Düopol oyununda iki oyuncu için marjinal fayda denklemleri ile modellenmiştir	Doğrusal olmayan kesikli zamanlı iki denklem ile modellenmiştir.	<ul style="list-style-type: none"> Lyapunov üstleri, Çatalanma diyagramları Fraktal boyut 	Farklı stratejiler kullanan iki firmanın temsil edildiği bir düopol oyunun dinamik davranışlarını incelemektir.	Oyuncuların farklı stratejiler uyguladıklarında Pazar dinamiklerinde değişim olduğu tespit edilmiş ve böylelikle stratejilerin çeşitli ve heterojen olmasının karmaşıklığa neden olduğu bulunmuştur.
Chryssoulouris, G., Giannelos, N., Papakostas, N., Mourtzis, D., 2004 [49]	Basit bir imalat sistemi çizelgelemesi, yaygın olarak kullanılan atama kuralları yardımıyla simüle edilmiştir	Çalışmada sistem farklı sıralama kuralları için (fifo, ilk giren ilk çıkar ve en kısa işlem süresi) 5000 işin geliş saatleri, işlem süresi ve bitiş tarihi ile karakterize edilmiştir.	<ul style="list-style-type: none"> Faz diyagramları 	Çalışmada üretim sistemlerinde kaos kavramı kısaca tanıtılmış ve kaotik bir sistemi karakterize etmede kullanılan araçlar ele alınmıştır	Doğrusal olmayan dinamikler ve kaos teorisi ile ilgili kavramlar ve faz diyagramları kullanılarak, üretim sistemlerinde sevk problemi ile ilişkili değişkenlerin, ilginç geometrik desenler ortaya koyduğu görülmüştür
Drew, S., Joe, B. H., & Jonathan, R. R. 2006 [28]				Seçilen tedarik zinciri fonksiyonları için kaos teorisi ilkelerini uygulayarak tedarik zinciri bilgi tabanını genişletmektedir.	Tedarik zinciri yönetiminde zincirin tamamında önemli etkiye sahip ürün tasarımı ve envanter seviyesi kararı için tedarik zinciri uygulama örneklerinden bahsedilerek tedarik zinciri yönetiminin kaos teorisi ile nasıl daha anlaşılabilir olduğu üzerinde durmaktadır.
Alfaro, M.D., Sepulveda, J.M., 2006 [50]	Bir kesikli olay modeli üretim sistemini temsil etmek üzere simüle edilmiştir.	Altı farklı iş istasyonları, bir taşıyıcı, bir giriş istasyonu ve bitmiş parçalar için bir çıkış istasyonundan oluşan bir montaj hücresi ele alınmıştır. Verilen durumlar için montaj hücresinin dinamiklerinin kaotik olduğu görülmüştür.	<ul style="list-style-type: none"> Fourier spektrumu Fraktal boyut Zaman bağlı stok seviyesi, Güç spektrumu, Otokorelasyon fonksiyonu, Ortalama yerel Lyapunov üsteli 	İmalat sistemlerinin dinamik davranışını analiz etmek için belirli sevk kuralları ve kullanım seviyeleri altındaki kaotik davranış gözlemek.	Sonuçlar göstermiştir ki: SPT (En Kısa İşlem Süresi), FIFO (İlk Giren İlk Çıkar), ya da HPT (En yüksek İşlem Süresi) olarak bilinen deterministik kurallar çerçevesinde basit sistemlerde bile karmaşık bir sistem davranışı elde edilebilir. Özel çalışma koşulları için, hücrenin dinamiklerinin kaotik olduğu gösterilmiştir. Sonuçlardan, esnek üretim sistemlerinin, sistemin iş yüküne bağlı olarak kaotik davranış sergileyebileceği ve karar kurallarının makinelerle işleri atamak için kullanılabildiği sonucuna varılabilmektedir.
Wu y. ve Zhang D.Z., 2007 [14]	Müşteriler, bir perakendeci ve üretici olmak üzere üç katmanlı müşteri-tedarikçi sistemi	Talep ve stok seviyesini veren denklemler tanımlanmıştır	<ul style="list-style-type: none"> Çatalanma diyagramı 	Müşteriler ve tedarikçiler arasındaki etkileşimin tedarik zinciri davranışını nasıl etkilediğini göstermek	<ul style="list-style-type: none"> Sistemin davranış vesisteminkisiltarı dikkate alınarak doğrusal olmayan hem de doğrusal talepte deterministik kaosa sergilediği görülmüştür

Yazar(lar), Yıl	Model	Model Açıklama	Kaos Belirleme Yöntemi	Amaç	Sonuç-bulgular
					<ul style="list-style-type: none"> • Kaotik davranışın talep-indirim fonksiyonuna doğru bir görünümüne ulaşılması için uygun olduğu bulunmuştur • Sınırlamalar veya kısıtların kaotik davranış sergilemekte önemli bir rol oynadığı sonucuna varılmıştır • Modelin çözümleri çevre ve başlangıç durumları ile hareket ettiği bulunmuştur.
Papakostas, N., Mourtzis, D., 2007 [51]	Üretim hızı, bir önceki karar noktasının üretim hızı ve biriken siparişlerin boyutunun bir fonksiyonu olarak modellenmiştir ve modelin testi için çelik ürünler imalatı yapan bir Yunan firmanın gerçek verileri kullanılmıştır.	Talep ve üretim kapasitesi arasındaki ilişkiyi temsil etmek için kullanılan 4 değişken ve 4 parametrelili bir üretim sistemi ele alınmıştır.	<ul style="list-style-type: none"> • Maksimal Lyapunov üsteli • Çatallanma diyagramları 	Bu çalışmanın amacı iki yönlüdür: a) minimum üretim verilerini kullanarak talebe uyum sağlamak için üretim sisteminin yeteneğini ölçmek ve b) doğrusal olmayan ve kaotik dinamikler araçlarını kullanarak, analiz edilebilir bir üretim sisteminde uyum için farklı operasyonel politikaları göstermek.	Üretim sistemlerinin basit modelleri belli koşullar altında kaotik sistemlerin benzer davranışlar gösterdiği görülmüş ve özellikle başlangıç koşullarına duyarlılık dikkate alınmıştır.
Hwang H.B. ve Xie N., 2008 [16]	Sterman (1989)'ın Bira dağıtım oyunu için oluşturduğu tedarik zinciri modeli kullanılmıştır	Beklenen talep ve sipariş miktarları denklemleri verilmiştir	<ul style="list-style-type: none"> • Lyapunov üsteli 	Talep deseni, sipariş politikası, talep bilgi paylaşımı ve tedarik süresi faktörlerinin etkisi altında tedarik zinciri dinamikleri gözlemlemek	<ul style="list-style-type: none"> • Müşteri talep ve tedarik zamanı deterministik olsa bile sipariş veya stoklar önemli değişiklik gösterebilir • Tedarik zinciri sisteminde kaos derecesini azaltmak için, envanter ve besleme (supply) hattının her ikisindeki tutarsızlıklar için ayar parametrelerini büyüklüğü daha karşılaştırılabilir olmalıdır • Tedarik zinciri düzeyleri arasında envanterde bulunan 'kaos-amplifikasyon' olgusunu keşfedilmiştir.
Ma J. ve Feng Y., 2008 [9]	Perakendeci talep modeli	Kesikli dinamik talep modeli tanımlanmıştır	<ul style="list-style-type: none"> • Maksimum Lyapunov üsteli • Çatallanma • diyagramı 	Model parametreleri (indirim oranı ve başlangıç koşullarındaki değişimin dikkate alınarak kaotik davranış incelemek	Sistemin davranışı sistem kısıtlarını dikkate alarak deterministik kaos sergiler
Grabinski, M., 2008 [8]	depo optimizasyonunun basit bir örneğinde kaos başlangıcı matematiksel olarak hesaplanmıştır			Tedarik zinciri içerisinde kaosun, nonlineerliğin sebepleri irdelenmiştir. başlangıç koşullarına hassas bağlılık için örnekler verilmiştir.	Tedarik zincirinde kaosun varlığı açıklanmaya çalışılmıştır.
Bachlaus, M., Tiwari, M. K., Shankar, R., 2008 [52]	Hazırlık maliyetini ve zaman minimizasyonu içeren matematiksel bir model			Çalışma, maliyet minimizasyonu ve zaman minimizasyonu için bir optimum parça dizisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Üç farklı kaotik dizi üreticileri kullanılarak temel dizi (part) sorunu üzerindeki etkileri incelenmiştir.	Kurulum maliyeti ve kurulum süresini en aza indirmeye çalışan SSMS (single-stage multifunctional machining system) için yeni bir sıralama ve zamanlama stratejisi (Kaos

Yazar(lar), Yıl	Model	Model Açıklama	Kaos Belirleme Yöntemi	Amaç	Sonuç-bulgular
	formüle edilmiştir				gömülü tavlama benzetimi algoritması)sunar
Benaissa, K., Diep, D., Dolgui, A., 2008 [53]	Basit deterministik üretim modeli		<ul style="list-style-type: none"> Çatallanma diyagramı 	Burada ajanlara dayalı basit deterministik üretim modelinin dinamik davranışı analiz edilmiştir.	Çoklu-ajan sistemlerin parametrelerin göre, üretim sisteminin kaotik bir davranış sergilenebilir olduğunu göstermiştir
Anne K. R., Chedjou J.C. ve Kyamakya K., 2009 [31]	3 aşamalı tedarik zinciri modeli oluşturulmuştur	Kesikli modelin çok küçük zaman aralıkları göz önüne alınarak Sürekli dinamik modeli oluşturulmuştur	<ul style="list-style-type: none"> Çatallanma diyagramları Faz Diyagramı 	Üç kademe tedarik zincirinin dinamik davranışını incelemek. İleri beslemeli kontrol parametreleri	
Bartholdi III, J.J., Eisenstein, D.D., Lim, Y.F., 2009 [54]	Hücre grup montaj hatlarının bir modeli ele alınmıştır			Hücre gruplarının geliştirilmiş modelinin bir örneğinin kaotik davranış yeteneğine sahip olduğunu kanıtlamak hedeflenmiştir.	Ürünler arası tamamlanma süreleri ve dolayısıyla ürünlerin başlangıç ve bitiş süreleri kaotiktir. Hücre gruplarının geliştirildiği model, tamamen deterministik olsa da, kaotik davranış yeteneğine sahiptir. Bu kesikli üretimin gerçekçi bir modelinin kanıtlanabilir kaotik davranışının ilk örneğidir.
Ramírez ve Peña, 2011 [29]	Fabrika bağlantıları, dağıtım, toptan ve perakende satış ile müşteri kavramlarının bulunduğu dört düzeyde bir tedarik zinciri modeli		İki ve üç boyutlu grafiklerle sistem düzensizce hareket ettiği zamanların mevcut olduğu görülmektedir	A, bir sipariş gerçekleştirildiği anda gerçek stok ve bekleyen siparişleri dikkate alan ürün birimlerinin sayılarının katsayısı (0-1 aralığındadır); B, tedarik zinciri bağlantılarında her bir siparişin gerçekleştiği anda besleme (supply) hattındaki birim sayısının katsayısı. İki karar parametresi ile önceki ve sonraki seviyelerin bağlantılarının ne olacağını araştırmak	<ul style="list-style-type: none"> Tedarik zincirindeki herhangi bir seviyede optimize etmek için yapılan küçük bir değişiklik başka önemli değişikliklere neden olabilir. Tedarik zinciri komple bir sistem olarak ele alınmalıdır
J. Ma, X. Pu, 2011 [19]	Pazarın ikinci dereceden (quadrotic) ters talep fonksiyonuna sahip olduğu ve firmanın kübik toplam maliyet fonksiyonunu kullandığı triopol dinamik bir oyun, üç boyutlu lineer olmayan fark denklemleri ile modellenmiştir.	Üç denklemler kesikli dinamik sistem modellenmiştir.	<ul style="list-style-type: none"> Garip çekerlerinin fraktal boyutları Çatallanma diyagramları Lyapunov üstelleri 	Çalışmada, ters talep fonksiyonunun ikinci dereceden olduğu ve toplam maliyet fonksiyonunun kübik olduğu varsayımı ile farklı beklentilerle triopol piyasa modelinin dinamik davranışları incelenmiştir.	Garip çekicilerin fraktal boyutu ekonomik sistemin fraktal boyut yapısının kaotik bir sistem olduğunu göstermektedir
Zhang, H., Hu, Y., 2011 [55]				İmalat ızgara (MGrid) gelişmiş bir üretim teknolojisi türüdür. ağ aracılığıyla, MGrid, bazı coğrafi olarak dağıtılmış işletmelerin ve kaynakları ve merkezi, ancak fiziki olarak dağıtık olan Sanal örgüt (virtual organizations -VOs) biçimlerini bağlayabilir. burada kaynak birleştirmede optimizasyon için kaos kuramından faydalanarak yeni algoritma geliştirilmiştir.	Deneysel sonuçlar önerilen algoritma ile verimli, etkin ve ızgara sisteminde kaynak birleştirme sorununu çözmek için ölçeklenebilir olduğunu göstermektedir
Guo Y. ve Ma J., 2013 [24]	İki farklı oyun modeli için üretici ve bir perakendeci ile kapalı-döngü	Bayinin satış ve toplama karlılığı ile imalatçının bayiye ödediği toplamın transfer ücreti ve	<ul style="list-style-type: none"> Güç spektrumu Çatallanma diyagramı 	Marjinal fayda maksimizasyonunda sistem parametrelerinin etkilerini iki oyun modelini karşılaştırarak analiz etmek	Merkezi olmayan karar verme durumunda toplama fiyatı (collecting price) ve sistem karının daha düşük olduğu

Yazar(lar), Yıl	Model	Model Açıklama	Kaos Belirleme Yöntemi	Amaç	Sonuç-bulgular
	tedarik zinciri sistemi için bir toplama fiyat oyun modeli	imalatçının karlılıklarını veren 4 denklemden oluşan kesikli dinamik CLSC sistemi modellenmiştir			
Wang G. ve Ma J., 2013 [25]	Birden fazla oligopol üreticiler arasında bir çıkış oyunu modeli	Kesikli dinamik tedarik zinciri modeli oluşturulmuş. Model 3 imalatçı firmadan i. firmanın üretim kararını veren denklemlerden oluşmaktadır	<ul style="list-style-type: none"> Çatallanma diyagramları Lyapunov üsteli Kaotik çekiciler 	Piyasada üretici çıktı ayar (output adjustment) parametresinin etkisini kaotik bakış açısı ile değerlendirmek	Modelin istikrarlı ve dengede ideal duruma ulaşması için, çıktı ayarı (output adjustment) hız katsayısı azaltılmalıdır.
Macdonald J.R., Frommer I.D. ve Karaesmen I.Z., 2013 [27]	Sterman (1989)'ın Bira dağıtım oyununda oyuncuların sipariş kararları modeli kullanılmış	Beklenen zarar oranını hesaplayan denklem oluşturulmuş	Olağanüstü sipariş bilgileri etkisi ve sipariş miktarlarındaki envanter bilgileri etkisi parametrelerinin stok seviyeleri grafiklendirilmiştir	<ul style="list-style-type: none"> Biradağıtmoyunundakısa ve uzundönemliperformansı Sistemin durağan hale ne kadar hızlı geçebileceğini araştırmak Tedarik zincirindeki davranışsal sorunlar 	Birtedarik zincirinin kısa vadeli performansı uzun vadeli performans belirleyicisi (predictor) olmadığını sonucuna varılmıştır.
Alfaro, M.D., Sepúlveda, J.M., Ulloa, J.A., 2013 [56]	Esnek bir üretim sisteminin bekleme hattı ele alınmıştır ve işleme alanı üç tip parça üreten üç farklı makinelerden oluşturulur. Her bir parça işlem sırasına göre farklı makinelerde yürütülebilen bir dizi operasyona sahiptir.	Geliş hızı ve servis hızı sistemin dengede olduğunu gösterir. Fifo uygulanmış. Her makinede çalışma süresini tabloda verilmiştir.	<ul style="list-style-type: none"> Fourier güç spektrumu, Correlation Dimension Lyapunov üsteli 	Makalede kaotik davranışa sahip bir imalat sisteminin bir bekleme hattındaki parçaların zamanla değişen ortalama sayısının tahmini için yapay sinir ağları ve vektör destek makinelerinin bir uygulaması ele alınmıştır.	En iyi sonuçlar en küçük kareler destek vektör makineleri ile elde edilmiştir. Bu iki model esnek bir üretim sisteminden elde edilen kaotik diziyi tahmin etmede etkili olduğu ifade edilebilir. Elde edilen sonuçlara göre, bu sistemin davranışı bir adım (bu 0.15 zaman birimleri) sonrasının tahmin edilebilir sonucuna varılabilir.
Dong M.A., 2014 [10]	Sipariş ve stoğa üretim stratejilerine sahip tedarik zinciri kesikli modelleri	Talep ve üretim miktarı değişkenlerinin oluşturduğu doğrusal olmayan kesikli dinamik sistem	<ul style="list-style-type: none"> Çatallanma Lyapunov katsayısı Güç spektrumu Korelasyon boyutu 	Geliştirilen tedarik zinciri modellerinin dinamik karakteristiklerini incelemek	Üretici gruplarının esnek üretim imkanları, tedarik zincirinde kamçı etkisinin sebepleri ve önlemleri tartışılmıştır
Hwang H.B. ve Yuan X., 2014 [17]	Bira dağıtım modeli	Zincirin t anında i. seviyesinde beklenen talep denklemleri tanımlanarak tedarik zinciri kesikli zamanda modellenmiştir	<ul style="list-style-type: none"> Lyapunov üstelleri 	Sistem dinamiklerinin kaos karakteristiklerinde taleptürü, talepsüreci ve tedarik zinciri düzeyinde verimli etkilerini araştırmak	<ul style="list-style-type: none"> Stokastik ve deterministik talepsüreci arasındaki kaotik açıdan ayrım vardır Stokastik talepsürecileri doğrusal olmayan dinamikler arasında ki etkileşim karmaşıktır
Li T. ve Ma J., 2014	Çift kanal Bertrand Oyunu modeli (ağ ve geleneksel kanal) İki bayiden 1. müşteriye ürünü ağdan ve mağazadan , 2. sadece internetten satış	talep fonksiyonları, fayda fonksiyonları ve 3 farklı durum için ürün fiyat kararını veren kesikli dinamik sistem modellenmiştir	<ul style="list-style-type: none"> Denge noktaları Çatallanma teorisi 	<ul style="list-style-type: none"> Denge noktalarının yerel kararlılığı incelemek Dinamik davranışları ve özellikleri tanımlamak 	<ul style="list-style-type: none"> Geleneksel kanalda fiyat gecikme kararının sistemi daha istikrarlı kıldığı bulunmuştur. Kaos ortaya çıktığında, pazar anormal düzensiz ve öngörülemez hale gelmektedir.

Yazar(lar), Yıl	Model	Model Açıklama	Kaos Belirleme Yöntemi	Amaç	Sonuç-bulgular
	yaptığı tedarik zinciri modeli				
Ma J. ve Wang H., 2014	İki ortak olmayan (noncooperative) oyun modeli: Stackelberg ve peer-to-peer oyun modeli geliştirilmiştir. Bir üretici ve bir bayiden oluşan ürün geri kazanımlı, bir kapalı döngü tedarik zinciri (CLSC)	Bayinin satış ve toplama karlılığı ile imalatçının bayiye ödediği toplama transfer ücreti ve imalatçının karlılığını veren 4 denklemden oluşan kesikli dinamik CLSC sistemi modellenmiştir	<ul style="list-style-type: none"> Çatallanma diyagramları En büyük Lyapunov üsteli (LLE) 	Farklı karar kriterleri altında 2 oyun modeli geliştirmek ve bu çatallanma, kaos ve başlangıç değerlerine hassasiyet gibi dinamik olayları incelemek	Perakendecinin rekabetçi konumunu iyileştirmesiyle, kapalı döngü tedarik zinciri (CLSC) sisteminin kaos girmesini kolay olacaktır.
Ma J., Li, Q., 2014 [57]	belirsiz talep ile riskten kaçınan tedarik zincirinde iki üreticileri ve ortak bir perakendeci de dahil olmak üzere dinamik Bertrand-Stackelberg fiyatlandırma modelleri kurulmuştur	İki üreticiler arasında Bertrand oyunu ve üretici ve perakendeci arasındaki Stackelberg oyunu ele alınmıştır	<ul style="list-style-type: none"> güç spektrumu, garip çekerler çatallanma diyagramları Lyapunov üsteli 	belirsiz talebin altında, İki üreticileri ve ortak bir perakendeci ile bir riskten kaçınan tedarik zincirinin dinamik karmaşıklığı ele alınmıştır	tedarik zincirinde kaos durumunda iken iki üreticinin ve tedarik zincirinin karı azalacak ve perakendeci hak sahibi olacaktır. Tedarik zincirindeki dalgalanma, fiyat ayarlama hızının kontrolü ile kontrol edilebilir. çalışmada değişken geribesleme kontrol yöntemi, sisteminde kaos kontrol etmek için kullanıldı.
Ma J., Chen B., 2014 [58]	Bir kapalı döngü tedarik zincirinde üç oligarşik perakendecilerin oyunu modellenmiştir	Her bir perakendecinin atık ürünleri geri dönüşümlü miktarı, yeni ve ikinci el ürünlerin fiyat fonksiyonları, her bir perakendecinin karını veren fonksiyonlar ile fiyat ayar stratejilerini gösteren fonksiyonlar verilerek kapalı döngü tedarik zincirindeki üç oligarşik perakendecinin kesikli dinamik sistemleri matematiksel olarak modellenmiştir. ve kaos kontrolü için dinamik sisteme bir ayar parametresi eklenmiştir.	<ul style="list-style-type: none"> Çatallanma diyagramı Güç spektrumu Maksimum Lyapunov üsteli 	Kapalı döngü geri dönüşüm alanındaki tedarik zincirinde kaos kontrolü üzerine çalışılmıştır.	Parametre ayarını ve kaos kontrolü için değişken durum geri beslemeli kontrol stratejisi kullanılmış ve sistem kaosu etkin bir şekilde geciktirilmiştir
Göksu A., Kocamaz U.E. ve Uyaroglu Y., 2015 [33]	Üretici, dağıtıcı ve müşteriden oluşan 3 aşamalı tedarik zinciri modeli	Zhang ve diğerlerinin (2006) tanımladığı sürekli tedarik zinciri modeli	<ul style="list-style-type: none"> Zaman serisi Faz diyagramları Lyapunov kararlılık teorisi 	Tedarik zinciri yönetimi sistemi kaos senkronizasyonu ve kontrolünü araştırmak	
Sajid, M., Almufadi, F., Jahanzaib, M., 2015 [59]	Sistem davranışını tanımlamak için montaj sisteminin süreç		<ul style="list-style-type: none"> Ortalama Lyapunov üsteli 	Üretim sisteminin esnek bir montaj hattında kaotik davranışlarını incelemek	Ortalama Lyapunov üsteli pozitif olduğundan, zaman serisi verileri ile yapılan analizden elde edilen sonuç,

Yazar(lar), Yıl	Model	Model Açıklama	Kaos Belirleme Yöntemi	Amaç	Sonuç-bulgular
	İçerisinde işlemleri (wip) seçilmiştir. Esnek bir montaj hattında kaos varlığını belirlemek için bir algoritma önerilmektedir				kaotik davranışın sergilendiği şeklindedir.
Demir, B., Alptekin, N., Kılıçaslan, Y., Ergen, M., Çağlarırnak Uslu, N., 2015 [60]	Bu çalışma, tarımsal arzı gelecekteki değerlerinin tahmininde yeni bir model önermektedir.	Model, arz dengesizliğini ve aşırı fiyat dalgalanmalarını önlemek için etkin politikalar üretmeye yardımcı olacaktır.	<ul style="list-style-type: none"> • Lyapunov üsteli 	Bu çalışmanın amacı, "Kaotik Dinamik Analizi (CDA)" kullanarak, Türkiye'de tarımsal üretimde kaotik yapının varlığını incelemek ve tarımsal üretimin doğru bir tahmini sağlamaktır	Buğday için yüzde 0.5 hata, arpa için 5 yüzde hata ve pirinç için yüzde 2,5 hata ile 2010 yılı üretim arzı öngörülmüştür
Zhang F, Ma J. 2015 [61]	Stackelberg oyun modeli Nash oyun modeli	İki modelin karmaşık doğrusal olmayan dinamikleri davranışları üzerindeki katsayı ve karar parametrelerinin etkisi, sayısal simülasyon yoluyla analiz edilir	<ul style="list-style-type: none"> • Lyapunov Üsteli • Garip Çeker • Çatallanma Diyagramı 	Stackelberg oyun modelinde, toptan satış fiyatının ya da doğrudan fiyatın daha yüksek ayar hızının üretici için dezavantajlı olduğunu, ancak perakendeci için yararlı olduğunu göstermektedir.	İki modelde, imalatçının ve perakendecinin ayarlanan parametrelere göre ortalama karı analiz edilir, toptancı fiyatının Stackelberg modelindeki perakendeci için daha avantajlı fakat Nash modelindeki üreticiye göre avantajlı olduğu sonucuna varılabilir.
Lou, W., Ma, J., and Zhan, X. (2016). [62]	Sales game modeli	Bir üretici ve bir geleneksel perakendeci ve bir online perakendeci dahil olmak üzere iki perakendeciden oluşan bir tedarik zinciri sistemi üzerinde çalışıyoruz.	<ul style="list-style-type: none"> • Çatallanma • Lyapunov üsteli • Kaotik Çeker • Entropi Diyagramı 	Tedarik zincirindeki boğa etkisini, satış oyunu ve tüketici geri dönüşleri ile entropi ve karmaşıklık teorisi ile analiz etmeye ve sistemin kaotik halini kontrol etmek için gecikmiş geri bildirim kontrol yöntemini almaya adadık	Gecikmiş geri besleme kontrol yönteminin yardımıyla, online perakendeci sistemi kontrol edebilir, istikrarlı bölgeyi genişletebilir ve boğa etkisini etkili bir şekilde azaltabilir
Junhai Ma and Fengshan Si 2016 [63]	İki Aşamalı Gecikmeli Sürekli Bertrand Duopoly Oyun Modelinin	Sistemin istikrarının fiyat istikrarını sağlamak ve firma kârını sağlamak için gecikme ve ağırlığa bağlı olduğunu, firmaların makul bölgedeki parametreleri kontrol etmesi gerektiğini gösterilmesi.	<ul style="list-style-type: none"> • Güç spektrumu, Kaotik çeker • Bifürkasyon diyagramı • Lyapunov üssü • 3D yüzey şeması, 4D Kübik Şeması, 2D parametre 	Amacımız sistemin karmaşık dinamik özelliklerine gecikmenin ve ağırlığın etkisini araştırmaktır	Bu çalışma, gecikmenin değişmesinin, sisteme istikrarlı bir durumdan istikrarsız duruma yol açacağını, bunun da fiyatlarda büyük bir dalgalanmalara neden olacağını ve karlarda düşüşe neden olacağını göstermektedir.
Han, Z., Ma, J., Si, F., and Ren, W. (2016). [64]	Hidroelektrik pazarında çift gecikmeli bir ikili oyun modeli	Karar verirken hem mevcut hem de tarihsel çıktıları dikkate alan işletmeler için bir oyun modeli oluşturulmuş.	<ul style="list-style-type: none"> • Çatallanma Diyagramı • Lyapunov Üsteli • Zaman Serisi • Kaotik Çeker 	Araştırma, sistemin karmaşıklığı üzerinde zaman gecikmesi parametresinin etkisine odaklanmıştır.	İşletmelerin piyasa istikrarını korumaya yönelik karar alma kuralları incelenmiştir.
Junhai Ma and Wandong Lou 2017 [65]	Dinamik fiyatlandırma oyununa odaklanıyor birden fazla İnternet kanalı ile cihaz tedarik zinciri ve çok kanallıların lineer olmayan özelliklerini araştırır	Çok kanallı tedarik zincirlerinin boğa etkisini, envanter politikasını sipariş bazında da araştırıyoruz.	<ul style="list-style-type: none"> • Çatallanma Dyagramı • Lyapunov Üsteli • Zaman Serisi 	Çok kanallı tedarik zincirinde üretici ev halkına kullanışlı bir yönetim stratejisi oluşturmak.	Birinci olarak, hem ev aletleri üreticisi hem de perakendeci perakende kanallarını uygun bir fiyatla yönetmeli istikrarlı bölgede ayarlama hızı ve bunların her biri fiyatlandırma kararları cazibe alanını aşamaz. İkincisi, ikinci olarak, üretici boğaları azaltmak istiyorsa etkisi, onlar daha radikal bir fiyatlandırma stratejisi benimseyebilirler

Yazar(lar), Yıl	Model	Model Açıklama	Kaos Belirleme Yöntemi	Amaç	Sonuç-bulgular
					İnternet kanalı Üçüncü olarak, perakende üzerinde geri bildirim kontrolüdür.
Junhai Ma ,1 Hao Ren , Miao Yu ,1 and Meihong Zhu 2018 [66]	Kapalı döngü tedarik zinciri modeli Dinamik Oyun Modeli	. Bir üreticiden ve bir üçüncü şahıstan oluşan çift kanallı geri dönüşümlü kapalı devre tedarik zinciri modeli	<ul style="list-style-type: none"> Çatallanma Diyagramı Lypunov Üsteli Kaotik Çeker Kolmogorov Entropisi 	Oyun tarafları arasında, oyunun kolektif çıkarlarını en üst düzeye çıkarmak ve ilgili tedarik zinciri koordinasyon mekanizmasının kurulması için bir işbirliği mekanizması kurmak.	Profesyonel hizmetler sunan az sayıda küçük geri dönüşüm ürünü de geleneksel pazarda belirli bir etki yaratabilir.Kaotik durumda daha fazla veriye ihtiyaç duyuluyor.Başlangıç koşulları değişince çok fazla ihtimal ortaya çıkıyor.
Hamid Norouzi Nav Mohammad Reza Jahed Motlagh Ahmad Makui 2018 [67]	Karmaşık ve Doğrusal olmayan dinamik tedarik zinciri modeli	İki sipariş politikası vardır: pürüzsüz sipariş politikası ve yeni bir politika oranlı türev kontrolöre göre tasarlandı	<ul style="list-style-type: none"> Faz diyagramı Lypunov üsteli Zaman serisi 	Dört senaryo ağı kaotik davranışını modellemek ve analiz etmek için tasarlanmıştır	SCN'de daha az yoğun kaotik davranışla bu politikaya uygundur. Envanter ayarlaması parametresi önemli bir iç karar değişkenidir. ve envanterin kontrol edilmesinde önemli bir rolü vardır.
Jianwei Chang and Liuwei Zhao 2018 [68]	Stackelberg Game Model-Dynamic Cooperative Game Models	Bu çalışma, bir üretici ve bir perakendeciden oluşan yeniden üretim sistemi içerisinde tedarik zincirine odaklanmıştır.	<ul style="list-style-type: none"> Çatallanma Diyagramı Lypunov Üsteli 	Yeneden üretilecek olan ürünün üretici ve perakendecisini dinamik oyun modeliyle kaotik yapısını incelemek.	Bu çalışma, yeniden üretime giren ürünlerle ilgili üretici firma ve bir perakendeciden oluşan tedarik zinciri mekanizması hakkında derinlemesine bilgi sağlamıştır. Bu nedenle bu çalışma, stratejik kararların uygulanması için politika yapıcılar, tedarik zinciri yöneticileri ve karar vericiler için yararlı bir kılavuz görevi görecektir. .
Gültekin Çağıl, Neslihan Açıkgöz, 2018 [69]	Üretici, dağıtıcı ve müşteriden oluşan 3 aşamalı tedarik zinciri matematiksel modeli	Modelde üç durum değişkeni tanımlanmıştır: talep (x), stok (y) ve üretim miktarı (z).	<ul style="list-style-type: none"> Faz portresi Zaman Serisi 	Tedarik zinciri sisteminde özellikle talep denkleminde eklenen yeni terimin, sisteme çok katmanlı kaotik davranışın incelenmesi.	Müşteri sadakatinin artması, kaotik yapının azalmasını ve sistemin kararlı duruma yaklaşmasını sağlamaktadır.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (CONCLUSION AND EVALUATION)

Tedarik zinciri, birçok varlık ile bunlar arasındaki etkileşimden oluşan dinamik ve karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu yapı içerisindeki çeşitli belirsizlik ve değişkenlik kaynakları sistemin kestirilemez olmasına sebep olmaktadır. Özellikle imalat, taşıma, depolama fonksiyonları içerisinde barındırdığı yüksek değişkenlik nedeniyle uzun döngü sürelerine, süreç içi iş düzeylerinin artmasına, israfa ve verimlilik kaybına sebep olmaktadır. Değişkenlik kaynakları iş istasyonları veya operatörlerin işlem süreleri olabileceği gibi bunlara bağlı olarak oluşan iş istasyonlarından gelen ürünlerin gelişler arası süreleri, kuyruk süresi şeklinde örneklenebilir. Değişkenliğin en sık nedenleri; operatörler, makineler ve malzeme farklılıkları nedeniyle oluşan doğan değişkenlikler, makine veya operatörlerin ani servis dışı kalması durumu, makine hazırlık süreleri olarak görülmektedir. Böyle bir sistemin belirsizlik durumu ile karşı karşıya gelmeden, kontrol altına alınması büyük önem kazanmaktadır. Bu da kaos teorisi bakış açısı ile mümkün olabilmektedir. Kaos teorisi, kullanılan farklı yöntemler ile

kaotik, yarı kaotik, periyodik durum tespiti yapmayı; sisteme kontrol parametreleri ekleyerek farklı durumlarda sistem davranışlarını tespit etmeyi sağlamakta ve sistem belirsizliğe girmeden uygun tedbirler alınmasına yardımcı olmaktadır. Böylelikle zaman, para ve işgücü kayıplarının önlenmesi sağlanmış olacaktır.

Yapmış olduğumuz Tedarik Zincirinde Kaos: Bir Literatür Taramasında,1989-2018 yılları arasındaki tedarik zincirin kaos çalışmalarının modelleri, kaosu belirleme yöntemleri araştırılıp makalede tablolar şeklinde verilmiştir. Ayrıca makalede kaosu belirleme yöntemleri incelenmiştir. Bu farklı modellerdeki kaos belirleme yöntemlerinden en çok kullanılanlarından bazıları; lypunov üsteli, çatallanma diyagramları, zaman serileridir.

Literatürde Tedarik zincirinde kaos uygulamaları üzerine yapılmış makalelerin/tezlerin dört farklı grupta toplanabileceği ortaya çıkmıştır. Bunlar:1)Talep tahmini, stok yönetimi, dağıtım, ürün tasarımı gibi zincirin tamamını etkileyen temel fonksiyonlardaki karmaşıklığın kaos bakış açısı ile yorumlanması ve anlamlandırılması; 2) Farklı

şekilde modellenmiş tedarik zinciri sisteminin dinamik davranışlarının incelenmesi; 3) Tedarik zinciri yönetimi sistemi kaos senkronizasyonunun ve kontrolünün araştırılması; 4) Bir tedarik zinciri yönetim metodolojisi olarak kaos teorisinin kullanılması şeklindedir. Bununla ilgili çalışmaların bir özet tablosu makale içerisinde sunulmuştur.

Bu alanda yapılmış çalışmalarda farklı şekilde tasarlanmış tedarik zinciri sistemleri, basit bir imalat sistemi, iş istasyonu veya atölye modellemek amacıyla mevcut verileri kullanarak yukarıda bahsi geçen farklı kaynaklara ait dinamik davranışlar; çatallanma diyagramı, faz diyagramı, Lyapunov üsteli gibi çeşitli yöntemler ile ortaya konulmuştur.

KAYNAKÇA (IEEE STYLE REFERENCE CITATION)

- [1]. E. Simangunsong , L.C. Hendry & M. Stevenson (2012): Supply-chain uncertainty: a review and theoretical foundation for future research, *International Journal of Production Research*, 50:16, 4493-4523
- [2]. Singh, Harvir; Singh, Amarjit (2002); Principles of Complexity and Chaos Theory in Project Execution: A New Approach to Management, *Cost Engineering*; Dec2002, Vol. 44 Issue 12, p23
- [3]. Forrester J., "Industrial Dynamics", MIT Press, 1961.
- [4]. HOULIHAN, J. B. (1987), "International Supply Chain Management", *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, Vol.17, No. 2, pp. 51-66.
- [5]. Burbidge, J.L., "Period batch control (PBC) with GT – the way forward from MRP", BPCIS Annual Conference, 1991
- [6]. Lee H L, Padmanabhan V and Whang S (1997a), "Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect", *Management Science*, Vol. 43, No. 4, pp. 546-558.
- [7]. Lee H, Padmanabhan V and Whang S (1997b), "The Bullwhip Effect in Supply Chains", *Sloan Management Review*, Vol. 38, No. 3, pp. 93-102.
- [8]. Grabinski, Michael. (2008). Chaos – limitation or even end of supply chain management. *High Speed Flow of Material, Information and Capital*
- [9]. Ma J., Feng Y. " The Study of the Chaotic Behavior in Retailer's Demand Model" *Discrete Dynamics in Nature and Society* 2008, Article ID 792031, 12 pages, 2008 <http://dx.doi.org/10.1155/2008/792031>
- [10]. Dong M.A, "Research On Supply Chain Models And Its Dynamical Character Based On Complex System View" *Journal of Applied Science* 14(9), 932-937, 2014 DOI: 10.3923/jas.2014.932.937
- [11]. Stapleton, D., Hanna, J.B., Ross, J.R. (2006). Enhancing Supply Chain Solutions with the Application of Chaos Theory. *Supply Chain Management*, 11(2), 108-114.
- [12]. Wilding, R.D. (1998a). "Chaos Theory: Implications for supply chain management " *International Journal of Logistics Management*, Vol. 9, Issue 1, pp. 43-56. DOI: 10.1108/09574099810805735
- [13]. Wilding, R., 1998b. The supply chain complexity triangle: uncertainty generation in the supply chain. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 28 (8), 599–616. <https://doi.org/10.1108/09600039810247524>
- [14]. Y. Wu and D. Z. Zhang, "Demand fluctuation and chaotic behavior by interaction between customers and suppliers," *International Journal of Production Economics*, vol. 107, no. 1, pp. 250–259, 2007. DOI: 10.1016/j.ijpe.2006.09.004
- [15]. Larsen E.R., Morecroft J.D.V., Thomsen J.S. " Complex behaviour in a production-distribution model" *European Journal of Operational Research* 119, 61-74, 1999 DOI: 10.1016/S0377-2217(98)90349-6
- [16]. Hwang H.B., Xie N. "Understanding supply chain dynamics: A chaos perspective" *European Journal of Operational Research* 184, 1163–1178, 2008 DOI: 10.1016/j.ejor.2013.09.025
- [17]. Hwang H.B., Yuan X., "Production, Manufacturing and Logistics Interpreting supply chain dynamics: A quasi-chaos perspective" *European Journal of Operational Research* 233, 566–579, 2014
- [18]. Levy, D. (1994), *Chaos Theory And Strategy: Theory, Application, And Managerial Implications*, *Strategic Management Journal*, Vol. 15, 167-178
- [19]. J. Ma, X. Pu, Complex dynamics in nonlinear triopoly market with different expectations, *Discrete Dyn. Nat. Soc.* 2011 (2011), <http://dx.doi.org/10.1155/2011/902014>.
- [20]. Li T., Ma J. "Complexity analysis of the dual-channel supply chain model with delay decision" *Nonlinear Dynamics*, 78 (4), 2617-2626, 2014 DOI: 10.1007/s11071-014-1613-9
- [21]. Kumara, S. R. T., Ranjan, P., Surana, A., & Narayanan, V. (2003). Decision making in logistics: A chaos theory based approach. *CIRP Annals*, 52(1), 381–384. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)60606-4
- [22]. Agiza, H.N., Elsadany, A.A.: Chaotic dynamics in nonlinear duopoly game with heterogeneous players. *Appl. Math. Comput.* 149(3), 843–860 (2004) DOI: 10.1016/S0096-3003(03)00190-5
- [23]. Hilborn, R. C. (1994). *Chaos and nonlinear dynamics: an introduction for scientists and engineers*. New York: Oxford University Press.
- [24]. Guo Y., Ma J." Research on game model and complexity of retailer collecting and selling in closed-loop supply chain" *Applied Mathematical Modelling* 37,5047–5058, 2013, <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.09.034>
- [25]. Wang G., Ma J." Modeling And Complexity Study Of Output Game Among Multiple Oligopolistic Manufacturers In The Supply Chain System" *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 23 (3) 1350038 (11 pages), 2013 DOI: 10.1142/S0218127413500387
- [26]. Wilding R.D. "An Investigation into Sources of Uncertainty within Industrial Supply Chains; Amplification, Deterministic Chaos & Parallel Interactions." University of Warwick, Department of Engineering, Doctoral Thesis, 1997

- [27]. Macdonald J.R., Frommer I.D., Karaesmen I.Z., "Decision making in the beer game and supply chain performance" *Oper Manag Res* 6,119–126, 2013 DOI: 10.1007/s12063-013-0083-4
- [28]. Drew, S., Joe, B. H., & Jonathan, R. R. (2006), Enhancing supply chain solutions with the application of chaos theory", *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 11 Iss 2 pp. 108 – 114 DOI: 10.1108/13598540610652483
- [29]. Ramírez S.A., Peña G.E. "Analysis of Chaotic Behaviour in Supply Chain Variables" *J. econ. finance adm. sci.*, 16(31),85-106, 2011 (in Spanish)
- [30]. Ma J. , Wang H." Complexity analysis of dynamic noncooperative game models for closed-loop supply chain with product recovery" *Applied Mathematical Modelling* 38, 5562–5572, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.02.027>
- [31]. Anne K.R., Chedjou J.C. and Kyamakya K., (2009), Bifurcation analysis and synchronisation issues in a three-echelon supply chain, *International Journal of Logistics: Research and Applications*, Vol. 12, No. 5, October 2009, 347–362 <https://doi.org/10.1080/13675560903181527>
- [32]. Tirandaz H., Aminabadi S. S., Tavakoli H., (2017), Chaos synchronization and parameter identification of a finance chaotic system with unknown parameters, a linear feedback controller, *Alexandria Engineering Journal*, ISSN 1110-0168, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.03.041>.
- [33]. Göksu A., Kocamaz U.E. ve Uyaroğlu Y.,(2015), Synchronization and control of chaos in supply chain management" *Computers & Industrial Engineering* 86 (2015) 107–115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.09.025>
- [34]. Kocamaz U.E., Taşkın H. , Uyaroğlu Y., Göksu A., (2016), Control and synchronization of chaotic supply chains using intelligent approaches, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 102, Pages 476-487, ISSN 0360-8352, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.03.014>.
- [35]. Z. Lei, Y. Li and Y. Xu, (2006) "Chaos Synchronization of Bullwhip Effect in a Supply Chain," 2006 International Conference on Management Science and Engineering, Lille, 2006, pp. 557-560. doi: 10.1109/ICMSE.2006.313955
- [36]. Bruzzone A.G., Revetria R., Simeoni S., Viazzo S., Orsoni A. "Anticipating the Chaotic Behaviour of Industrial Systems Based on Stochastic, Event-Driven Simulations" *Computing Anticipatory Systems: CASYS'03 — Sixth International Conference, AIP Conference Proceedings*, Vol. 718 Issue 1, p557,2004
- [37]. Reyes P.M. "Integrating The Effects Of Product Substitution And Proliferation Into Grocery Supply Chain Decisions" *The University of Texas at Arlington, Philosophy Doctoral Thesis*, 2002
- [38]. Pecora L.M. and Carroll T. L., (2015), Synchronization of chaotic systems, *Chaos* 25, 097611 (2015); <https://doi.org/10.1063/1.4917383>
- [39]. Z. Lei, Y. Li and Y. Xu, "Chaos Synchronization of Bullwhip Effect in a Supply Chain," 2006 International Conference on Management Science and Engineering, Lille, 2006, pp. 557-560. doi: 10.1109/ICMSE.2006.313955
- [40]. Horns, A., (1989), Job Shop Control under Influence of Chaos Phenomena, Dip1.-Phys. TH0282-4/89/OOOC/0227\$01.000, IEEE
- [41]. Deshmukh, A. V.,(1993),Complexity And Chaos In Manufacturing Systems, ProQuest Dissertations and Theses, Purdue University, Doctoral Thesis.
- [42]. Beaumariage, T., Kempf, K., (1994), The Nature and Origin of Chaos in Manufacturing Systems, IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, pages 169–174.
- [43]. Thiel, D., (1996), Instabilities and deterministic chaos in just in time production systems: Comparison between Neutral Networks Stimulation and Continuous Stimulation, *Proceedings of the International system dynamics conference*, 549-552
- [44]. Jayanthi, S., Sinha, K.K., (1998), Innovation implementation in high technology manufacturing: A chaos-theoretic empirical analysis, *Journal of Operations Management* 16, 471–494
- [45]. Katzorke I, Pikovsky, A., (2000), Chaos and Complexity in a Simple Model of Production Dynamics, *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 5, 179-187 <http://dx.doi.org/10.1155/S1026022600000510>
- [46]. Charpentier, P., Alfaro, M., (2001), Chaos in Manufacturing Systems : Study of Different Cases, CP573, *Computing Anticipatory Systems: CASYS 2000 - Fourth International Conference*, edited by D. M. Dubois, © 2001 American Institute of Physics(AIP) Conference Proceedings Volume 573, Issue 216 <https://doi.org/10.1063/1.1388691>
- [47]. Dessert, P.E., James, S.D., (2002). Applying chaos to manufacturing process optimization. *Journal of Advanced Manufacturing Systems* 1 (2), 2001–2210. <https://doi.org/10.1142/S0219686702000118>
- [48]. Schmitz, J.P.M., Beek, D.A. van, Rooda, J.E., (2002), Chaos in Discrete Production Systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 21: 3, 236-246. [https://doi.org/10.1016/S0278-6125\(02\)80164-9](https://doi.org/10.1016/S0278-6125(02)80164-9)
- [49]. Chryssolouris, G., Giannelos, N., Papakostas, N., Mourtzis, D., (2004), Chaos Theory in Production Scheduling, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 53: 1, 381–383 DOI 10.1109/WETICE.2008.42
- [50]. Alfaro, M.D., Sepulveda, J.M., (2006), Chaotic behavior in manufacturing systems, *Int. J. Production Economics* 101150–158 <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.05.012>
- [51]. Papakostas, N., Mourtzis, D., (2007), An Approach for Adaptability Modeling in Manufacturing – Analysis Using Chaotic Dynamics, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 56: 1, 491–494 <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2007.05.117>
- [52]. Bachlaus, M., Tiwari, M. K., Shankar, R., (2008), Sequencing of parts on single-stage multifunctional machining systems using a chaos-embedded simulated annealing algorithm, *International Journal of Production Research*, 46:12, 3387–3413 <https://doi.org/10.1080/00207540600920876>

- [53]. Benaissa, K., Diep, D., Dolgui, A., (2008), Emergent chaotic behaviour in agent based manufacturing systems, *Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises*, 978-0-7695-3315-5/08 \$25.00 ,IEEE 24-25
- [54]. Bartholdi III, J.J., Eisenstein, D.D., Lim, Y.F., (2009), Deterministic Chaos in a Model of Discrete Manufacturing, *Naval Research Logistics (NRL)*, 56: 4, 293-299, <https://doi.org/10.1002/nav.20337>
- [55]. Zhang, H., Hu, Y.,(2011), A hybrid chaotic quantum evolutionary algorithm for resource combinatorial optimization in manufacturing grid system, *Int J Adv Manuf Technol*, 52:821–831,DOI 10.1007/s00170-010-2742-z
- [56]. Alfaro, M.D., Sepúlveda, J.M., Ulloa, J.A., (2013), Forecasting Chaotic Series in Manufacturing Systems by Vector Support Machine Regression and Neural Networks, *Int J Comput Commun*, 8:1, 8-17
- [57]. Ma J., Li, Q., (2014), The Complex Dynamics of Bertrand-Stackelberg Pricing Models in a Risk-Averse Supply Chain, *Discrete Dynamics in Nature and Society*, Volume 2014, Article ID 749769, 14 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/749769>
- [58]. Ma J., Chen B., (2014), The Complexity Uncertain Analysis about Three Differences Old and New Product Pricing Oligarch Retailers Closed-Loop Supply Chain. *Hindawi Publishing Corporation Abstract and Applied Analysis*, 2014, Article ID 891624, 11 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/891624>
- [59]. Sajid, M., Almufadi, F., Jahanzaib, M., (2015), Chaotic Behavior in a Flexible Assembly Line of a Manufacturing System, *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 5: 6, 891-894 DOI: 10.5281/zenodo.35432
- [60]. Demir, B., Alptekin, N., Kılıçaslan, Y., Ergen, M., Çağlarımak Uslu, N., (2015), Forecasting Agricultural Production: A Chaotic Dynamic Approach, *World Journal of Applied Economics*, 1:1, 65-80 DOI: 10.22440/EconWorld.J.2015.1.1.BD.0007
- [61]. Ma, J., & Zhang , F. (2015). Research on the complex features about adual-channel supply chain with a faircaring retailer. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, Volume 30, Issues 1–3, January 2016, Pages 151-167 <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2015.06.009>
- [62]. Lou, W., Ma, J., and Zhan, X. (2016). Bullwhip Entropy Analysis and Chaos Control in the Supply Chain with Sales Game and Consumer Returns. China: College of Management and Economics, *Entropy* 2017, 19(2), 64; <https://doi.org/10.3390/e19020064>
- [63]. Ma, J., & Si, F. (2016), Complex Dynamics of a Continuous Bertrand Duopoly Game Model with Two-Stage Delay. China, 2016, *Entropy* 18(7):266 • July 2016 DOI: 10.3390/e18070266
- [64]. Han, Z., Ma, J., Si, F., and Ren, W. (2016). Entropy Complexity and Stability of a Nonlinear Dynamic Game Model with Two Delays. *entropy* 18(9):317 • August 2016 DOI: 10.3390/e18090317
- [65]. Ma, J., & Lou, W. (2016). Complex Characteristics of Multichannel Household Appliance Supply Chain with the Price Competition. *Complexity* Volume 2017, Article ID 4327069, 12 pages <https://doi.org/10.1155/2017/4327069>
- [66]. Ma, J., Ren, H., Yu, M., & Zhu, M. (2017). Research on the Complexity and Chaos Control about a Closed-Loop Supply Chain with Dual-Channel Recycling and Uncertain Consumer Perception. China: 1College of Management and Economics, Tianjin University.
- [67]. Nav, H. N., Makui, A., and Jahed, M. R., Motlagh. (n.d.). Modeling And Analyzing The Chaotic Behavior In Supply Chain Networks: A Control Theoretic Approach. *American Institute of mathematical sciences*, July 2018, 14(3): 1123-1141. doi: 10.3934/jimo.2018002
- [68]. Chang, J., & Zhao, L. (2013). Supply Chain with the Remanufactured Products. China: Chool of Finance and Economics, Jiangsu University
- [69]. Çağıl, G., & Açıkğöz, N. (2018). Yeni bir 4-boyutlu tedarik zinciri sisteminde hiperkaos. *Sakarya University Journal of Science*,22(2), 799-805. Retrieved April 09, 2018. DOI: 10.16984/saufenbilder.342278
- [70]. Sun, Y. , Babovic, V., Chan, E.S., (2010), Multi-step-ahead model error prediction using time-delay neural networks combined with chaos theory, *Journal of Hydrology*, 395, 109–116 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.10.020>
- [71]. Feichtinger, G., Hommes, C.H., Herold, W., (1994), Chaos in a Simple Deterministic Queueing System, *Mathematical Methods of Operations Research*, 40, 109-119 DOI:10.1007/BF01414032.
- [72]. Si, F., & Ma, J. (2016). Complex Dynamics of a Continuous Bertrand Duopoly Game Model with Two-Stage Delay. China: School of Management Science and Engineering, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu. DOI: 10.3390/e180702
- [73]. Ma, J., & Xie, L. (2017). The impact of loss sensitivity on a mobile phone supply chain system stability based on the chaos theory. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, Volume 55, February 2018, Pages 194-205. DOI:10.1016/j.cnsns.2017.06.030
- [74]. Ma, J., Ren, H., Yu, M., & Zhu, M. (2018). Research on the Complexity and Chaos Control about Closed-Loop Supply Chain with Dual-Channel Recycling and Uncertain Consumer Perception. China: College of Management and Economics, Tianjin University. *Complexity*, Volume 2018, Article ID 9853635, 13 pages, <https://doi.org/10.1155/2018/9853635>
- [75]. Chang, J., and Zhao, L. (2013). Complexity Analysis of Dynamic Cooperative Game Models for Supply Chain with the Remanufactured Products. China: School of Finance and Economics, *Discrete Dynamics in Nature and Society* Volume 2018, Article ID 9246934, 10 pages <https://doi.org/10.1155/2018/9246934>



Emotion Detection with n-stage Latent Dirichlet Allocation for Turkish Tweets

*¹Zekeriya Anıl Güven, ²Banu Diri, ³Tolgahan Cakaloğlu

¹Ege University, Faculty of Engineering, Computer Engineering Department, Izmir, Turkey, zekeriya.anil.guven@ege.edu.tr,

²Yıldız Technical University, Faculty of Electrical-Electronics, Computer Engineering Department, Istanbul, Turkey, banu@ce.yildiz.edu.tr,

³University of Arkansas, Computer Science and Computer Engineering Department, Arkansas, USA, txcakaloglu@ualr.edu.tr,

Research Paper

Arrival Date: 12.09.2018

Accepted Date: 13.03.2019

Abstract

Understanding the reason behind the emotions placed in the social media plays a key role to learn mood characterization of any written texts that are not seen before. Knowing how to classify the mood characterization leads this technology to be useful in a variety of fields. The Latent Dirichlet Allocation (LDA), a topic modeling algorithm, was used to determine which emotions the tweets on Twitter had in the study. The dataset consists of 4000 tweets that are categorized into 5 different emotions that are anger, fear, happiness, sadness, and surprise. Zemberek, Snowball, and first 5 letters root extraction methods are used to create models. The generated models were tested by using the proposed n-stage LDA method. With the proposed method, we aimed to increase model's success rate by decreasing the number of words in the dictionary. Using the multi-stage LDA (2-stages:70.5%, 3-stages:76.375%) method, the success rate was increased compared to normal LDA (60.375%) for 5 class.

Keywords: Topic Modeling, Latent Dirichlet Allocation, Natural Language Processing, Emotion Analysis

1. INTRODUCTION

Topic modeling determines the semantic structure of a text document. This method can organize and summarize the large-size text document [1]. Topic probabilities in a topic model provide an explicit indication that the document is understandable. This method can be successfully used in many areas like automatic document indexing, document classification, subject discovery and tendency analysis [2]. While the topics in the model are calculated as a probability distribution over the words; text documents are also calculated as a probability distribution over the topics [3]. Social medias have become more effective in many areas than communication. Users can share their thoughts and experiences about any subject through social medias such as Facebook. Those platforms can be also utilized for variety of purposes such as streaming news [4]. Emotion analysis is one of the most commonly studied social media research topics. Examples of positive and negative comments related to a shared topic such as identifying users' moods and ideas in the community are the examples of emotional analysis studies [5]. Additionally, emotion analysis is composed of 3 underlying topics that are document-based, sentence-based and feature-based. Classification of the document as positive or negative is called document-based. Sentence-based emotional analysis is performed for each of the sentences in the document. According to the emotional expressions that

characterize the features of the document, the classification as positive or negative for these features is defined as feature-based emotional analysis [6].

Throughout our literature survey, we mostly focused on articles that study text mining. Roberts et al. [7] studied emotion analysis in English based tweets where they benefited the LDA algorithm to extract the features. Çelikyılmaz et al. [8] applied the LDA model to a question answering system. The similarity score between question and candidate answers was performed by LDA. Çelikyılmaz et al. [9] studied a semantic process to understand speech. They also used secret N-gram clustering and semi-supervised LDA methods to learn the semantic structure of the speech comprehension system. The issue obtained by the developed LDA method has added an additional constraint to the learning model for the semantic structure. Paroubek et al. [10] completed a linguistic analysis of the collected document. After the feature extraction with the N-gram method, they created an emotion classifier that determines positive, negative and neutral emotions considering a whole document. They also used subject modeling methods to extract system features. Lin et al. [11] simultaneously developed product features and emotional expressions from cinema interpretations with the Joint Sentiment topic model that is based LDA method. Chatterjee et al. [12] implemented the Foreground Background Dice-LDA and

Reason Candidate and Background-LDA methods of the LDA for extracting topics from Twitter data; Senti Strength and semi-supervised Support Vector Machines are used for classifying emotions. Feuerriegel et al. [13] used the LDA method to remove the issues in the financial news where they also determined the impact of these issues on the German stock market. Mihalcea et al. [14] classified news headlines with their developed structure. This developed structure was used to find the link between emotions and words. Çoban et al. [5] proposed a method for analyzing the emotions in Turkish tweets. They tested the proposed system by using different feature extraction models and classifiers. They found that the success rate of emotion classification increased by 26%. Colace et al. [15] proposed a new emotion analysis approach to weighted word pairs obtained by using the LDA method in their work. In the proposed method, they aimed to determine a graphical model with a positive and negative attitude and a word based approach. Onan [16] assessed the predictive performances of the machine learning classifiers in emotion analysis by effectively representing Turkish tweets through LDA-based subject modeling.

There are many topic modeling methods for emotion detection. In this paper, we took the advantage of the LDA algorithm for detecting emotions detection stated in Turkish tweets. The algorithm has been developed to be n-stage for better emotion detection. Two and three stage developed with LDA method was compared with the tweets represented based on LDA in this paper.

In the second part of the paper, we will be detailing the dataset, preprocessing methodologies we experiment during our study. In the third part, we will present the empirical studies and their results on emotion analysis. Last but not least, the fourth part will criticize the results of the experiments.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Latent Dirichlet Allocation Algorithm

LDA is a probabilistic topic modeling method that generates words and weights for a number of topics from a set of documents. In the LDA method, the text document is defined as the unified form of the subjects. On the basis of the method, the text has a probability distribution on the words, and the text documents have a probability distribution on the topics. Every subject has a distribution on the fixed word array [17]. The model aims to determine the basic structure of the subject with the words and weight values obtained from the observed dataset. The words in the documents are observations in the system.

LDA is an effective unsupervised learning method that is used to find topics in text documents. This method models each document as a mixture of each topic with a multi-term distribution over the words. The topic and topic-word distributions of the document learned by LDA define the best

topics for the documents. Also these distributions determines the most distinct words for each topic [18].

In LDA algorithm, all words in each document are randomly assigned topic. After random assignment, various statistics are extracted with this information. While local statistics are showing how many words are assigned to topics in each document, global statistics show how many words are assigned to each subject for the entire document. After the statistical information is obtained, the assignment of each word to each document is re-done. For this, the existing vocabulary is also updated.

$$\frac{n_{ik} + \alpha}{N_i - 1 + K\alpha} \quad (1)$$

The assignment of the words to the topics is calculated by looking at the relation of the document to topics (1). n_{ik} value indicates number of words assigned to the topic k in the new i . N_i is the total number of words in the document. The reason for subtracting 1 from value is to ignore the used word. α value gives the distribution of topics in documents. K value is also number of specified topics.

The number of topic K is determined by the coherence value that is the subject modeling criterion in the system. Coherence value measures the similarity of the words. Additionally, it provides the topic number to be selected. The k value that is the value of the highest outcome is selected as the number of topics among the coherence values calculated for the topic numbers mentioned above [19].

$$\frac{n_{word,k} + \beta}{\sum_{w \in V} n_{w,k} + V\beta} \quad (2)$$

In the method, secondly, it is calculated how much each word is related to the topics. The calculation yields the weight of each word in the topics. In Equation (2); $n_{word,k}$ indicates the number of times the current word is assigned to the k . topic in the entire document. The value of β gives the distribution of the words in the text. V is the size of the dictionary created from all the words in the dataset. By multiplying the values obtained by Equation (1) and (2), the probability of assigning the current word to the topic k is calculated. The values are recalculated throughout the number of all documents. The topic of the highest value is determined as the new topic of the word. The same operations are applied to every word of all the documents in the dataset to find the topics of the documents [20]. Updating the topics continues until the number of iterations specified in the system is satisfied. After having the topic distribution of the words, a document-term matrix is formed to extract the model of the system. By calculating the word weights with this matrix, weights of the words are obtained [21]. In the proposed method, the number of words in the dictionary of the entire document is reduced by the threshold value calculated using words and weights. This n-stage method aims to increasing success by weighing with less word at

every step. This n value may vary depending on the size of the dataset in the system.

The LDA structure is shown in Figure 1. Random variables are indicated by nodes. Possible connections between nodes are represented by using edges. In the Figure 1;

- α represents the topic distribution per document.
- β represents the word distribution per topic.
- Θ shows the topic distribution for a given document.
- z is an assigned topic for each word.
- w is an observed word.

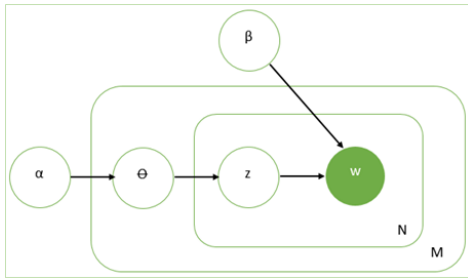


Figure 1. Latent Dirichlet Allocation structure [22]

As we inferred from the structure in Figure 1, the α and β parameters are sampled once as the system is initialized. The Θ parameter is sampled for each document in the system [22].

2.2. Dataset

Dataset is composed of Turkish tweets that are collected using the Twitter API. Instead of collecting all Turkish tweets, we applied a filtering that seeks at least one emotion expression (happiness, surprise, and etc) in a tweet. With this approach, we canceled out the redundant tweets. The dataset consists of five different emotions that are happiness, sadness, surprise, fear, and anger. We collected 800 tweets for each emotion. Two different datasets were created for use in training. These datasets are consist of 3 and 5 class labels respectively. Anger, fear and happiness labels are used for 3 class. Datasets contain 2400 tweets for 3 class and 4000 tweets for 5 class. 80% of the dataset was used for training and 20% for testing.

2.3. Preprocessing

Firstly, the punctuation marks are deleted in the tweets in the Turkish dataset. Then, all the tweets in the dataset are converted to lowercase. Since Turkish characters are faulty, non-English letters are translated into lowercase in the code. The very common stop words are removed from the tweets. Additionally, a list was created with meaningless words for emotions. The words in this list are removed from the tweets. Three different methods were used to find the roots of the words. Datasets were given for each of them with the names DB_z , DB_5 and DB_5 ;

- DB_z : The roots of the words were obtained by using the Zemberek library. This dataset was created of words including names, adjectives, verbs and reactions [23].

- DB_5 : The roots of the words were obtained by using the Snowball stemmer library. The first 5 letters were taken as root for those whose root length was longer than 7 characters [24]. The remaining words weren't changed.
- DB_5 : The first five letters of the words in dataset were taken as the root, and dataset was created.

Keşke hiç hayatımda olmasaydı dediğim çok insan var, onlar için üzülüşüme pişmanım

Zemberek (DB_z): keşke hiç hayat ol de çok insan var onlar için üzül pişman

Snowball (DB_5): keşke hiç hayat olmas dedik çok in var on iç üzülüşük pişma

Get the first 5 letters as root (DB_5): keşke hiç hayat olmas dediğ çok insan var onlar için üzülüş pişma

Figure 2. An example tweet for root tools

Figure 2 shows updated version of the sample text with root finding tools. According to the figure, DB_z is promising since it outputs the results that can be interpreted easily as the morphological analysis of Turkish. Words in DB_5 and DB_5 have suffixes, thus some words have lost their meaning.

2.4. n-stage Latent Dirichlet Allocation

In order to increase system success, n-stage method is developed for LDA algorithm. The reason why we called the proposed system as n-stage is that the size of the dataset used in the system, or the amount of word associated with the topic in the tweets are dynamic. Figure 3 shows the steps of the method.

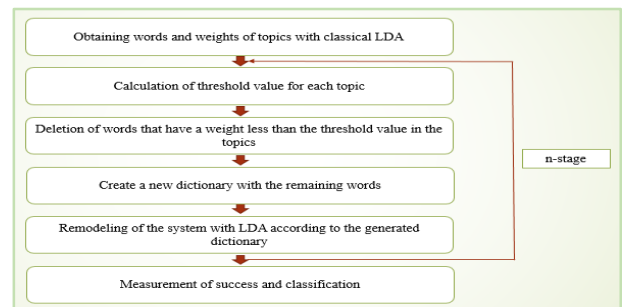


Figure 3. Structure of developed n-stage LDA method

We can explain the steps shown in Figure 3 as follows. Firstly, a threshold value is calculated for each topic from the words' weights in topics. Threshold value is obtained by proportioning total weight value of words belonging to topic to total number of words. This value is calculated for each topic. Then words with weight value less than threshold value for each topic are removed. Thus new dictionary is created with remaining words. Finally, system is re-modeled with LDA according to new dictionary.

Also, this method intended to reduce the number of words in the dictionary of the entire document. The reason why we are reducing the number of words in the dictionary is that words

with low weight in the model cause misclassification. Table 1 shows the number of words in the dictionary for the entire dataset. As the number of stages increases, it is clear that the number of words is decreasing in the dictionary.

Table 1. As the stage increases, the number of words in the dataset

Stage\Dataset	DB _Z	DB ₅	DB _S
1-stage	2208	4043	4291
2-stage	359	593	443
3-stage	309	168	149

As stage progresses, the number of words in dictionary decreases. Therefore, the weight values of remaining words change. Table 2 shows change in weight value of a sample word as stage progresses. As you can see, the weight value of word is increasing. Thus, class label of topic can be determined more easily.

Table 2. As the stage increases, the weight value change of the 'kork' word related to fear

Stage	Word Weight Value
1-stage	0.132
2-stage	0.343
3-stage	0.688

2.5. Programming Language and Platform

The study was developed with the Python¹ programming language. All processes such as preprocessing, read the datasets, development of the method were applied in the Python programming language.

Visual Studio program with plugin was used as the platform. In addition, Java platform was used for the Zemberek library just.

3. EXPERIMENTAL RESULTS

The number of studies done with Turkish emotional data is rather small. Datasets are often labeled as positive, negative, and neutral in related studies. Also, the datasets used in the literature aren't accessible. Therefore, developed model is compared only with classical LDA. LDA is an unsupervised method. n-stage LDA has been developed to increase the success of the system.

After applying pre-processing steps to datasets, coherence values are calculated for 3 and 5 class of generated DB_Z, DB_S and DB₅ datasets. 10 coherence values are calculated for each dataset. The value we use to train our system is topic number of the highest coherence value. For example,

coherence value and topic number found for DB_Z are given in Table 3.

Table 3. Number of topics with the highest value by emotion number (for DB_Z)

Emotion Number	Coherence Value	Topic Number
3	0.4998	9
5	0.484	20

The system is modeled with a specified topic number. Thus, a set of words and weight values are formed for each topic. Most appropriate class label is assigned according to words and weights. Table 4 shows examples of class labels assigned to topics. For example, topic 6 contains mostly sadness words. So, the label was assigned as sadness.

Table 4. Example of assignment of topic class labels

Topics	Words and Words' Weights	Labels
2	'0.132*"kork" + 0.052*"nefret" + 0.032*"korku" + 0.016*"hediye" + ...	Fear
4	'0.132*"scare" + 0.052*"hate" + 0.032*"fear" + 0.016*"gift" + ... '0.091*"sinir" + 0.076*"kafa" + 0.044*"irkil" + 0.042*"yiyecek" + ... '0.091*"anger" + 0.076*"flip" + 0.044*"blench" + 0.042*"out" + ...	Anger
6	'0.235*"mutsuz" + 0.113*"hüzün" + 0.031*"hasta" + 0.023*"tatlı" + ... '0.235*"unhappy" + 0.113*"sadness" + 0.031*"sick" + 0.023*"sweet" + ...	Sadness
14	'0.161*"yaşa" + 0.103*"günü" + 0.058*"doğum" + 0.046*"kutlu" + ... '0.161*"hooray" + 0.103*"day" + 0.058*"birth" + 0.046*"blessed" + ...	Happy
17	'0.201*"hayret" + 0.188*"şaşır" + 0.162*"şaşkın" + 0.051*"aaa" + ... '0.201*"wonder" + 0.188*"surprise" + 0.162*"confused" + 0.051*"aaa" + ...	Surprise

¹ <https://www.python.org/>

The success of the system constructed with LDA is reduced by increasing class number. Table 5 shows success of LDA for each dataset of 3 and 5 class.

Table 5. LDA's success compared to the root finding methods used

Emotion Number \ Dataset	DB ₅	DB _Z	DB _S
3	58	65.83	51
5	48.75	60.375	47

In order to increase the system's success, n-stage method is proposed for LDA algorithm. Word count in dictionary is reduced at each stage. Value of n in the method can vary according to size of the dataset. The process to be applied with increase of n is determined by threshold values of topics. Then a new dictionary is created with words that weigh more than the threshold value. The total word count in newly created dictionary is about 1/3 of previous one. Coherence values are re-calculated for 3 and 5 class, after topic numbers are re-determined. Table 6 shows results obtained when the system is re-modeled with two-stage LDA (2-LDA).

Table 6. The success of the system with the 2-LDA algorithm

Emotion Number \ Dataset	DB ₅	DB _Z	DB _S
3	68.5	80.83	74.375
5	67.375	70.5	56.875

System is re-modeled with a three-stage LDA (3-LDA) by selecting best resultant DB_Z dataset in two-stage LDA (2-LDA) method. For the third stage, new dictionary is created as before. Thus, word count in new dictionary is decreasing by half. Topic numbers for 3 and 5 class are determined by re-calculated coherence values. Table 7 shows system's 3-LDA model success and its comparison with 2-LDA model.

Table 7. 2-LDA with 3-LDA success comparison

Emotion Number \ Model	2-LDA (%)	3-LDA (%)
3	80.83	81.5
5	70.5	76.375

Table 7 shows the positive effect of developed n-stage LDA method. As n value increases, success rate increases linearly. For 3 class, success of 3-stage LDA method increased by approximately 1% compared to 2-stage LDA. For 5 classes, this increase is approximately 5%.

4. CONCLUSION AND DISCUSSION

In the study, it was used with LDA, which is a topic modeling algorithm, to detect emotion of the tweets in social media. Success of classical LDA method was compared with developed n-stage LDA. System success is increased between 10% and 15% in two-stage LDA method according to classical LDA method. When three-stage LDA method is applied, success rate is increased between 1% and 6% according to two-stage LDA.

Decreasing the word count in dictionary is the most important reason for increase in success. In this process, words with weight less than threshold value are removed from dictionary. Thus, as stage increases, weights of related words increases. This allows us to easily assign emotion labels to topics. For example, there are about 2700 words in classical LDA dictionary, while word count drops to 350 in two-stage LDA dictionary. Also, this count drops to 170 word in three-stage LDA. The n value in the method can be increased according to size of the dataset. It is reasonable to increase n stage, if word in tweets is less than emotional.

In our next topic modeling studies, we can use n-stage LDA algorithm to detect the music track, determine the effect on products of messages written in social media, find out which author wrote the text, find the correct answer in the question-answer systems.

In addition to developed method, a labeled dataset can be obtained from the word's weights in the topics, and we can also measure success rate in the classification algorithms.

REFERENCES

- [1] D. M. Blei, "Probabilistic topic models", Communications of the ACM, vol. 55, no 4, pp. 77-84, April 2012.
- [2] A. Daud, J. Li, L. Zhou, and F. Muhammad, "Knowledge discovery through directed probabilistic topic models: a survey", Frontiers of Compute rScience in Chine, vol. 4, no 2, pp. 280-301, June 2010.
- [3] M. Steyvers and T. Griffiths, "Probabilistic topic models", Handbook of latent semantic analysis, vol. 427, no 7, pp. 424-440, February 2007.
- [4] B. Liu and L. Zhang, "A survey of opinion mining and sentiment analysis", Mining text data, pp. 415-463, 2012.
- [5] O. Coban, B. Ozyer, and G. T. Ozyer, "Sentiment analysis for Turkish Twitter feeds," 2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), May 2015.
- [6] H. Türkmen, S. I. Omurca, E. Ekinici, "An Aspect Based Sentiment Analysis on Turkish Hotel Reviews", Girne American University Journal of Social and Applied Sciences, vol. 6, pp. 9-15, 2016.
- [7] K. Roberts, M. Roach, J. Johnson, J. Guthrie, and S. Harabagi, "EmpaTweet: Annotating and Detecting Emotions on Twitter", In Proceedings of the 8th

International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC), May 2012.

[8] A. Çelikyılmaz, G. Tur, and D. Tur, "LDA Based Similarity Modeling for Question Answering", Proceedings of the NAACL HLT 2010 Workshop on Semantic Search, pp. 1-9, May 2010.

[9] G. Tur, A. Celikyilmaz, and D. Hakkani-Tur, "Latent semantic modeling for slot filling in conversational understanding," 2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, May 2013.

[10] P. Paroubek and A. Pak, "Twitter as a Corpus for Sentiment Analysis and Opinion Mining", Proceedings of the International Conference on Language Resources and Evaluation, pp. 17-23, Malta, May 2010.

[11] C. Lin and Y. He, "Joint sentiment/topic model for sentiment analysis," Proceeding of the 18th ACM conference on Information and knowledge management - CIKM 09, pp. 375-384, Nov. 2009.

[12] R. Chatterjee and S. Agarwal, "Twitter Truths: Authenticating Analysis of Information Credibility", 2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development, March 2016.

[13] A. Ratku, S. Feuerriegel, and D. Neumann, "Analysis of How Underlying Topics in Financial News Affect Stock Prices Using Latent Dirichlet Allocation," SSRN Electronic Journal, pp. 1072-1081, Jan. 2014.

[14] C. Strapparava and R. Mihalcea, "SemEval-2007 task 14," Proceedings of the 4th International Workshop on Semantic Evaluations - SemEval 07, pp. 70-74, Jun. 2007.

[15] F. Colace, M. D. Santo, and L. Greco, "A Probabilistic Approach to Tweets Sentiment Classification," 2013 Humaine Association Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction, pp. 37-42, Sep. 2013.

[16] A. Onan, "Türkçe Twitter Mesajlarında Gizli

Dirichlet Tahsisine Dayalı Duygu Analizi", Akademik Bilişim Konferansı, Feb. 2017.

[17] D. M. Blei, A. Y. Ng, and M. I. Jordan, "Latent Dirichlet Allocation", Journal of Machine Learning Research, vol. 3, pp. 993-1022, March 2003.

[18] L. Bolelli, Ş. Ertekin, and C. L. Giles, "Topic and Trend Detection in Text Collections Using Latent Dirichlet Allocation," Lecture Notes in Computer Science Advances in Information Retrieval, pp. 776-780, Apr. 2009.

[19] Z. A. Guven, B. Diri, and T. Cakaloglu, "Classification of Turkish Tweet Emotions by n-stage Latent Dirichlet Allocation", Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings' Meeting (EBBT), Apr. 2018.

[20] Z. A. Guven, B. Diri, and T. Cakaloglu, "Classification of New Titles by Two Stage Latent Dirichlet Allocation", 2018 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU), Oct. 2018.

[21] J. Barber, "Latent Dirichlet Allocation (LDA) with Python," Human Activity Recognition Using Smartphones Data Set. [Online]. Available: https://studio-pubs-static.s3.amazonaws.com/79360_850b2a69980c4488b1db95987a24867a.html. [Accessed: 12-Sep-2017].


[22] wikizero.net. [Online]. Available: <http://www.wikizero.net/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvTGFOZW50X0RpcmljaGxl dF9hbGxvY2F0aW9u>. [Accessed: 20-Oct-2017].

[23] "Zemberek NLP," Zemberek NLP. [Online]. Available: <http://zembereknlp.blogspot.com/>. [Accessed: 05-Oct-2017].

[24] "Download," Snowball. [Online]. Available: <http://snowball.tartarus.org/download.html>. [Accessed: 16-Nov-2017].

Kinect Uygulamaları için Veri Transfer Platformu Tasarımı

*¹ Erdal Erdal, ² Atilla Ergüzen

¹ Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Kırıkkale Üniversitesi, Türkiye, erdalerdal@kku.edu.tr, 

² Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Kırıkkale Üniversitesi, Türkiye, atilla@kku.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 06.08.2018

Kabul Tarihi: 15.03.2019

Öz

Son yıllarda yazılım, donanım ve algoritma konularında büyük gelişmeler meydana gelmiştir. Teknolojide yaşanan bu gelişmeler sensör teknolojilerini de etkilemiştir. Başlangıçta bir oyun cihazı olarak piyasaya sürülen Kinect sensör gerek araştırmacılar gerek geliştiriciler tarafından büyük ilgiyle karşılanmıştır. Kinect sensör literatürde farklı alanlarda farklı amaçlar için kullanılmıştır. Kinect sensörden alınan tüm veriler Microsoft tarafından geliştirilen Yazılım Geliştirme Kiti (YGK) ile geliştiricilere iletilmektedir. Kinect sensörü sahne karmaşıklığına göre değişmek üzere normal durumlarda her saniyede 240 bin ile 270 bin nokta verisi üretmektedir. Bu çalışmanın amacı Kinect uygulamaları için veri transfer platformu tasarlanmasıdır. Geliştirilen platform istemci sunucu mimarisi üzerinde çalışmaktadır. Çevrimiçi ve çevrimdışı haberleşme durumlara uygun farklı senaryolar barındıran platform, aynı zamanda bir dizi filtreleme ve şifreleme algoritmalarını da sunmaktadır. Platformda 2D/3D görüntü ve nokta bulutu işleme için büyük ölçekli, açık kaynaklı bir proje olan Nokta Bulut Kütüphanesi (NBK) kullanılmıştır. İsteğe bağlı olarak VoxelGrid (VG) Filtre, Outlier Filtre, Histogram Tabanlı Koşullu Filtre, Octree-tabanlı Sıkıştırma ve PGP Şifreleme yöntemlerini de barındırmaktadır. Ayrıca Kinect uygulamalarına özel bir veri yapısı da geliştirilmiştir. Çevrimiçi haberleşme için WebRTC ara katman yazılımı kullanılmıştır. Tüm bu aşamalar sonucunda gereksiz veri noktaları temizlenmiş, sıkıştırılmış, güvenli hale getirilmiş ve geliştirilen veri yapısına uygun veri paketleri elde edilmiştir. Filtrelemeler sonucunda % 19.96 sıkıştırma oranı elde edilmiştir. İsteğe bağlı tasarım sayesinde uygulama veya istemci bazlı filtreleme sağlanmıştır. Filtrelemeler sonrasında uygulanan dosya sıkıştırma yaklaşımı ile % 10.38 oranında dosya sıkıştırma sonucu da elde edilmiştir. Sunulan platform araştırmacılar ve geliştiriciler tarafından kullanılan Kinect uygulamalarında performans sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kinect, Veri Transferi, Servis Tabanlı Platform, Veri Yapısı.

Data Transfer Platform Design for Kinect Platform for Kinect Applications

*¹ Erdal Erdal, ² Atilla Ergüzen

¹ Faculty of Engineering, Computer Engineering, University of Kırıkkale, Turkey, erdalerdal@kku.edu.tr

² Faculty of Engineering, Computer Engineering, University of Kırıkkale, Turkey, atilla@kku.edu.tr

Abstract

In recent years, software, hardware, and algorithms have come to fruition. These developments in technology have also affected sensor technologies. The Kinect sensor, initially marketed as a gaming device, has been met with great interest by both researchers and developers. The Kinect sensor has been used in different areas in the literature for different purposes. All data from the Kinect sensor is transmitted to developers through the Software Development Kit (SDK) developed by Microsoft. The Kinect sensor produces between 240 and 270 thousand points per second in normal conditions, depending on scene complexity. The purpose of this work is to design a data transfer platform for Kinect applications. The developed platform works on client server architecture. The platform, which has different scenarios for online and offline communication situations, also offers several filtering and encryption algorithms. The platform uses the Point Cloud Library (PCL), a large-scale open source project for 2D / 3D image and point cloud processing. VoxelGrid (VG) Filter, Outlier Filter, Histogram Based Conditional Filter, Octree-based Compression and PGP Encryption methods are also available on request. In addition, a special data structure has been developed for Kinect applications. WebRTC middleware software is used for online communication. Thanks to all these steps, unnecessary data points have been cleaned, compressed, secured and data packages suitable for the developed data structure have been obtained. Because of the filtering, a compression ratio of 19.96% has been obtained. Application-based or client-based filtering is provided through custom design. A file compression result of 10.38% has been obtained with the file compression

approach applied after filtering. The presented platform will provide performance for Kinect applications used by researchers and developers.

Keywords: Kinect, Data Transfer, Service Based Platform, Data Structure.

1. GİRİŞ

Son yıllarda bilgisayar bilimlerinde, donanımlarda, algoritmalarda ve yazılımlarda büyük gelişmeler yaşanmıştır. Bu gelişmeler neticesinde hayatımızda kullandığımız cihaz ve sensör sayısındaki artış ile dijital ve elektronik içerik boyutları artış göstermiştir. Bu sayede geliştirilen teknolojiler bilgisayarlarla etkileşimlerinde yeni yöntemler geliştirdikçe, makineleri kullanma hedeflerimiz de önemli ölçüde değişmiştir. Teknolojide yaşanan bu gelişmeler ve kullanım değişimleri sensör teknolojilerini de etkilemiş ve Microsoft Kinect kameraları [1] piyasaya sürülmüştür. Temelde bir oyun cihazı olarak Microsoft tarafından geliştirilen Kinect sensörü piyasadaki ilk görünümünden bu yana, çok düşük maliyetiyle birlikte bir ölçüm aracı olarak kullanıldığında ve yüksek potansiyeli ile araştırmacıların ilgisini çekmeyi başarmıştır. Kinect sensör kullanılarak çeşitli alanlarda uygulamalar incelenmiş ve geliştirilmiştir.

Örneğin tıbbi alanda Kinect sensörünün kullanılması, fiziksel rehabilitasyon testlerini gerçekleştirmek ve kişinin yürüme parametrelerinin incelenmesi için kullanılmıştır [2-4].

İşyerindeki güvenlik konularıyla ilgili olarak, Kinect sensörünü işyeri ergonomisi değerlendirmelerinin gerçekleştirilmesi için taşınabilir bir 3-D hareket yakalama sistemi olarak kullanma olasılığı incelenmiştir ve görüntü işleme teknikleri ve derinlik bilgileri kullanarak inşaat işçilerini takip etmek için kullanılmıştır [5, 6].

Mimari alanda, sanal ortamda uygulama için bir nesnenin üç boyutlu bir modelini hızla oluşturmak için Microsoft Kinect sensörünün kullanımı değerlendirilmiştir [7].

3D tarama alanında, Kinect sensörünün görevleri yerine getirmek için nispeten ucuz ve erişilebilir bir alternatif olduğu kanıtlanmıştır. Bunun başlıca nedeni, kolayca işlenebildiği ve birçok uygulama için kabul edilebilir bir doğrulukla gerçek zamanlı olarak 3D gösterimleri oluşturabilmesidir [8].

Bu alandaki uygulamalar, arkeolojik alanların 3 boyutlu temsillerini yeniden inşa etmek için bir prototipten [9], artırılmış gerçeklik simülasyonları ve fizik tabanlı etkileşimlere izin veren bir dizi Kinect sensöründen oluşturulan iç mekan sahnelerine kadar değişmektedir [10].

Robotik alanında da çok fazla sayıda Kinect çalışması yapılmıştır. İnsan operatörünün hareketlerini temas etmeksizin iki robot manipülatörüne iletmesine izin veren Kinect bazlı bir yöntem sunulmuştur [11]. Bir İnsan-Makine Ara yüzü olarak bir Kinect sensörünü kullanarak bir

endüstriyel robotun kontrol edilmesi ve izlenmesi, çevrimiçi programlamanın bir konsepti ve uygulanmasına dair bir çalışma sunulmuştur [12].

Araç kontrol sistemlerinin geliştirilmesi ve yönetilmesi alanlarında da Kinect sensörüne tabanlı çalışmalar ve araştırmalar yapılmıştır. Bu alanda yapılan bir çalışmada, Microsoft Kinect sensörü, otonom bir taşıt aracına eklenen bir bileşen haline getirilmiş ve iç mekânlarda gezinmeyi optimize etmek ve bir robotun bunu başarılı bir şekilde yapmasına yardımcı olmak için atalet ölçüm birimi gibi diğer sensörlere entegre edilmiştir [13]. Bir diğer çalışmada, hızını ve tutumunu doğrudan kontrol etmek için bir mobil robot üzerinde bir Kinect sensörü ile insan hareketinin bir izleme kontrol sistemi geliştirilmiştir [14]. Mobil bir robotun renkli işaretleri tanıması amacıyla sağlam, adaptif ve öğrenme yaklaşımı için Kinect-tabanlı rehberlik ve konumlandırmasını geliştiren bir çalışma da yapılmıştır [15].

Bir diğer araştırmada Kinect sensörü, dinamik ortamlarda robot navigasyonu için mekânsal gösterimlerde Öklid mesafe haritaları ve genelleştirilmiş Voronoi diyagramlarının güncelleme stratejilerinin test edildiği çalışmalarda kullanılmıştır [16].

Ayrıca Kinect sensörü için önerilen farklı kullanımların sunulduğu bir çalışma da yapılmıştır [17].

Kinect sensörünün metrik özelliklerini tanımlamayı amaçlayan ve derinlik ölçümlerindeki doğruluğa özellikle değinen çalışmalar da yapılmıştır [18-22].

Yapılan literatür araştırmasında da görüldüğü üzere Kinect, bilgisayarlarla çalışma becerilerini zenginleştirmek isteyenler için sunduğu çok çeşitli seçeneklerle iyi bir alternatiftir. Şekil 1'de görüldüğü üzere Kinect kamera üzerinde RGB kamera, çoklu dizi mikrofonlar ve yüz ve ses tanıma yetenekleri ile birlikte tam vücut 3D hareket yakalama yeteneğine sahip derinlik sensörü bulundurmaktadır [23].



Şekil 1. Kinect Kamera

Halen piyasada kullanıcıların ve geliştiricilerin kullanımına sunulmuş durumda olan iki farklı Kinect kamera versiyonu bulunmaktadır. İki kamera arasındaki farklar Tablo 1’de gösterilmektedir [24]. Hem literatürde yapılan araştırmalarda hem de sektörde geliştirilen uygulamalarda Microsoft tarafından geliştirilen ilk Kinect kamera yoğun olarak tercih edilmektedir. Bu tercihin sebepleri; bu kamera ile kullanılan YGK’ya ait daha fazla doküman olmasıyla beraber aralarındaki büyük fiyat farkıdır.

Tablo 1. Kinect Versiyon Özellikleri

Özellik	Windows için Kinect 1	Windows için Kinect 2
Renk Kamera	640 x 480	1920 x 1080
Saniyede Yakalanan Kare	30 FPS	30 FPS
Derinlik Kamera	320 x 240	512 x 424
Maksimum Derinlik Mesafesi	~4.5 M	~4.5 M
Minimum Derinlik Mesafesi	Yakın modunda 40 cm	50 cm
Yatay Görüş Alanı	57 derece	70 derece
Dikey Görüş Alanı	43 derece	60 derece
Eğim Motoru	Var	Yok
Tanımlı İskelet Eklemleri	20 Eklem	26 Eklem
İzlenen Tam İskelet	2	6
Desteklene USB Standardı	2.0	3.0
Desteklenen İşletim Sistemi	En az Windows 7, 8	En az Windows 8

Kinect kameradan alınan tüm veriler yine Microsoft tarafından geliştirilen YGK ile USB portu üzerinden geliştiricilere iletilmektedir. Şekil 2’de belirlenen iskelet ve sağ el eklem bilgilerine ait Kinect verisini alan kodlar görülmektedir.

```
//İskeletler
foreach (Skeleton skeleton in skeletons)
{
    // Sağ El
    Joint rightHand = skeleton.Joints[JointType.HandRight];

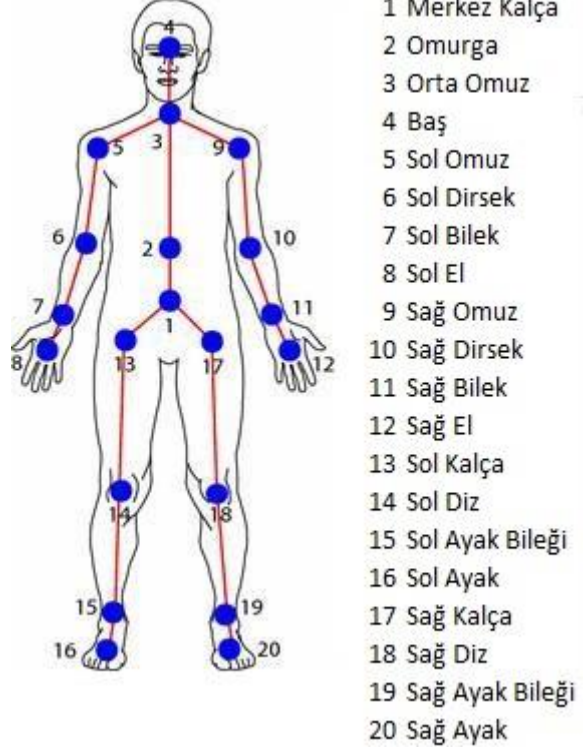
    // sağ elin bireysel noktalarını al
    double rightX = rightHand.Position.X;
    double rightY = rightHand.Position.Y;
    double rightZ = rightHand.Position.Z;
}
```

Şekil 2.Kinect YGK C# Kodu

Kinect 1 sensöründe, tanımlı iskeletlere ait 20 farklı eklem bilgisi sunulmaktadır. Sensörün sunduğu eklem noktaları Şekil 3’de görülmektedir.

Tüm bu avantajları, özellikleri ve düşük maliyeti ile Kinect sensörlerinin uzun süre araştırmacılar tarafından tercih edileceği öngörülmektedir. Windows için Kinect 1 sensörü düşünüldüğünde, iki iskelete ait 20 eklem, her ekleme ait X,

Y ve Z koordinat bilgileri saniyede 30 kare halinde alınmaktadır. Kinect sensörü sahne karmaşıklığına göre değişmek üzere normal durumlarda her saniyede 240 bin ile 270 bin nokta verisi üretmektedir. Bu nedenle dinamik nokta bulutları, büyük miktarda veri olan saniyede yaklaşık 7,5 milyon nokta içerir.



Şekil 3. Tanımlı İskelet Eklemleri

Bu çalışmanın amacı Kinect uygulamaları için veri transfer platformu tasarlanmasıdır. Geliştirilen platform istemci sunucu mimarisi üzerinde çalışmaktadır. Çevrimiçi ve çevrimdışı durumlara farklı senaryolar barındıran platform aynı zamanda bir dizi filtreleme ve şifreleme algoritmalarını da sunmaktadır. Platformda 2D/3D görüntü ve nokta bulutu işleme için büyük ölçekli, açık kaynaklı bir proje olan Nokta Bulut Kütüphanesinin (NBK) kullanımı tercih edilmiştir [25]. Bu kütüphanenin barındırdığı filtreler ve algoritmalar Kinect sensörden elde edilen noktalara uygulanmıştır. Hassas verilere sahip uygulamalar için opsiyonel PGP şifreleme yöntemi kullanılmıştır. Sensörden alınan ve filtrelerden geçirilen noktalar, geliştirilen veri yapısına uygun olarak paketlenmiştir. Çevrimiçi uygulamalarda anlık veri transferi aşamasında WebRTC kullanılmıştır. WebRTC, eşler arası ses, video ve veri paylaşımını gerçek zamanlı olarak sağlayan ve çeşitli platformlar ve farklı ağ yapılandırmaları arasında çoklu ortam iletişimindeki bazı sorunları hafifleten bir ara katman yazılımıdır [26-28]. Çevrimdışı uygulamalarda paketler klasik yöntemlerle sunucuya iletilmiştir. Yapılan çalışma sayesinde Kinect sensöründen elde edilen nokta bulutu isteğe bağlı temizlenmiş ve şifrelenmiş, literatüre Kinect uygulamalarına özel yeni bir veri yapısı kazandırılmış ve bu paketin transferi aşamasında WebRTC kullanılmıştır.

Makalenin kalan bölümleri aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir. 2. bölümünde yöntem ve uygulama sunulmaktadır. Makalenin 3. bölümünde platformun kullanımı sonucu elde edilen bulgular paylaşılmaktadır. Son olarak bölüm 5'te çalışmanın sonuçlarından ve gelecek çalışmalardan bahsedilmektedir.

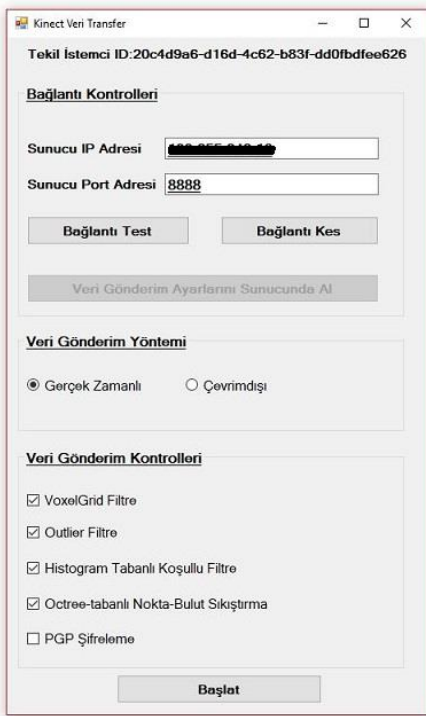
2. YÖNTEM VE UYGULAMA

Çalışmanın bu bölümünde platformda uygulanan yöntem ve uygulama sunulmuştur. Bu bölümün daha detaylı ve anlaşılabilir olması için dört alt bölüm halinde sunulmaktadır. Bu bölümler aşağıda listelenmiştir.

- 1) Geliştirilen platformun sistem mimarisi,
- 2) İsteğe bağlı sistem özellikleri,
- 3) Kinect uygulamalarına özel geliştirilen veri yapısı,
- 4) WebRTC ara katman yazılımından bahsedilmektedir.

2.1. Sistem Mimarisi

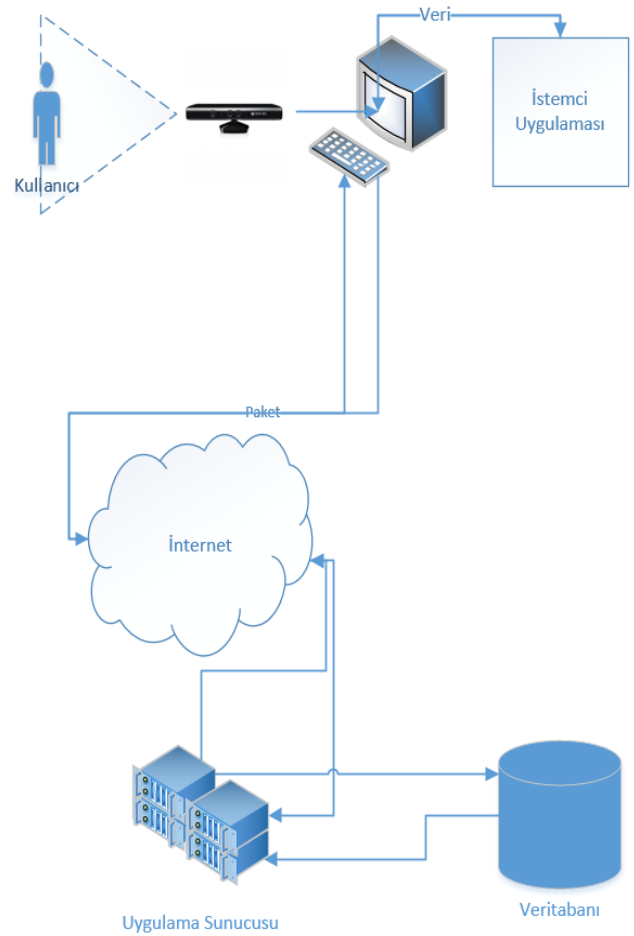
Kinect sensörler istemci bilgisayara USB portundan bağlı bulunmaktadır. Sensörden alınan veriler bu port üzerinden istemci bilgisayarına aktarılmaktadır. Aktarılan veri Şekil 4'te görülen arka planda çalışan platforma özel geliştirilen kontrol menüsü ile uygulama sunucusuna aktarılmaktadır.



Şekil 4. Platform Kontrol Menüsü

Bu menü üzerinden istemci sunucu bağlantısı kurulmaktadır. Kullanıcı isteğe bağlı veri gönderim özelliklerini seçebileceği gibi sunucu IP adresi ve port bilgisini girdikten sonra bu ayarların varsayılan değerlerini sunucudan da alabilmektedir.

Geliştirilen platforma genel bakış Şekil 5'te görüldüğü gibidir.

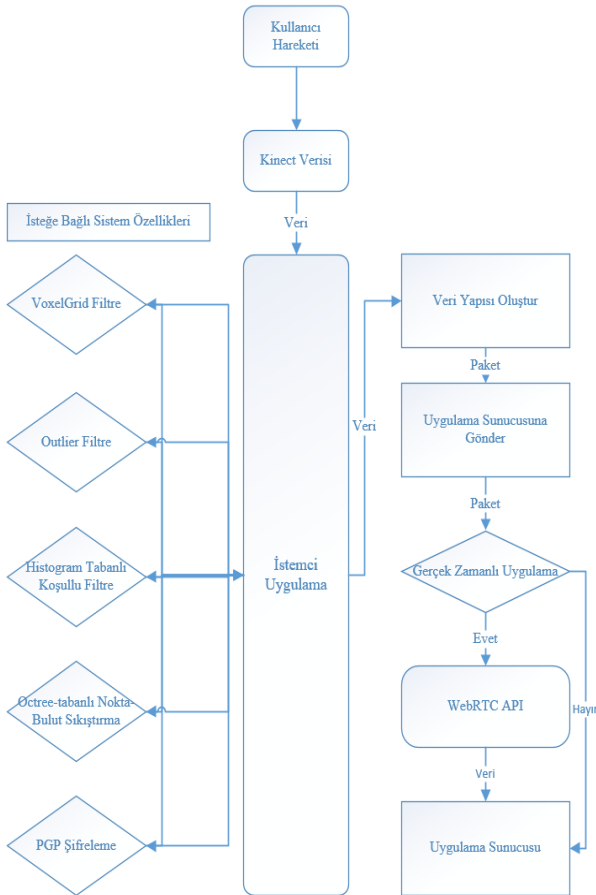


Şekil 5. Platform Genel Bakış

Kinect kameradan alınan veri bilgisayarda bulunan istemci uygulama ile yorumlanır. Bu aşamada isteğe bağlı filtreler ve şifreleme algoritmaları uygulanır. Platforma özel geliştirilen veri yapısı ile veri pakete haline getirilir. Bu aşamada anlık bir uygulama için Kinect kullanılıyorsa yani gerçek zamanlı gönderim seçeneği seçilmişse WebRTC ile transfer gerçekleşir. Eğer Çevrimdışı seçeneği seçilmişse klasik veri gönderim yapılarak veri aktarımı tamamlanır. Sisteme ait akış şeması Şekil 6'da görülmektedir.

2.2. İsteğe Bağlı Sistem Özellikleri

Platformda daha kaliteli veri elde etmeye, nokta sayısını dolayısıyla veri boyutunu küçültmeye ve güvenliği sağlamak amacıyla veriyi şifrelemeye yönelik filtreler ve algoritmalar kullanılmaktadır. Bu filtre ve algoritmalar aşağıda açıklanmıştır. Bu aşamada NBK kullanılmıştır. NBK, açık kaynak kodlu bir proje olup, BSD lisansı koşulları altında yayınlanmış olsa da kullanımı ticari ve araştırma amaçlı kullanım için ücretsizdir.



Şekil 6. Sistem Akış Şeması

NBK yazılım çerçevesi içerisinde filtreleme, özellik tahmini ve alt örnekleme gibi son teknoloji algoritmalar barındırmaktadır [25]. Olası bir veri kaybının engellenmesi ya da bu tip durumların gerektiği uygulamalarda problem yaşanmaması için bu filtrenin kullanımı tamamen istemci ya da sunucu tarafından belirlenebilecek şekilde tasarlanmıştır.

2.2.1. VoxelGrid (VG) Filtre

VG alt örnekleme tekniği, bir 3D voxel ızgarasına dayanmaktadır. Bu teknik, girdi alanını bölmek ve nokta sayısını azaltmak için bilgisayar grafikleri alanında geleneksel olarak kullanılmaktadır [29, 30]. VG algoritması, 3 boyutlu uzayda bir Voxel ızgarası tanımlar ve her Voxel için bir vektör, o Voxel üzerinde bulunan tüm noktaların temsilcisi olarak seçilir. Kinect sensör tarafından istemciye gönderilen verilerin sayısının azaltılması aşamasında isteğe bağlı VG filtresi kullanılmış ve veri noktaları küçültülmüştür.

2.2.2. Outlier Filtre

Platformun istemci tarafında kullanılan bir diğer filtre ise outlier filtresidir. Bu filtre sayesinde Kinect sensörden elde edilen verilerin, geri kalanıyla istatistiksel olarak tutarsız olan noktalar, bir aykırı kaldırma filtresi kullanılarak

kaldırılır [31, 32]. Bu aşamada veri boyutunun küçültülmesi yanında temel hedef verilerde tutarlılığın sağlanmasıdır.

2.2.3. Histogram Tabanlı Koşullu Filtre

Renk histogramı, bir görüntünün renk dağılımının bir temsilidir. Dijital görüntüler için, bir renk histogramı, renk aralıklarının sabit listesinin her birinde aynı renk değerine sahip piksel sayısını temsil etmektedir [33, 34]. Ancak bazı uygulamalar, kişilerin yalnızca eklem bilgilerine ve bu eklemelerin koordinatlarına gereksinim duymaktadır. Bu gibi durumlarda Kinect verisi içerisinde bulunan gereksiz renk verisinin taşınması sistem performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu gibi durumlarda performansın korunması ve gereksiz bilgilerin platformdan temizlenmesi için Histogram tabanlı koşullu filtre kullanılmıştır.

2.2.4. Octree-tabanlı Sıkıştırma

Üretilen verinin en az bant genişliği gereksinimi ve en az boyutlu dosya olarak gönderilmesi ve alınması platform performansı için hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle bir sıkıştırma yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gereksinim için Octree tabanlı sıkıştırma kullanılmıştır. Bu sayede veri içerisinde bulunan mekânsal ve zamansal fazlalık azaltılmıştır [35, 36].

2.2.5. PGP Şifreleme

Günümüzde internet üzerinden iletilen verilerin güvenliğinin sağlanması farklı ve zorlu bir çalışma alanıdır. Kinect sensör kritik alanlarda kullanılmaya başlanılmış ve güvenlik gereksinimi doğmuştur. Bu nedenle geliştirilen platform üzerinde iletilen verinin güvenliğinin sağlanması için isteğe bağlı özellikler arasına güvenlik seçeneği de eklenmiştir. Açık kaynak kodlu ve kolay uygulanabilir olması sebebiyle PGP şifreleme yöntemi tercih edilmiştir. PGP yöntemi bünyesinde DSA, MD5, SHA-1 ve RSA gibi şifreleme algoritmalarını barındırmaktadır. PGP'de veriler karşılıklı kontrol edilmeden erişilemez durumdadırlar bu sayede tam güvenlik sağlanmaktadır [37, 38].

2.3. Veri Yapısı

Kinect sensörden elde edilen veriler büyük boyutlara ulaşmaktadır ve bu verilerin yönetilmesi ve saklanması ciddi problemlere neden olabilmektedir. Platformun stabil çalışmasını ve platformda yer alan veri bütünlüğünün sağlanması için özel bir veri yapısına ihtiyaç duyulmuştur. Kinect uygulamalarına özel geliştirilen veri yapısı Şekil 7'de görülmektedir.

İstemci tarafından seçilebilir durumda bulunan parametreler, veri yapısının başlık bilgisini oluşturmaktadır. Hemen ardından sensör tarafından tespit edilen her iskeletin her eklemine, her eklemde X, Y ve Z bilgilerinin saklandığı veri kısmından oluşmaktadır. Paketlerin sıralı şekilde saklanması ve yönetilebilmesi için her paket zaman damgası ile damgalanmaktadır.

Veri	Eklemler			Eklemler N					
	Eklemler 1	Eklemler 2	Eklemler 3						
Paket Başlığı	İskelet 1	X	Y	Z	64-bit				
		X	Y	Z	64-bit				
		X	Y	Z	64-bit				
		X	Y	Z	64-bit				
		X	Y	Z	64-bit				
		X	Y	Z	64-bit				
		X	Y	Z	64-bit				
		X	Y	Z	64-bit				
		X	Y	Z	64-bit				
		X	Y	Z	64-bit				
Veri Büyüklüğü	Zaman	64-bit			64-bit				
		WebRTC	1-bit			64-bit			
			VoxelGrid Filtre	1-bit			64-bit		
				Outlier Filtre	1-bit			64-bit	
					Histogram Tabanlı Koşullu Filtre	1-bit			64-bit
						Octree-Tabanlı Nokta-Bulut Sıkıştırma	1-bit		
PGP Şifreleme	1-bit			64-bit					
	32-bit			64-bit					

Şekil 7. Veri Yapısı

2.4. WebRTC

WebRTC, Kinect uygulamalarında gerçek zamanlı etkileşim için ideal bir ağ platformudur. Belirlenen eşler arasında video, ses ve veri için gerçek zamanlı veri paylaşımı sağlamaktadır. Platform bağımlılığı gibi sorunları da ortadan kaldırmaktadır [27, 28, 39]. Akış verisini edinmek ve haberleşmek için, WebRTC Eş Bağlantısı, Medya Akışı ve Veri Kanalı olmak üzere üç ara katman yazılımı sağlamaktadır [39]. Geliştirilen platform WebRTC ara

katman yazılımının veri kanalı katmanını kullanmaktadır. Bu sayede geliştirilen veri yapısı uygulama sunucuna anlık olarak transfer edilmektedir.

3. BULGULAR

Geliştirilen platformun değerlendirilmesi aşamasında gerçek Kinect verisi kullanılmıştır. Öncelikle uygulanan filtreler ve sonuçlarında elde edilen sıkıştırma oranları değerlendirilmiştir.

Kinect sensör tarafından gönderilen verilerin sayısının azaltılması için VG filtre kullanılmış ve veri noktaları küçültülmüştür. Bu filtre sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. VoxelGrid (VG) Filtre Sonucu

Ham Veri Noktası	VoxelGrid (VG) Filtre Sonucu	Sıkıştırma Oranı
97834	30195	3.24

Platformun istemci tarafında uygulanan bir diğer filtre ise outlier filtresidir. Sensör üzerinden elde edilen verilerde bulunan istatistiksel tutarsız noktalar bu filtre sayesinde temizlenmektedir. Bu filtre sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 3'te görülmektedir.

Tablo 3. Outlier Filtre Sonucu

Ham Veri Noktası	Outlier Filtre Sonucu	Sıkıştırma Oranı
97834	87351	1.12

Geliştirilen platformun performansının korunması ve gereksiz bilgilerin platformdan temizlenmesi için Histogram tabanlı koşullu filtre kullanılmıştır. Bu filtre sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 4'te görülmektedir.

Tablo 4. Histogram Tabanlı Koşullu Filtre Sonucu

Ham Veri Noktası	Histogram Tabanlı Koşullu Filtre Sonucu	Sıkıştırma Oranı
97834	70894	1.38

Sensör tarafından üretilen verinin sıkıştırılması aşamasında Octree tabanlı sıkıştırma kullanılmıştır. Bu sıkıştırma sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 5'de görülmektedir.

Tablo 5. Octree Tabanlı Sıkıştırma Sonucu

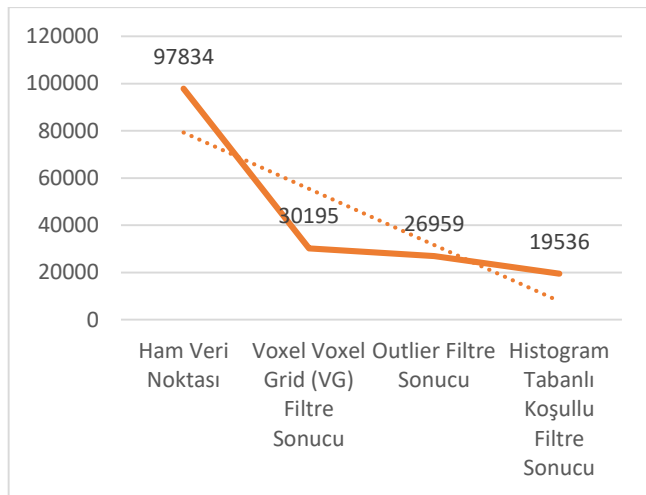
Ham Veri Dosya Boyutu (KB)	Octree Tabanlı Sıkıştırma Sonucu (KB)	Sıkıştırma Oranı
229.19	205.39	%10.381

Yapılan deneysel sonuçlar ayrı ayrı değerlendirmelerden oluşmaktadır. Ancak istemci tüm filtreleme seçeneklerini seçtiğinde filtrelemelerden elde edilen gerçek sıkıştırma verisi Tablo 6'da görülmektedir.

Tablo 6. Genel Sıkıştırma Sonuçları

Ham Veri Noktası	Voxel Grid (VG) Filtre Sonucu	Outlier Filtre Sonucu	Histogram Tabanlı Koşullu Filtre Sonucu	Sıkıştırma Oranı
97834	30195	26959	19536	5,007

Elde edilen filtreleme ve sıkıştırma sonuçları grafiği Şekil 8'de görüldüğü gibidir.



Şekil 8. Filtreleme ve sıkıştırma sonuçları grafiği

Değerlendirme aşamasında kullanılan veri boyutları elde edilen sonuçlara dair net bilgiler vermektedir. Ancak platformun gerçek başarısı için Kinect uygulamaları sonucu elde edilen büyük verilerin düşünülmesi bir gerekliliktir.

4. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Kinect sensörün önemi ve kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle güvenli ve efektif bir veri transfer platformuna ihtiyaç duyulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda aşağıdaki kazanımlar elde edilmiştir.

- İstemci – Sunucu mimarisine uygun Kinect veri paylaşım platformu geliştirilmiştir.
- İstemci tarafından geliştirilen mimari sayesinde farklı filtreler ve algoritmalar kullanılmıştır.
- İsteğe bağlı VoxelGrid (VG) Filtre ile nokta sayısı azaltılmıştır.
- İsteğe bağlı Outlier Filtre ile istatistiksel tutarsız noktalar temizlenmiştir.
- İsteğe bağlı Histogram Tabanlı Koşullu Filtre ile gereksiz bilgiler platformdan temizlenmiştir.

- İsteğe bağlı Octree Tabanlı Sıkıştırma elde edilen dosyalar sıkıştırılmıştır.
- Platformun stabil çalışmasını ve platformda yer alan veri bütünlüğünün sağlanması için özel bir veri yapısı geliştirilmiştir.
- İsteğe bağlı PGP şifreleme ile veri güvenliği sağlanmıştır.
- Çevrimiçi uygulamalar için WebRTC veri katmanları kullanılmış ve anlık veri paylaşımı sağlanmıştır.

Sunulan platform araştırmacılar ve geliştiriciler tarafından kullanılan Kinect uygulamalarında performans sağlayacaktır.

Geliştirilen platform için istemci bilgisayarlara ilgili dosya paketinin kurulumunun yapılması ve uygulama sunuculara tanımlama yapılması gerekmektedir. Bu nedenle geliştirilen sistemin gelecekte servis tabanlı olarak geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu sayede geliştiriciler ve araştırmacılar tarafından kendi yazılımları ya da uygulamaları içerisinde çağrılabilir hale getirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca şu anda veri yapısında bulunan iskelet, eklem ve koordinat bilgilerinin yanına yine tamamen isteğe bağlı eklemeler arası açı değerlerinin de eklenmesi ve bu sayede uygulama sunucusu tarafında ihtiyaç duyulacak hesaplama gereksiniminin azaltılması hedeflenmektedir.


KAYNAKÇA


- [1] Z. Zhang, "Microsoft Kinect Sensor and Its Effect," IEEE Multimedia, vol. 19, no. 2, pp. 4-10, 2012.
- [2] M. Gabel, R. Gilad-Bachrach, E. Renshaw, and A. Schuster, "Full body gait analysis with Kinect," Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, vol. 2012, pp. 1964-7, 2012.
- [3] N. Kitsunezaki, E. Adachi, T. Masuda, and J. Mizusawa, "KINECT applications for the physical rehabilitation," presented at the 2013 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA), Gatineau, QC, Canada, 2013.
- [4] B. Lange et al., "Interactive game-based rehabilitation using the Microsoft Kinect," presented at the 2012 IEEE Virtual Reality Workshops (VRW), Costa Mesa, CA, USA, 2012.
- [5] T. Dutta, "Evaluation of the Kinect sensor for 3-D kinematic measurement in the workplace," Appl Ergon, vol. 43, no. 4, pp. 645-9, Jul 2012.
- [6] I. P. T. Weerasinghe, J. Y. Ruwanpura, J. E. Boyd, and A. F. Habib, "Application of Microsoft Kinect Sensor for Tracking Construction Workers," pp. 858-867, 2012.
- [7] Z. Zhang, M. Zhang, Y. Chang, E.-S. Aziz, S. K. Esche, and C. Chassapis, "Real-Time 3D Model Reconstruction and Interaction Using Kinect for a Game-Based Virtual Laboratory," p. V005T05A053, 2013.
- [8] L. Cruz, D. Lucio, and L. Velho, "Kinect and RGBD Images: Challenges and Applications," pp. 36-49, 2012.
- [9] H. Richards-Rissetto, J. von Schwerin, and G. Girardi, "Kinect and 3D GIS in archaeology," pp. 331-337, 2012.
- [10] S. Izadi et al., "KinectFusion," p. 559, 2011.

- [11] G. Du and P. Zhang, "Markerless human-robot interface for dual robot manipulators using Kinect sensor," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 30, no. 2, pp. 150-159, 2014.
- [12] S. Zolkiewski and D. Pioskowik, "Robot Control and Online Programming by Human Gestures Using a Kinect Motion Sensor," vol. 275, pp. 593-604, 2014.
- [13] R. A. El-laithy, J. Huang, and M. Yeh, "Study on the use of Microsoft Kinect for robotics applications," pp. 1280-1288, 2012.
- [14] M. Eiji, C. Meifen, M. Toshiyuki, and H. Hiroshi, "Human motion tracking of mobile robot with Kinect 3D sensor," presented at the 2012 Proceedings of SICE Annual Conference (SICE), Akita, Japan, 20-23 Aug. 2012.
- [15] Z.-R. Tsai, "Robust Kinect-based guidance and positioning of a multidirectional robot by Log-ab recognition," *Expert Systems with Applications*, vol. 41, no. 4, pp. 1271-1282, 2014.
- [16] B. Lau, C. Sprunk, and W. Burgard, "Efficient grid-based spatial representations for robot navigation in dynamic environments," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 61, no. 10, pp. 1116-1130, 2013.
- [17] K. Berger, S. Meister, R. Nair, and D. Kondermann, "A State of the Art Report on Kinect Sensor Setups in Computer Vision," vol. 8200, pp. 257-272, 2013.
- [18] L. Yang, L. Zhang, H. Dong, A. Alelaiwi, and A. E. Saddik, "Evaluating and Improving the Depth Accuracy of Kinect for Windows v2," *IEEE Sensors Journal*, vol. 15, no. 8, pp. 4275-4285, 2015.
- [19] B. Galna, G. Barry, D. Jackson, D. Mhiripiri, P. Olivier, and L. Rochester, "Accuracy of the Microsoft Kinect sensor for measuring movement in people with Parkinson's disease," *Gait Posture*, vol. 39, no. 4, pp. 1062-8, Apr 2014.
- [20] C. Raposo, J. P. Barreto, and U. Nunes, "Fast and Accurate Calibration of a Kinect Sensor," pp. 342-349, 2013.
- [21] K. Khoshelham and S. O. Elberink, "Accuracy and resolution of Kinect depth data for indoor mapping applications," *Sensors (Basel)*, vol. 12, no. 2, pp. 1437-54, 2012.
- [22] H. Gonzalez-Jorge, B. Riveiro, E. Vazquez-Fernandez, J. Martínez-Sánchez, and P. Arias, "Metrological evaluation of Microsoft Kinect and Asus Xtion sensors," *Measurement*, vol. 46, no. 6, pp. 1800-1806, 2013.
- [23] J. Kramer, N. Burrus, F. Ehtler, H. C. Daniel, and M. Parker, *Hacking the Kinect*. Apress, 2012.
- [24] L. Caruso, R. Russo, and S. Savino, "Microsoft Kinect V2 vision system in a manufacturing application," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 48, pp. 174-181, 2017.
- [25] R. B. Rusu and S. Cousins, "3D is here: Point Cloud Library (PCL)," pp. 1-4, 2011.
- [26] E. Bertin, S. Cubaud, S. Tuffin, N. Crespi, and V. Beltran, "WebRTC, the day after: What's next for conversational services?," pp. 46-52, 2013.
- [27] S. Loreto and S. P. Romano, "Real-Time Communications in the Web: Issues, Achievements, and Ongoing Standardization Efforts," *IEEE Internet Computing*, vol. 16, no. 5, pp. 68-73, 2012.
- [28] J. Alan and B. Daniel, *WebRTC: APIs and RTCWEB Protocols of the HTML5 Real-Time Web*. Digital Codex LLC, 2014.
- [29] C. Connolly, "Cumulative generation of octree models from range data," vol. 1, pp. 25-32, 1984.
- [30] L. Kobbelt and M. Botsch, "A survey of point-based techniques in computer graphics," *Computers & Graphics*, vol. 28, no. 6, pp. 801-814, 2004.
- [31] H. Tsaknakis and P. Papantoni-Kazakos, "Outlier resistant filtering and smoothing," *Information and Computation*, vol. 79, no. 2, pp. 163-192, 1988.
- [32] Y. Wang and H.-Y. Feng, "Outlier detection for scanned point clouds using majority voting," *Computer-Aided Design*, vol. 62, pp. 31-43, 2015.
- [33] T. Kaur and R. K. Sidhu, "Performance Evaluation of Fuzzy and Histogram Based Color Image Enhancement," *Procedia Computer Science*, vol. 58, pp. 470-477, 2015.
- [34] V. Rajinikanth and M. S. Couceiro, "RGB Histogram Based Color Image Segmentation Using Firefly Algorithm," *Procedia Computer Science*, vol. 46, pp. 1449-1457, 2015.
- [35] J. Navarrete, D. Viejo, and M. Cazorla, "Compression and registration of 3D point clouds using GMMs," *Pattern Recognition Letters*, vol. 110, pp. 8-15, 2018.
- [36] V. Morell, S. Orts, M. Cazorla, and J. Garcia-Rodriguez, "Geometric 3D point cloud compression," *Pattern Recognition Letters*, vol. 50, pp. 55-62, 2014.
- [37] H. Meyer, "Privacy better than 'Pretty Good'," *Computers & Security*, vol. 16, no. 7, p. 620, 1997.
- [38] B. Zajac, "Pretty good privacy," *Computer Fraud & Security Bulletin*, vol. 1994, no. 9, pp. 14-17, 1994.
- [39] M. Becke, E. P. Rathgeb, S. Werner, I. Rungeler, M. Tuxen, and R. Stewart, "Data channel considerations for RTCWeb," *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, no. 4, pp. 34-41, 2013.

Bir Lastik Fabrikasında Dinamik Adresleme Yaklaşımı ile Depoya Yerleştirme

*¹ Berrin Denizhan, ² Şeyma Menşur,

¹Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, denizhan@sakarya.edu.tr, 

²Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, seymamensur@outlook.com, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 29.01.2019

Kabul Tarihi: 17.09.2019

Öz

Depo yönetiminin etkinliğini belirleyen en önemli unsurlardan biri deponun tasarımı ve doğru adresleme/yerleştirme yapılabilmesidir. Kurulan depo sahasının, işletmenin gereksinimlerine göre tasarlanmadığı durumlarda, depo sahası-operasyon uyumsuzluğu doğmakta, söz konusu durum yüksek stok maliyeti, düşük verimlilik ve düşük üretim performansı ve işlerin aksaması ile de sonuçlanabilmektedir. Bu sebeple depo tasarımında, depo sahasının mimari yapısı, depo sahasındaki yerleşim, yükleme, boşaltma ve istifleme sahalarının yerleşimi gibi faktörler doğrudan etkili olmaktadır. Yapılan bu çalışmada bir lastik üreticisindeki üretim ortamı incelenmiştir. Mikser sahasındaki peronlara malzemelerin doğru yerleştirilememesi, depo alanı kullanımında verimsizliğe ve yetersizliğe sebep olmaktadır. Bu sebeple depodaki stok kapasitesi ve kapasite kullanımındaki verimlilik artırılmaya çalışılmıştır. Yapılan analizler sonucunda bu probleme en uygun çözüm olarak statik adreslemeyen dinamik adreslemeye geçiş olduğu önerilmiştir. Dinamik adresleme için bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritma Visual Basic dilinde dinamik programlama yöntemi kullanılarak kodlanmıştır. Hem mevcut durum olan statik adresleme hem de önerilen durum olan dinamik adresleme için yazılan program çıktıları karşılaştırıldığında; işletmeye yarı dolu peron sayısının azaltılması yönünden statik adreslemede %88 olan oranın dinamik adresleme ile %53'e kadar iyileştirme olanağı sunabildiği görülmüştür. Ayrıca statik adreslemede kullanılabilir peron sayısı 213 iken dinamik adresleme sayesinde bu sayı 269 olup, işletmeye yeni karışım kodlarının depolanması için fırsat sunulmuştur. Son olarak ise Mikser'den çıkan paletlere peron ararken dinamik adreslemede göz önünde bulundurulmuş "Miksere en yakın perona ata" stratejisi ile forkliftçi iş yükü azaltılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Depo yönetimi, dinamik programlama, dinamik adresleme

Warehouse Allocation in a Tire Factory with Dynamic Addressing

*¹ Berrin Denizhan, *² Şeyma Menşur,

¹Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, denizhan@sakarya.edu.tr

²Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, seymamensur@outlook.com

Abstract

The design of the warehouse and the correct addressing/placement is one of the most critical factors to the efficiency of warehouse management. In cases where the established storage area is not designed to meet the requirements of the enterprise, the warehouse site-operation mismatch arises, which can result in high inventory costs, low productivity and low production performance and disruption of the works. Because of this, factors such as the architectural structure of the warehouse area, settlement in the storage, loading, unloading, and placement of the stacking areas are directly effective in warehouse design. In this study, the production environment of a tire manufacturer is examined. The mixer area makes the storage area insufficient due to the inability to place the materials correctly on the platforms. Therefore, the stock capacity and the efficiency of capacity utilization in the warehouse have been increased. As a result of the analysis, it has been suggested that the transition from static addressing to dynamic addressing is the most appropriate solution to this problem. An algorithm for dynamic addressing has been developed. The algorithm is coded using the dynamic programming method in visual basic language. The output of the program was compared for both the current state of static addressing and the proposed state of dynamic addressing. It was seen that the number of half-loaded platforms could improve with a decrease of 88% in static addressing and up to 53% in dynamic addressing. In addition, while the number of platforms available for static addressing was 213, this was 269 thanks to dynamic

addressing. This allows the facility to store new mix codes. Lastly, the forklift assign to the platform “closest to the mixer” strategy, which is considered in dynamic addressing when searching for platforms for the pallets exiting the mixer, has reduced the workload of the forklift truck.

Keywords: Warehouse, dynamic programming, dynamic addressing

GİRİŞ

Depoya yerleştirme bütün üretim sürecinin performansını etkileyen unsurlardan biridir. Doğru yerleştirme üretim sürecine doğru miktarlarda ürünün akışını hızlandırmakta, yanlış yerleştirme ise çevrim süresini artırarak malzeme yokluğu yaşanmasına sebep olabilmektedir. Makaleye konu olan problem lastik üretiminin ilk aşaması olan karışımın hazırlanması işleminin gerçekleştiği mikser makinelerini ve hazırlanan karışımın istiflendiği Wigwag ekipmanlarını kapsamaktadır. İşletmedeki ana sorun, Wigwag ekipmanı ile istiflenen paletin götürüldüğü Mikser son karışım stok alanlarının verimli olarak kullanılamamasıdır. Stoklama alanlarındaki bahsedilen verimsizliğin sebeplerinin belirlenmesi için gözlemler yapılmıştır. Yapılan gözlemler sonunda verimliliği azaltan birkaç farklı sebep bulunmaktadır. Bu makalede ise verimliliği azaltan sebeplerden biri olan sabit adresleme politikasına çözüm önerilmiştir. Sabit adresleme politikasıyla ilgili yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen bilgiler ve işletmedeki durum hakkında bilgi verilmiştir.

Sabit yerleştirme sistemine göre her mal ya da mamulün sabit bir adresi vardır ve değişmez. Bu işleyiş aşağıdaki gibi bazı problemler oluşturabilir.

1. Her yeni malzeme için, bölümlerde fazladan alan bulundurulması gerekmektedir. Ayrıca her malzemenin yerinde olabilmesi ve tekrar yerleştirme işlemlerinin oluşmaması için, her zaman boş bir depolama kapasitesine ihtiyaç vardır.
2. Farklı özellikleri olan malzemelerin depolanma ya da elde tutabilme koşullarını göz önüne almayabilir ve depolanması zor olan malzeme sistemin dışında tutulur.
3. Sık kullanılan malzemeler için personele ve ihtiyaca cevap verme kolaylığı bakımından herhangi bir strateji uygulanmayabilir.

İşletmede sabit adreslemenin sorun olmasının sebebi, her peronun belirlenmiş karışım kodlarına göre isimlendirilmiş olmasıdır. Her kod, sadece kendi karışım koduna sahip perona bırakılabilmektedir. Bu sebeple, üretimde olmayan bir koda da ait, başka kodlar tarafından kullanılmayan peronlar bulunmaktadır. Bu da aslında var olan fakat kullanılmayan kapasite demektir. Bahsedilen bu dezavantajları nedeniyle sabit adresleme politikası kapasite kullanım oranını azaltan bir durumdur.

Rekabetin artması ile birlikte depolama, önemli bir rekabet avantajı haline gelmiştir. Malzeme girişi ve bitmiş ürün teslimatı ve hareketleri sırasındaki bütün faaliyetler depoyu doğrudan etkileyerek maliyet yaratmaktadır. Bu süreçte

maliyet azaltıcı depo hareketlerinin planlanması, yerleştirme adresleme ve sipariş toplama süreçlerindeki iyileştirmeler büyük maliyet avantajı da sağlamaktadır. Aynı zamanda depolama sistemleri ve hangi malzemelerin nasıl depolanacağı, iletileceğinin bilinmesi, zaman ve enerji tasarrufu da sağlanmaktadır [8].

İşletmeler ise ellerinde her zaman müşteri taleplerini karşılayabilmek için mal bulundurlar. Dolayısıyla depolamaya ihtiyaç duyarlar çünkü mevcut ürünlerle bu ürünlere olacak talebi bire bir örtüştürmek mümkün değildir. Birçok sebepten dolayı elimizdeki kaynak miktarı ve bu kaynağa olacak olan talep sık sık değişmektedir ve bu değişkenlik elde bulundurma yani depolama ihtiyacını oluşturmaktadır [13].

Depolama süreci içindeki en önemli faaliyetlerden biri depo alanının aktif kullanımını ve bunu sağlayacak doğru adreslemenin yapılabilmesidir. Bu sebeple ürünlerin raflara yerleştirilmesi bir çözümlenme problemi olarak ele alınabilir. Depoya yerleştirilecek ürün ve rafların özellikleri ve öncelikleri sıralama ve çözümlenme kurallarından faydalanılarak oluşturulabilir. Bu sebeple bir dizi işin hangi sırayla işleme alınacağına karar verilmesi gereken her durum bir çözümlenme problemi olarak ele alınabilir. Depolama ve depolamanın nasıl, hangi şekilde, hangi sırayla yapılacağını planlayan çözümlenme yöntemleri de literatürde yer almaktadır. Dolayısıyla çözümlenme problemleri sadece üretim sistemlerinde değil, taşıma ve dağıtım, iletişim, bilgi sistemleri gibi farklı sistemlerde de ortaya çıkmaktadır [5].

Çözümlenme problemleri işlerin çözümlenme boyunca hazır bulunma durumuna göre statik ve dinamik olarak ikiye ayrılır. Çalışma zamanı boyunca işlerin sayısı değişmezse sistem statik, yeni işler sisteme dahil edilirse dinamik olarak adlandırılır [4].

İmalat ve servis endüstrilerinde çözümlenme bir karar verme prosesidir. Matematiksel veya sezgisel yöntemler kullanılarak görevlerin sınırlı kaynaklara atanması işlemi olarak gerçekleştirilmektedir. Bu atama, iş önceliği ve diğer faktörlere göre sıralama yapılarak işletmelerin belirlenen amaca ulaşması sağlanır. Bu amaçlar kimi zaman toplam çevrim süresinin kısaltılması, kimi zaman geciken işlerin sayılarının azaltılması ve beklemlerin azaltılması gibi performans ölçütleri ile belirlenir.

Çözümlenme, parametrelerin deterministik veya belirsiz olduğu durumu, tek makinalı veya çoklu makine, geliş sürecinin statikten veya dinamik olarak değiştiği çeşitli problem yapılarını kapsar [6]. Bu yöntem bütün sistemler üzerine uyarlanarak bir makine atama problemi olmasa da işlerin sıralanması ve çözümlenmesinde kullanılabilir.

Çizelgeleme probleminin ilk tartışılmaya başlandığı zamanlar 20. yüzyılın başlarına kadar uzanır. İlk çözüm algoritmaları kombinatoriyal analiz kullanılarak geliştirilmiştir. Genel kanı, Johnson 1954 tarafından yayınlanan çalışmanın çizelgelemenin yöneylem araştırması içerisinde bağımsız bir alan olarak ele alındığı ilk çalışma olduğu yönündedir [10]. Kombinatoriyal analiz ile başlayan çalışmalar, dal sınır algoritmaları, Lagrangian gevşemesi gibi matematiksel programlama teknikleri, yaklaşım algoritmaları ve yerel arama sezgiselleri, meta sezgiseller ve hipersezgiseller gibi sezgisel algoritmalar ile günümüzde de ilerlemeye devam etmektedir. Literatürde öncelik kuralları ya da çizelgeleme kuralları olarak da geçen dağıtım kuralları, uygulama kolaylığı, ani değişimlere hızlı tepki verebilme yeteneği ve istenen sürede geçerli sonuç üretebilme kabiliyeti ile çizelgeleme problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan sezgisel kurallardır [1]. Çizelgeleme yöntemleri ile geciken işlerin minimuma indirilmesi, kapasitenin eksik kullanılması, üretimde yer alan darboğazlar, gibi problemler de ortadan kaldırılabilir [11].

Çizelgeleme problemlerini çözmek için yaygın olarak eniyileme/optimizasyon yöntemleri ve sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Optimizasyon yöntemleri üç ana grupta toplanabilir. Bunlardan birincisi; dinamik programlama tekniğidir. Bu yöntem çizelgeleme ve diğer kombinatoriyal problemler için kullanılan çok aşamalı karar problemidir. Bu yöntemle ilgili en önemli çalışmalar, Held ve Karp (1962) tarafından yapılmıştır. Bu teknik ile belli kısıtlayıcı kuralları uygulayarak çok sayıda aday çözümü elimine etmiştir [12]. Uygulamanın olumsuz yönü ise çok boyutlu problemlerde etkin olmamasıdır. Durum değişkenlerinin sayısı arttığında işlem sayısı artar ve bu özellik büyük boyutlu problemlerin çözümünde dinamik programlama yaklaşımının kullanımını kısıtlar.

İkinci olarak en sık kullanılan yöntem dal-sınır algoritmasıdır. Dal-sınır algoritması ilk olarak 1959 yılında gezgin satıcı probleminde uygulanmıştır. Bu yöntemde, çözüm zamanları ve farklı veri setlerine göre değişiklik gösterir. Dallanan değişken ile sınırlama yaklaşımının seçimi algoritmanın performansını büyük ölçüde etkiler ve problem boyutu arttıkça çözümü zorlaşmaktadır [6].

Diğer yöntem ise tamsayılı programlamadır. Araştırmacılar, çizelgeleme problemlerinin değişik kısıtları altında tamsayılı programlama modelleri geliştirmiştir. Depoya adresleme gibi dinamik problemlerin etkin bir şekilde çözümünde bu sebeple tamsayılı programlama algoritmaları başarılı değildir. Ancak birden fazla ölçütü kullanabilecek bir amaç fonksiyonu oluşturulabilir [7].

Optimizasyon teknikleri büyük boyutlu çizelgeleme problemlerinin çözümünde yetersiz kalmaktadır. Hesaplama zamanı oldukça uzundur. Aynı zamanda optimizasyon teknikleri Son yıllarda tüm bu dezavantajların giderilebileceği sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Bu sezgisel algoritmalar ise tavlama benzetimi, tabu arama, genetik algoritma ve karınca kolonisi gibi yaklaşımlardır.

Tabu Arama (TA), Glover tarafından kombinatoriyal problemlerin çözümü için önerilmiş bir sezgisel programlama tekniğidir [3]. Bir katının yavaş yavaş soğutulmuş minimum enerji durumu elde edilene kadar fiziksel tavlama sürecini taklit eden tavlama benzetimi algoritması, olasılıklı bir arama yöntemidir. Amaç fonksiyonun değeri, azalma eğilimindedir. Bununla birlikte bazı durumlarda amaç fonksiyon değerleri yüksek olan çözümler de kabul edilmektedir. Böylece, daha iyi bir yerel minimum aramaya devam edilebilir ve yerel bir minimum çözüme takılmaktan kurtulmuş olur. Dolayısı optimizasyon problemleri için tavlama benzetimi yaklaşımı en iyi değere yakın çözümler verebilmektedir [2].

Genetik algoritma ise, doğadaki evrim yöntemlerini kullanan bir arama yöntemidir. Genetik algoritma tekniği, Michigan Üniversitesi'nde yer alan John Holland ve arkadaşlarının çalışmaları sonucu 1970'li yıllarda ortaya çıkmıştır. Genetik algoritmaların amacı karmaşık problemlerin ve çok kısıtlı problemlerin optimizasyonudur [9]. Karıncaların işbirlikçi davranışının taklidi olan karınca algoritmaları popülasyon tabanlı bir algoritmadır [13].

Yukarıda bahsedilen optimizasyon ve sezgisel yöntemler çok değişkenli depo malzemelerinde yetersiz kalmaktadır. Bunun sebebi pek çok kısıtın aynı anda kontrol edilecek olmasıdır. Bu çalışmada en iyi çözümü sunabilecek dinamik bir sezgisel oluşturulmuş ve statik adresleme ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada bahsedilen statik adresleme politikasına çözüm olarak bir sezgisel çizelgeleme yöntemiyle dinamik adresleme algoritması oluşturulmuştur. Yeni bir sezgisel yöntemin oluşturulmasının sebebi, literatürde bulunan çizelgeleme yöntemlerinin işletme kısıtlarını karşılamada yetersiz kalmasıdır.

Depoya dinamik/rastgele yerleşimde, sistematik ve çok yüksek düzeyde organize olmuş bir stok yerleştirme uygulaması vardır. Depolama stratejisi, sipariş toplama verimliliğini artırmak için öğeleri depolama konumlarına atayan bir kurallar kümesidir. Rastgele strateji, gelen paletleri rastgele olarak depolamak için mevcut boş depolama yerlerine atar ve bu da yüksek depolama kullanımını ve düşük sipariş toplama verimliliği sağlar [8].

Tüm bu avantajlar göz önüne alınarak bu makalede, firmanın mevcut durumunu benzetim modelinden ve çözüm yapan benzetim uygulamasından bahsedilmiştir. Problemin çözüm aşamaları şu şekildedir;

- i- Mevcut durum ve iyileştirilecek durumun parametre, kısıt ve varsayımlarının belirlenmesi.
- ii- Mevcut durum olan statik adreslemenin kodlanması.
- iii- İyileştirme olarak sunulan dinamik adreslemenin kodlanması.
- iv- Programların çalıştırılarak istatistiki verilerin toplanması.

v- Toplanan verilerin analiz edilerek sonuçlarının karşılaştırılması.

3. UYGULAMA

Problemin çözüm aşamalarına göre algoritma yazılmıştır.

1. Aşama: Mevcut durum ve iyileştirilecek durumun parametre, kısıt ve varsayımlarının belirlenmesi

Parametreler:

Statik ve dinamik adresleme durumları için kullanılan parametreler;

- $i=1$ 'den $i=4$ 'e kadar $a(i)$, $b(i)$, $c(i)$, $d(i)$, $f(i)$, $g(i)$, $h(i)$, $j(i)$, $k(i)$, $l(i)$, $m(i)$, $n(i)$, $o(i)$, $p(i)$, $r(i)$ parametreleri önceki günden kalan stok miktarını rastgele atayan değişkenleri temsil etmektedir.
- $i=1$ 'den $i=40$ 'a kadar $q(i)$ parametresi, rastgele Mikser makinelerinden çıkan palet miktarlarını temsil etmektedir.
- $i=1$ 'den $i=60$ 'a kadar $w(i)$ parametresi, rastgele Mikser stok alanından çıkan palet miktarlarını temsil etmektedir.
- $i=1$ 'den $i=60$ 'a kadar $val(i)$ parametresi, her peronun tüm giriş ve çıkış işlemlerinin gerçekleştikten sonra elde edilen değeri temsil etmektedir.
- $i=1$ 'den $i=60$ 'a kadar $tq(i)$ parametresi, peronlara günlük olarak giren palet sayılarının toplamını temsil etmektedir. $tq(i)$ değerleri Tab2 sayfasında giriş sütunundaki alanların görülmesini sağlar.
- $i=1$ 'den $i=60$ 'a kadar $tw(i)$ parametresi, peronlardan günlük olarak çıkan palet sayılarının toplamını temsil etmektedir. $tw(i)$ değerleri Tab2 sayfasında çıkış sütunundaki alanların görülmesini sağlar.
- $i=1$ 'den $i=60$ 'a kadar $cikan(i)$ parametresi, perondan rastgele gelen çıkış sayısından artı kalan, aynı koda sahip ve en yakın boş perona atanacak palet sayısını temsil etmektedir.
- $i=1$ 'den $i=60$ 'a kadar $deger(i)$ parametresi, perona rastgele gelen giriş sayısından artı kalan ve aynı koda sahip veya en yakın boş perona atanacak palet sayısını temsil etmektedir.

Kısıtlar:

Kurulan modellerdeki kapasite kısıtları şu şekilde varsayıлып, kısıt olarak göz önünde bulundurulmuştur;

- S02 stok alanında 15 peron bulunmaktadır. Her bir peronun kapasitesi 10 palettir.
- S04 stok alanında 15 peron bulunmaktadır. Her bir peronun kapasitesi 13 palettir.
- S05 stok alanında 15 peron bulunmaktadır. Her bir peronun kapasitesi 12 palettir.
- S06 stok alanında 15 peron bulunmaktadır. Her bir peronun kapasitesi 15 palettir.

Kurulan modellerdeki yapısal kısıtlar şu şekildedir;

- Her iki modelde de bir karışım kodu için art arda Mikserden çıkabilecek palet sayısı maksimum 10'dur.
- Her iki modelde de bir karışım kodu için art arda perondan çıkabilecek palet sayısı minimum 3, maksimum 10'dur.
- Statik adresleme politikasında bütün karışım kodlarının belirlenmiş adresleri bulunmaktadır ve hiçbir karışım kodu kendisine ait olmayan perona konulamamaktadır.
- Dinamik adresleme politikasında peronlara karışım kodlarının atanması işleminde ilk olarak bakılan şart, mevcut dizilişte Mikserden çıkan karışım koduyla aynı koda sahip ve kapasite olarak yeterli peron var mı? Var ise öncelikli olarak çıkan palet o perona götürülecektir. Eğer dizilişte Mikserden çıkan karışım koduyla aynı koda sahip fakat yeterli kapasiteye sahip olmayan peron var ise çıkan palet en yakın boş perona götürülecektir. Eğer mevcut dizilişte Mikserden çıkan karışım koduyla aynı kod yoksa çıkan palet en yakın boş perona götürülecektir.
- Statik ve dinamik adresleme politikalarında Mikser 1'den çıkan karışım kodları sadece S02'de depolanabilmektedir.
- Statik ve dinamik adresleme politikalarında Mikser 2'den çıkan karışım kodları sadece S04'de depolanabilmektedir.
- Statik ve dinamik adresleme politikalarında Mikser 3'den çıkan karışım kodları sadece S05'de depolanabilmektedir.
- Statik ve dinamik adresleme politikalarında Mikser 4'den çıkan karışım kodları sadece S06'da depolanabilmektedir.
- Her iki model içinde bir günde bir Mikser 'den çıkan palet miktarı minimum 110'dur.
- Her iki modelde de önceki günden kalan stok miktarları maksimum 4 olarak rastgele atanmıştır.

Varsayımlar:

- Mikser 1'den çıkan karışım kodları; H19, H28, T120, T2287, T2357, T4327, T5297, W06, W63 ve G22'dir.
- Mikser 2'den çıkan karışım kodları; T2227, T2657, T5557, T6747, T6817, T7457, T9487, W02, G34, H05'dir.
- Mikser 3'den çıkan karışım kodları; H12, H45, H55, H73, T1517, T3317, T5387, T6517, T6657, T8067'dir.
- Mikser 4'den çıkan karışım kodları; U04, W62, G50, G53, G59, G61, G72, G85, W04, W74'dür.
- Sabit adresleme politikasında perona palet girişleri ve perondan palet çıkışları rastgeledir.
- Dinamik adresleme politikasında perona girişler önce yarı dolu peronları doldurmaya/forkliftçinin yükünü azaltmak için en yakın olana bırakmaya yöneliktir. Perondan çıkışlar ise yarı dolu palet miktarını azaltmak amaçlı aynı karışım koduna sahip peronlar için daha az dolu perondan, yine aynı karışım koduna sahip eşit kapasiteli peronlar için Miksere en uzak olandan yapılmaktadır.

2. Aşama: Mevcut durum olan statik adreslemenin kodlanması

Statik adresleme için yazılan programın çalışma prensibi;

Aşağıda bahsedilecek maddeler yazılan programın Tab1 kısmında gerçekleşmektedir.

- Adreslenmiş peronlara yukarıda bahsedilen a(i), b(i), c(i) vb. parametreler sayesinde rastgele maksimum 4 adet olacak şekilde önceki günden kalan palet miktarı atanır.
- Her Mikserden rastgele minimum 110 palet çıkacak şekilde palet çıkar.
- Mikserden çıkan paletler, önce yarı dolu olana ata, önce en yakın perona ata vb. gibi durumlara bakılmaksızın rastgele peronlara eklenir. Eğer rastgele gelen sayı ile peronda mevcut palet sayısının toplamı kapasiteyi aşıyorsa yine aynı karışım koduna ait adreslenmiş diğer perona aktarılır.
- Peronda bulunan paletler, rastgele, minimum 3 palet, maksimum 10 palet olacak şekilde çıkartılıp kullanıcı sahaya iletilir.

Statik durumun dezavantajları yazılan bu program sayesinde ayrıntılı olarak şu şekilde açıklanabilir;

- Yarı dolu peron sayısı fazladır.
- Forkliftçi iş yükü en yakın adrese atama durumu olmadığı için fazladır.
- Yeni karışım kodlarına yer bulunamamaktadır.
- Üretimin fazla olduğu dönemlerde depolama alanı bulmak zorlaşmaktadır.

Yukarıda bahsedilen kurallara ve çalışma prensibine göre elde edilen programın ekran görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir.

3. Aşama: İyileştirme olarak sunulan dinamik adreslemenin kodlanması

Dinamik adresleme için yazılan programın çalışma prensibi;

- Rastgele kod atanan peronlara yukarıda bahsedilen a(i), b(i), c(i) vb. parametreler sayesinde rastgele maksimum 4 adet önceki günden kalan palet miktarı atanır.

Mikserden çıkan paletler eğer peronlarda var olan bir koda sahipse ve peron kapasitesi yeterli ise öncelikli olarak bu peronlara atama yapılır. Eğer yine Mikserden çıkan paletle aynı karışım koduna sahip bir peron varsa fakat kapasite olarak yetersiz ise o palet en yakın boş perona atanır. Eğer Mikserden çıkan paletle aynı karışım koduna sahip bir peron yok ise en yakın boş peron bu karışım ile doldurulmaya başlanır. Bunun kodlanmasının sebebi yarı dolu peron sayısını azaltmaktır.

- Her Mikserden rastgele minimum 110 palet çıkacak şekilde rastgele palet çıkar.

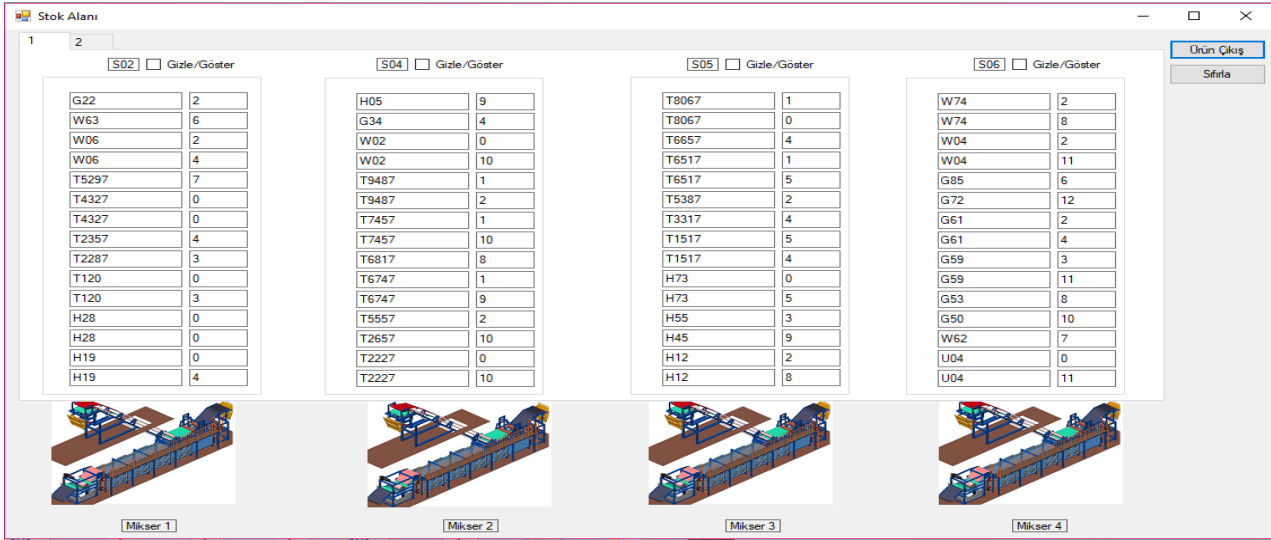
Peronda bulunan paletler, rastgele, minimum 3 maksimum 10 palet olacak şekilde çıkartılır. Fakat burada dikkat edilen bazı kıstaslar bulunmaktadır. Bunlardan ilki, eğer bir karışım koduna ait başka bir peron yoksa aynı statikte olduğu gibi normal bir şekilde çıkışlar sağlanır. İkinci olarak, eğer bir karışım koduna ait başka peronlarda varsa öncelikli olarak yarı dolu peron sayısını azaltmak amaçlı kapasitesi az olandan palet çıkartılarak kullanıcı sahalarına iletilir.

Dinamik adresleme avantajları yazılan program sayesinde ayrıntılı olarak şu şekilde açıklanabilir;

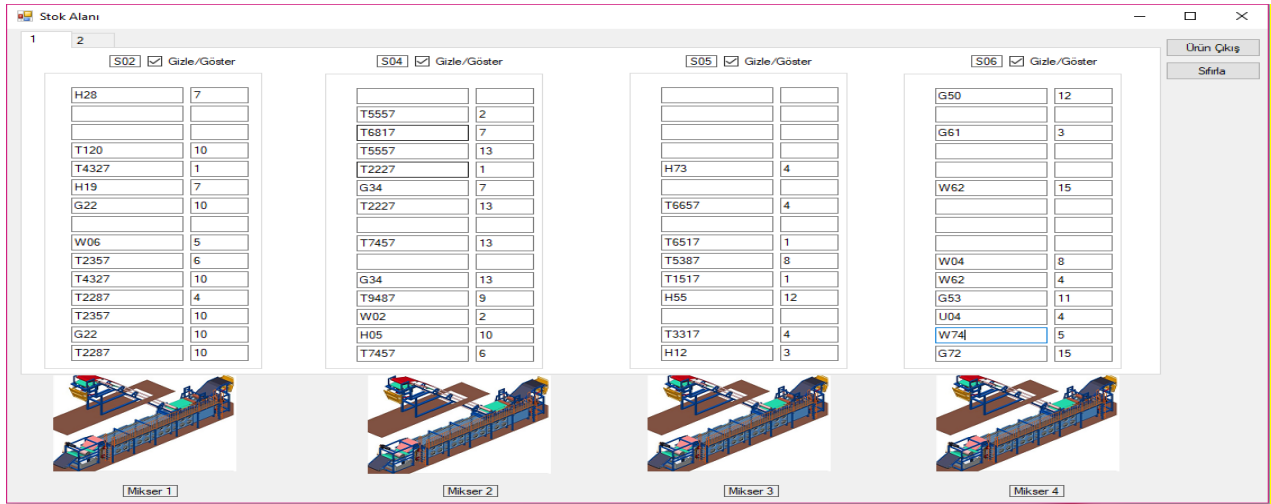
- Hiçbir karışım kodunun kendine ait peronu bulunmamaktadır. Bu sebeple üretimde olmayan veya talebi sık olmayan karışım kodları için yer ayrılmamaktadır.
- En yakın atama prensibi nedeniyle forkliftçi iş yükü azalır.
- Yarı dolu peron sayısı azaltılır. Bu sayede kapasitenin verimli kullanılması sağlanır.
- Yeni karışım kodları için rahatlıkla yer bulunabilir.

Statik adreslemenin dezavantajlarını ortadan kaldırmak, daha verimli bir depo alanı oluşturmak için belirlenen kurallara göre elde edilen programın ekran görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir.

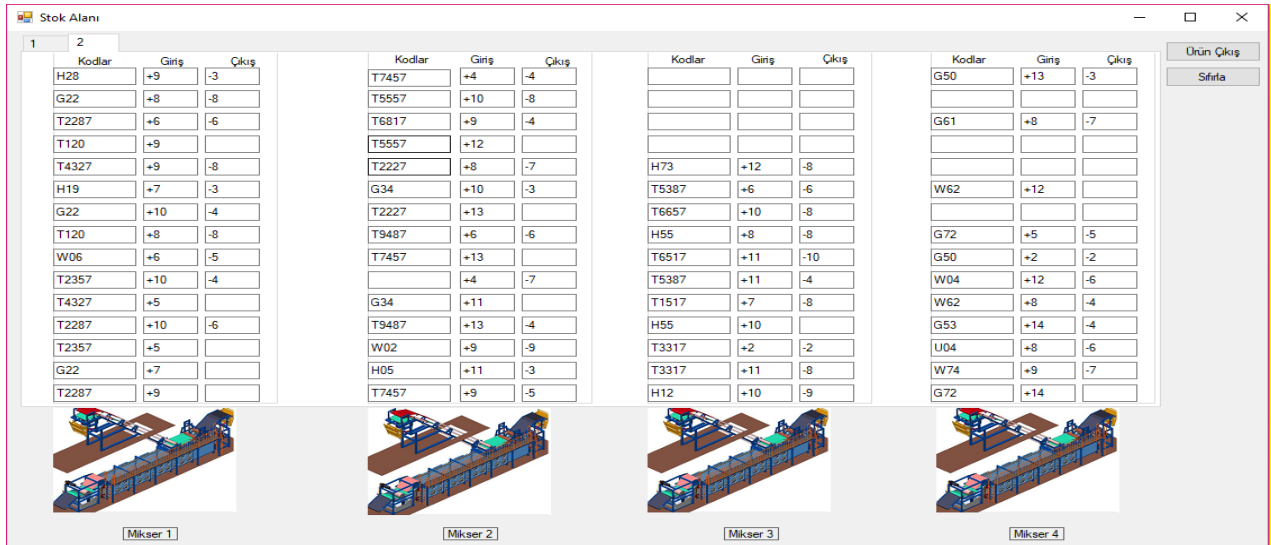
Yazılan her iki programda da Tab2 sayfası raporlama sayfası olarak adlandırılır. Bu sayfa, günlük olarak her perona giren ve çıkan palet sayısını göstermektedir. Giren palet miktarlarını bulurken $tq(i)$ parametresini programdan çekerek, çıkan palet miktarını bulurken $tw(i)$ parametresini programdan çekerek bu işlem gerçekleştirilir. Raporlama sayfası Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 1. Statik adresleme ekran görüntüsü



Şekil 2. Dinamik adresleme ekran görüntüsü



Şekil 3. Dinamik adresleme raporlama

4.SONUÇLAR

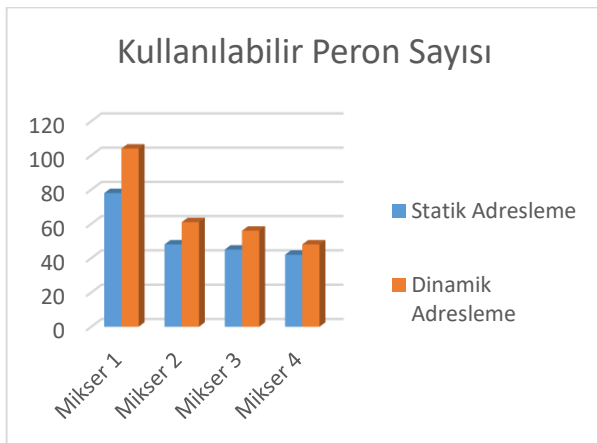
Bu aşamada programlar çalıştırılarak istatistiki veri toplanmıştır. İstatistik analiz yaparken kullanılacak verilerin toplanması için yazılan statik ve dinamik adresleme programları art arda n=30 kez çalıştırılıp elde edilen sonuçlar tablolarda toplanmıştır. Elde edilen özet bilgiler aşağıdaki Tablo 1’de verilmiştir.

Son olarak toplanan veriler analiz edilip, sonuçları karşılaştırılmıştır. Hangi istatistiki analiz metodunun kullanılacağına karar verilirken n=30 olması ve dinamik adreslemenin statik adreslemeye göre ne kadar iyileşme sağladığının saptanmak istenmesi göz önünde bulundurulmuştur. Bahsedilen durumlara uygun olan yöntemin eşli T-testi olmasına karar verilmiştir. Yapılan T-

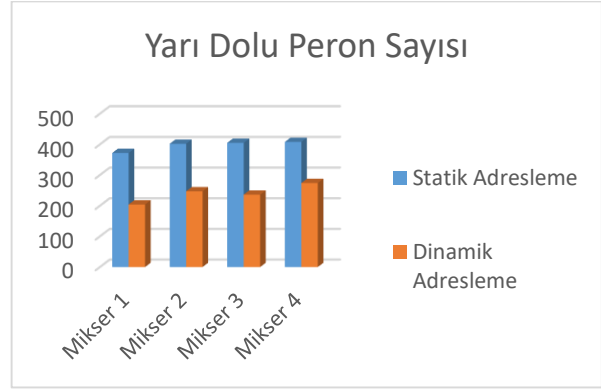
Tablo 1. Yarı dolu peron sayısının karşılaştırılması

Yarı Dolu Peron Sayısı	Statik Adreslemeye Göre	Dinamik Adreslemeye Göre
Mikser 1	372	204
Mikser 2	402	247
Mikser 3	405	236
Mikser 4	408	274

testi sonucunda yarı dolu peron sayısı için elde edilen değer 0,000292881 olarak bulunmuştur. Bulunan sayı 0,05’den küçük olduğu için şu yorum yapılabilmektedir; dinamik adresleme ile statik adresleme arasında önemli derecede bir fark vardır. Bu farklar Şekil 4 ve Şekil 5’deki grafiklerde göz önüne serilmiştir.



Şekil 4. Kullanılabilir peron sayısının Mikser bazında karşılaştırılması



Şekil 5. Yarı dolu peron sayısının Mikser bazında karşılaştırılması

Bu çalışmasının sonucunda elde edilen çıktılar için şunlar söylenebilir; kullanılan dinamik programlama yöntemi ile yazılan program ile yarı dolu peron sayısı azaltılmış, bu sayede kapasitenin daha verimli kullanılması sağlanmıştır. Statik adreslemedeki yarı dolu peron sayısı 1587 iken dinamik adresleme sayesinde bu sayı 961 perona gerilemiştir. Dinamik adresleme algoritması yazılırken, forkliftçi iş yükünü azaltmaya yönelik Miksere en yakın perona palet atanması stratejisi göz önünde bulundurulmuştur. Dinamik adresleme sayesinde kullanılmayan karışım kodları için yer ayrılmamaktadır. Bu sayede kapasite statik adreslemeye göre daha verimli kullanılmaktadır. Kullanılabilir peron sayısı dinamik adresleme sayesinde 213 perondan, 269 perona çıkartılmıştır. Bu sayede yeni karışım kodları için depolama alanı bulmak kolaylaşmıştır. Aynı zamanda benzer yerleşim problemlerinde dinamik programlama ile etkili sonuçlar alınabileceği gibi başka yaklaşımlar ile de kıyaslamalar yapılarak araştırmacılara yeni araştırma alanları sağlayacaktır.

5.KAYNAKÇA

- [1] C.H. Akarsu, “Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri İçin Genetik Algoritma Tabanlı Hipersezgisel Yaklaşım”, İstanbul Üniversitesi, 2018.
- [2] A. Alp, H. Çerçioğlu, M. A. Tokaylı, B. Dengiz, “Stokastik Montaj Hattı Dengeleme: Bir Tavlama Benzetimi Algoritması”, Endüstri Mühendisliği Dergisi Cilt: 12 Sayı: 3-4 Sayfa: (32-51), 2016.
- [3] M. Arıkan, S. Erol, “Bir Tabu Arama Uygulaması: Esnek İmalat Sistemlerinde Parça Seçimi ve Takım Magazini Yerleşimi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt No: 21 No:2 221-227, 2006.
- [4] K.R. Baker, & D. Trietsch, Principles of Sequencing and Scheduling, Wiley, 2016.
- [5] R. Conway, W. Maxwell, & L. Miller, Theory of Scheduling, Addison-Wesley, 2016.
- [6] T. Eren, E. Güner, “Çok Ölçütlü Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri İçin Bir Literatür Taraması”, Pamukkale

Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 10, Sayı 1, 19-30, 2004.

[7] T. Eren, E. Güner, “Tek ve Paralel Makineli Problemlerde Çok Ölçütlü Çizelgeleme İçin Bir Literatür Taraması”, J. Fac.Eng.Arch. Selcuk Univ., Volume.21, Number.1-2, 2006.

[8] İ. Gerdemeli, Transport Tekniği Ders Notları 3, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2014.

[9] Ö. İşçi, S. Korukoğlu, “Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Yöneylem Araştırmasında Bir Uygulama”, Yönetim ve Ekonomi, Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt 10, Sayı 2, 191 – 208, 2003.

[10] S.M. Johnson, “Optimal two- and three-stage

production schedules with setup times included”, Naval Research Logistics, Vol.1, Issue 1, 61-68, 1954. <https://doi.org/10.1002/nav.3800010110>

[11] İ. Küçükkoç, Üretim ve Servis Sistemlerinde Planlama ve Çizelgeleme Ders Notları, Balıkesir Üniversitesi, 2017.


[12] M. Held and R. M. Karp, “A Dynamic Programming Approach to Sequencing Problems,” Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, Vol. 10, No. 1, 1962, pp. 196-210. doi:10.1137/0110015

[13] T. Yenyayla, Malzeme Atama Yöntemleri ve Çoklu Depoya Sınıflandırılmış Aile Grubu Malzeme Atama Modeli, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, 2014

Demiryolu Akslarının Ultrasonik Muayene Yöntemi ve Phased Array Yöntemi ile Tahribatsız Muayenesi

¹ Yıldız Yaralı Özbek, ²Serhan Emre

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya, yyarali@sakarya.edu.tr, 

²Türkiye Vagon Fabrikaları Müdürlüğü, Sakarya (TÜVASAŞ), 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 06.06.2018

Kabul Tarihi: 15.03.2019

Öz

Demiryolu taşımacılığının güvenlik felsefesi açısından, dinamik yük altında çalışan aksların düzenli muayenesinde hasara yol açacak korozyon çukurları ve yorulma çatlaklarının tespiti çok önemlidir. Alınması gereken kalite kontrol önlemleri, düzenli tahribatsız test kontrol yöntemleri ile güvenlik seviyesi geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada demiryolu akslarının ultrasonik testi için gelişmiş ultrasonik muayene yöntemi olan Phased array yönteminin konvensiyonel ultrasonik muayene yöntemine karşı avantajları nicel olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: demiryolu, aks, ultrasonik, phased, tahribatsız

Using Conventional Ultrasonic Testing and Phased Array Method for Nondestructive Testing of Railway Axles

¹ Yıldız Yaralı Özbek, ²Serhan Emre

¹Sakarya University, Metallurgy and Materials Engineering Faculty, Sakarya, yyarali@sakarya.edu.tr

² Turkey Wagon Factory, Sakarya (TÜVASAŞ)

Abstract

For the safety assessment of railway transportation with regular inspection of the axles working underdynamic loads, detection of corrosion pits and fatigue cracks which lead to damage is important. Quality control measures should be taken, with regular non-destructive testing methods are being developed safety level. In this study, the advantages of phased array method which is for advanced ultrasonic test of railway axles over conventional ultrasonic test method quantitatively.

Keywords: railway, axle, ultrasonic, phased, nondestructive

1.GİRİŞ

Ülkemizde hat iyileştirme ve yeni hat inşaatı ile hızlı tren işletmeciliğine geçilmektedir. Güvenilir kullanım şüphesiz her işletmenin hedeflerinin başında gelir. Güvenilir işletimin şartları ise uygun mamulün (ray, araç) tedarik edilmesi, montaj kalitesinin temini ve işletim sırasında vasıflı personel ve uygun teçhizatla bakım ve bu kapsamda tedarik ve işletimde ray ve araçlarda gerekli tahribatsız muayene faaliyetlerinin gerçekleştirilmesidir.

Yeni ve iyileştirilmiş tahribatsız muayene denetim methodları aksların güvenli hizmet şartlarını garantilemek için kullanılmaktadır. Aks üzerindeki kesit değişim yerleri, özellikle aks ve tekerlek arasındaki geçiş bölgesi çatlama

karşı çok daha zayıftır. Tüm bunlara ek olarak, dolu aksın toplam hacmi de güvenli kullanım şartları gereğince test edilmelidir.

Tahribatsız muayene yöntemlerinin önemli metodlarından olan Ultrasonik muayene yöntemi malzemenin hacimsel olarak incelenebildiği, hataların türünün, boyutunun ve konumunun tespit edilebildiği bir yöntemdir.

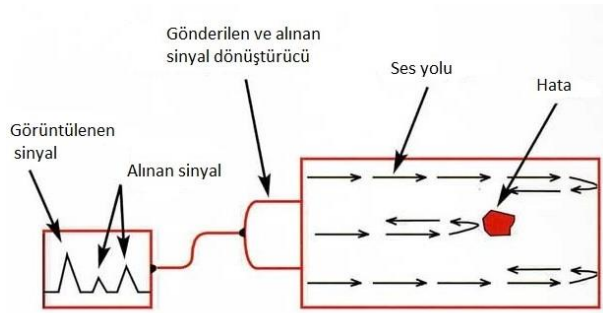
Günümüzde ultrasonik muayene çoğunlukla darbe yankı tekniği ile gerçekleştirilir. Ses darbesi muayene parçasına gönderilir ve yansıyan darbe algılanır. Darbe, oluşum yerine geri dönerse bu cihaz üzerinde sinyal olarak tespit edilir. Operatör açısından önemli olan aldığı sinyalin gerçekten bir

hatadan mı geldiği yoksa parça geometrisinden yada farklı yönlerden yansıyan ses dalgalarının oluşturduğu hayalet yankılar denilen ses dalgalarından alınan sinyaller mi olduğunun ayırt edilebilmesidir.

Phased array yöntemi de aynı prensipde çalışıyor olsa da, bu yöntemde gönderilen ses dalgalarının şeklini ve yönünü kontrol eden bilgisayar yazılımları kullanılarak hataların daha hassas belirlenmesini sağlayan dinamik odaklama ve gerçek zamanlı görüntüleme mümkün olmaktadır. Phased array propları birbirinden bağımsız olarak görev yapan çok sayıda elementten oluşur. Phased array yönteminin en önemli özelliği bu bağımsız elementlerin yazılım kontrolü ile uyarılmasıdır. Bu çalışmanın amacında aks üzerindeki tekerlek ve fren sistemi sökülmeden aksın tamamının muayene edilmesi esas alınmıştır. Bu amaçta aynı noktaları muayeneler ile konvensiyonel ultrasonik muayene ve phased array muayenesi sonuçları karşılaştırılmış ve incelenmiştir.

1.1. Ultrasonik Muayenin Temel Prensibi

Tahribatsız muayene konusunun dallarından biri olan ultrasonik muayene; malzemelerin analiz uygulamalarında geniş bir kullanım alanına sahip çok yönlü bir muayene yöntemidir. Ultrasonik muayene malzeme içerisindeki hataların ve hata bölgesinin yerinin tespit edilmesinde, ayrıca bunların akustik olarak ekrana aktarılmasıyla bu hataların değerlendirilmesinde, parçaların kalınlık ölçümünde kullanıldığı gibi, yüksek frekanslı ses dalgalarıyla katı ve sıvıların temel mekanik, yapısal ve bileşim özelliklerinin ölçümlerinde de kullanılabilir. Ultrasonik muayene cihazında kısa darbe süreli yüksek bir gerilim oluşturulur, bu gerilim probun kristalinde insan kulağının işitm sınırı dışında >16.000 Hz'lik bir mekanik salınımına neden olur. Bu salınım muayene parçasında ses dalgaları şeklinde yayılır. Ses dalgası sınır yüzeyden yansır ve aynı yolda kristle geri döner. Alınan ses dalgası cihaz ekranında görünür hale getirilir. Bu şekilde gönderilen darbe ve belirli bir ses mesafesindeki yansıtıcıdan alınan yankı ile cihazın doğru olarak ayarlanması mümkün olur. Konumlandırma için formül veya diğer yardımcıları kullanılarak muayene parçasındaki yansıtıcının yeri tespit edilebilir.



Şekil 1. Ultrasonik muayenede hata tespiti.

1.1.1 Dalga Tipleri

Ses malzemede boyuna ve enine dalgalar halinde yayılır. Boyuna dalga vakum hariç her ortamda, enine dalga ise katı ortamda yayılır. Sesin yayılma hızı (c) malzeme cinsine ve dalga tipine bağlıdır. Ses hızı ve frekans arasında aşağıdaki bağıntı mevcuttur;

$$c = \frac{\lambda}{T} \quad (2)$$

$$c = \lambda \times f \quad (3)$$

Bu bağıntıda c; ses hızı (m/sn), f; frekans (1/sn), λ ; dalga boyu (mm)'dur.

Ses dalgaları malzemeden geçerken tane sınırları ve safsızlıklar nedeniyle az veya çok zayıflarlar. Ses malzeme içerisinde bir ses demeti halinde ilerler, ses demetinde artan mesafe veya derinlik ile sesin basıncında ya da şiddetinde hangi azalmanın olacağı mesafenin karesi kuralı ile açıklanır.

Kazanç değeri ve aynı zamanda ses zayıflaması bir oranla desibel olarak aşağıdaki bağıntılar ile verilir.

$$\alpha = \frac{20 \cdot \log(A_2/A_1)}{s_2 - s_1} \quad (4)$$

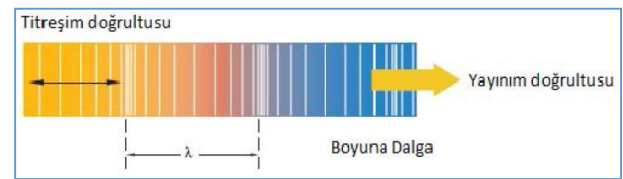
Burada A2 ve A1 sesin genliğini göstermektedir.

Ses mesafesi s_1 'den s_2 'ye doğru değişirse ses genliğindeki zayıflama (α) aşağıdaki gibi belirlenir.

Örnek olarak genlik (yankı yüksekliği) yarıya düşerse s_1 mesafesinden s_2 mesafesine doğru ses zayıflaması 6 dB olur.

Ultrasonik muayenede temel olarak enine ve boyuna olmak üzere iki çeşit dalga tipi vardır.

Boyuna dalgalarda yayılım doğrultusu ile titreşim doğrultusu Şekil 2' de görüldüğü gibi aynıdır.



Şekil 2. Boyuna dalga.

Enine dalgalarda yayılım doğrultusu ile titreşim doğrultusu Şekil 3'de de görüldüğü gibi birbirine diktir.



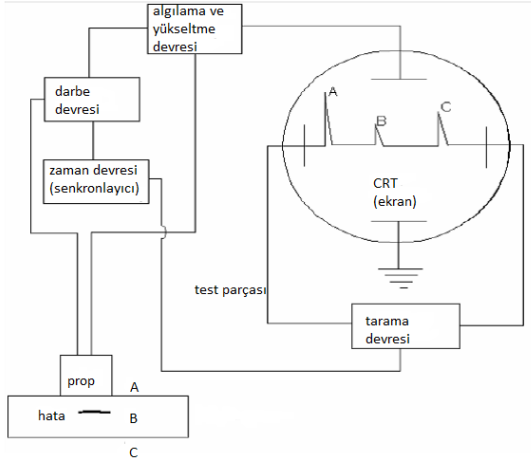
Şekil 3. Enine dalga.

Sınırlı yayılma ortamlarında enine ve boyuna dalgaların kombinasyonu olan Rayleigh Dalgası (Yüzey Dalgası),

Lamp Dalgası (Platten Dalgası) gibi birçok dalga tipi de meydana gelir.

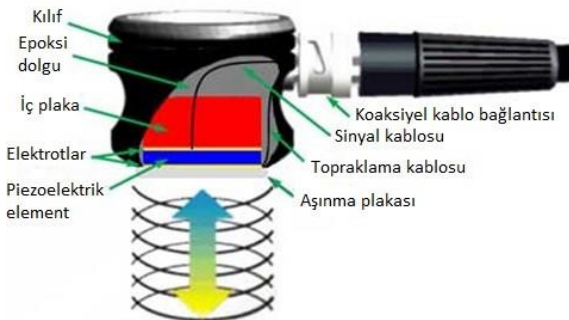
1.1.2 Ultrasonik Muayene Yöntemi Bileşenleri

Ultrasonik muayene cihazı, esas itibarıyla duyarlı olarak zaman ölçen bir osiloskoptur. Darbe - yankı tipi bir ultrasonik cihazın blok diyagramı Şekil 4'de verilmiştir. Katot ışını tüpü (CRT veya ekran), tarama devresi, darbe devresi, algılama-yükseltme devresi, zaman devresi ve prob bir ultrasonik cihazın temel elemanlarını oluşturmaktadırlar.



Şekil 4. Ultrasonik muayene cihazının şematik gösterimi.

Dalga üretiminde piezoelektrik olayından faydalanılır. Piezoelektrik malzemesine dış etki ile basınç uygulanarak deforme edilirse yüzeylerinde elektriksel yük oluşur. Eğer basınç kuvvetinin yönü değiştirilerek çekme kuvveti uygulanırsa yüzeylerdeki elektrik yüklerinin işareti değişir. Bu olay tersinirdir ve piezoelektrik elemanın iki yüzeyine elektrod yerleştirilerek elektrik yükü uygulanırsa kristalin şekli değişir. Kristale uygulanan elektrik yükü sürekli değiştirilirse piezoelektrik malzemede titreşim oluşturulur. Elektrik yükü ile mekanik basınç birbirleri ile orantılıdır. Piezoelektrik özelliğe sahip birçok malzeme bulunmaktadır. En çok kuvars ve lityum sülfat gibi doğal malzemeler ve baryum titanat ve polisitalin keramik gibi yapay malzemeler kullanılır.



Şekil 5. Tek kristalli normal bir probun yapısı.

1.1.3 Ultrasonik Muayenenin Uygulanması

Ultrasonik muayenede uygulanan teknikler üç parametre dikkate alınarak sınıflandırılabilir. Bunlar; ölçülmek istenen fiziksel büyüklük (genlik, faz, zaman), ses üretim şekli (sürekli, darbe) ve süreksizliklerin etki şekli (yansıtıcı, gölgeleyici, ses üretici) olarak yapılabilir. Muayene tekniği bu parametreler göz önüne alınarak seçilir [2].

Darbe yankı yöntemi, Malzemelerin ultrasonik muayenesinde en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntem, prob tarafından yayılan ses dalgalarının malzeme içindeki süreksizliğe çarpıp geri yansiyarak tekrar proba ulaşması esasına dayanır. Bu yöntemde ölçülen büyüklükler ses basıncı genliği ve darbenin girdap dönüş süresi olup süreksizlik bir yansıtıcı olarak etki eder.

Bu çalışmada da demiryolu aksı ultrasonik muayenesinde darbe yankı yöntemi uygulanmıştır.

1.2. Phased Array Yöntemi Uygulama Prensipleri

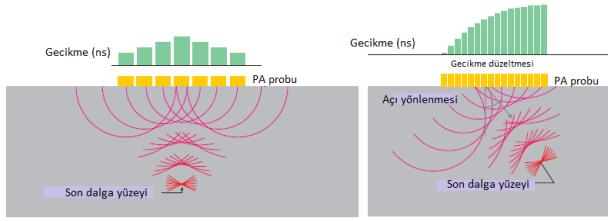
Phased array tekniğinde gönderilen ses dalgalarının şeklini ve yönünü kontrol eden bilgisayar yazılımları kullanılarak hataların başlangıç ve bitiş noktalarının daha hassas belirlenmesini sağlayan dinamik odaklanma ve gerçek zamanlı görüntüleme mümkün olmaktadır [3].

Hataların tespit edilmesi ve analiz edilmesi için kural olarak farklı ancak belirli ses alanı özelliklerine (normal, açılı, odaklayıcı) sahip bir çok probun kullanılması gerekir. Gerekli prob sayısı test edilecek parçanın geometrisine, olası malzeme hatalarının konum ve yönelmelerine ve muayene parçasına yaklaşılabirlik durumuna bağlıdır. Phased Array tekniği phased array problemlerindeki her bir elementin elektronik olarak uygun bir şekilde yönelmesiyle ses alanına etki edilerek bir çok klasik propla yerine getirilebilecek fonksiyonların sağlanmasını mümkün hale getirir.

1.2.1 Elektronik Ses Alanı Yönetim Prensipleri

Phased array problemleri birçok elementten oluşan ultrasonik kristale sahiptir, bu şekilde her element ayrı ayrı ultrasonik dalga gönderebilir ve alabilir. Bunun için her element bir elektronik yapı grubuna bağlanmıştır, bu bağlantı gönderici durumunda elementin programlanabilir gecikme süresiyle uyarılmasını sağlar.

Phased array tekniği probundaki elementin yönetimiyle uygun gecikme süresinin ayarlanmasıyla ses alanı salınır veya odaklanır. Bu salınım lineer gecikme süresiyle odaklama ise simetrik kare şeklinde quadratic gecikmeyle gerçekleştirilir. Lineer ve kare şeklinde gecikmelerin üst üste binmesiyle ses alanı aynı anda salınır ve odaklanır (Şekil 6).



Şekil 6. Elektronik ses alanı yönetim prensibi.

Alıcı durumunda malzemeden geri gelen ultrasonik sinyalleri kristal elementlerine farklı zamanlarda ulaşır. Her element için alma sinyali dijitalleştirilir ve sonunda her elementin gecike süresi verici durumunda denkleştirilir. Sinyal işlenmesinin son aşamasında zaman düzeltmesi yapılmış sinyaller ilave edilir.

1.2.2 Phased Array Yönteminde Tarama Teknikleri

Malzeme içindeki hata ve süreksizliklerin güvenilir şekilde belirlenmesi uygulanan tarama modeli ve uygun bir prob seçimine bağlıdır. Muayene otomatik, yarı- otomatik veya manuel olarak uygulanabilir. Otomatik uygulamada prob motorla kontrol edilen bir taşıyıcı üzerindedir, yarı-otomatik uygulamada prob elle kontrol edilen bir taşıyıcıya bağlanmıştır, manuel uygulamada ise probun elle hareket ettirilmesiyle muayene gerçekleştirilir. Probun hareket ettirilme şekline göre farklı tarama yöntemleri bulunmaktadır. Otomatik ve yarı-otomatik uygulamalarda kullanılan başlıca tarama yöntemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [4].

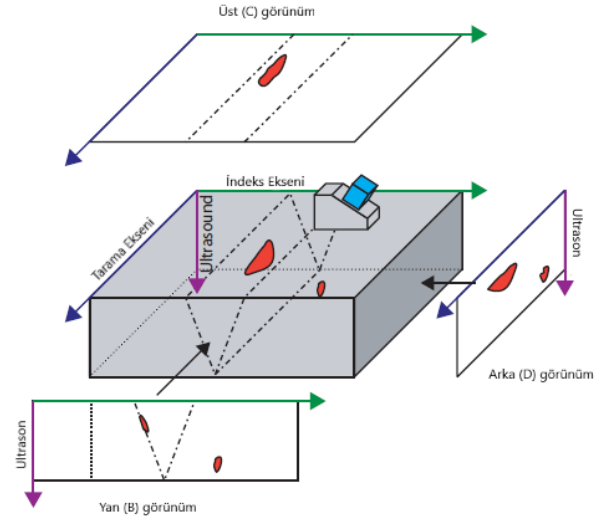
Lineer tarama tek eksen üzerinde probun hareket ettirilmesiyle gerçekleştirilir. Genelde kaynak bölgelerinin incelenmesi ve korozyon haritalandırılmasında kullanılır. Satır satır taramada probun adım adım hareket ettirilmesi gerekirken lineer taramada ise aynı bölge çok fazla sayıda piezoelektrik elemana sahip olan prob ile taranması sayesinde tek eksen üzerinden hareketle ve adım adım taramaya göre çok daha hızlı olarak gerçekleştirilmektedir.

Sektörel tarama ses dalgasının belirlenen açı aralığında ve belirlenen açı adımlarında farklı darbe zamanlarıyla salınım yaparak bir alanı tarama yöntemidir. Genellikle dolu malzemelerde hacim taramalarında kullanılır.

1.2.3 Phased Array Yönteminde Görüntüleme Teknikleri

Ultrasonik dalgalarla elde edilen görüntüler tarama parametrelerine göre dalganın aldığı yol tarafından belirlenir. En çok kullanılan görüntüleme teknikleri dalgaların malzeme üzerindeki davranışlarının iki boyutlu olarak ekrana aktarılmasıyla elde edilen B, C ve D ekran teknikleridir. Şekil 7'de görüldüğü gibi bu ekranlar muayene

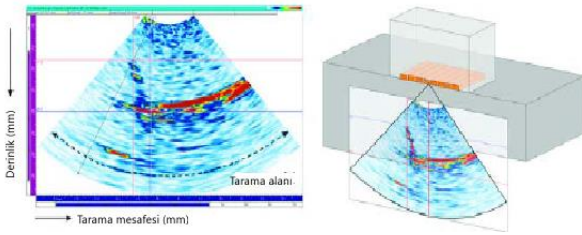
parçasının önden (D-ekran), yandan (B-ekran) ve üstten (C-ekran) görüntüsünün cihaz ekranı üzerinde iki boyutlu olarak görüntüsüdür. B ve D ekranlarda parça içindeki hatanın konumuna göre derinliği belirlenebilir [5].



Şekil 7. Phased array görüntülerinin parça üzerindeki karşılıkları.

Phased array yönteminde konvansiyonel ultrasonik muayenenin temelini oluşturan A-ekran da kullanılır. A-ekran gönderilen ultrasonik dalganın büyüklüğünü ve aldığı yolu gösteren bir frekans grafiği şeklinde görülen ekrandır. Burada dönen yankının büyüklüğüne göre ekran üzerinde gelen yankı dalgaları görülür ve buradan malzeme içindeki hata büyüklüğü ve konumu hakkında yorum yapılabilir. Yankı genliği dikey ekseninde, dalga geçiş zamanı da yatay ekseninde yer almaktadır.

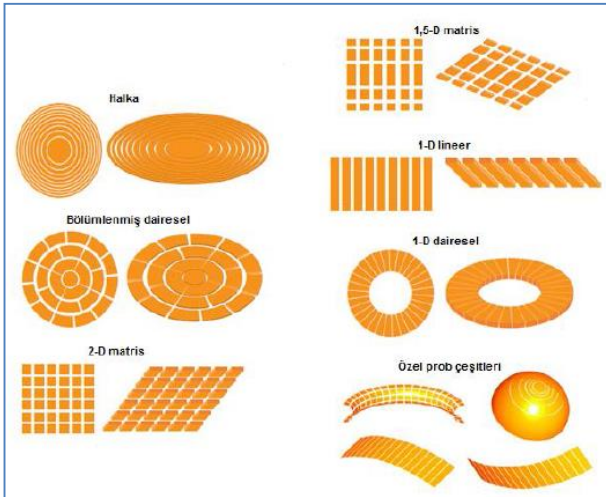
Bunların dışında phased array yönteminde S-ekran ve polar görüntü teknikleri de kullanılmaktadır. S-ekran tekniği, Şekil 8'de görüldüğü gibi sektörel veya belli istikamet açısındaki tüm A-ekran görüntülerinin iki boyutlu olarak görüntülenmesidir. Probun hareket ettirilmeden kristal dizisi boyunca elektronik tarama ile malzemenin kesitsel görüntüsü çıkarılabilir. Ardı ardına kristaller önceden belirlenmiş gruplar halinde etkin hale getirilir ve probdaki tüm kristallerin kapladığı alan boyunca doğrusal tarama yapılır. Prob hareket ettirilmiş gibi gerçek zamanlı olarak taranan bölgenin kesitsel görüntüsü alınabilir. Bu yöntem özellikle otomatik olarak yapılan kaynak muayenesinde oldukça kullanışlıdır. Taban bloğu veya takozu takılan prob belirlenen açılarda enine dalgalar oluşturabilir ve tarama esnasında probun kaynak dikişinden uzaklaştırılmasına gerek kalmadan aynı eksen üzerinde hareketiyle kaynak bölgesinin verileri alınabilir. Polar görüntü ise boru gibi silindirik parçaların iki boyutlu olarak görüntülerinin alınmasıdır.



Şekil 8. S-ekran görüntüsü.

1.2.4 Phased Array Yönteminde Kullanılan Prop Çeşitleri

Piezokompozit malzemelerin geliştirilmesi ve mikro işleme teknolojisindeki gelişmelerle beraber çok farklı yapıda problemlerin üretimi imkânli hale gelmiştir. Prob seçiminde, muayene yapılacak bölgeye gönderilecek dalgaların özellikleri, kontrol edilecek bölgenin derinliği ile probun kullanılacağı bölgeyle olan açısal konumu, muayene yapılacak parçanın yüzey durumu gibi faktörler dikkate alınır. Genelde lineer problemler muayene yapılacak bölgeye prob takozu denilen özel parçalarla tespit edilir. Bu takozlarla gönderilen dalgaların istenilen açıda ve erteleme süresinde gönderilmesi sağlandığı gibi farklı bölgelerde aynı probun kullanılmasını, örneğin farklı boru çaplarında farklı içbükey yarıçapına sahip takozların yardımıyla, imkânli hale getirir. Phased array yönteminde kullanılan temel prob çeşitleri Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 9. Phased array prob çeşitleri

Bölümlenmiş dairesel ve halka yapısındaki problemler iç içe konumlandırılmış kristallerden oluşmaktadır. Bu problemlerle ses demeti eksenine göre simetrik bir ses basıncı oluşturulabilir ve parça içerisinde istenilen noktaya odaklanma sağlanabilir. Lineer veya başka bir deyişle doğrusal sıralı problemler ise en yaygın olarak kullanılan prob tipidir. Bunun en büyük nedeni bu problemlerin programlanmaları ve malzeme içerisine gönderilen ses demetinin kontrol edilmesinin diğer prob tiplerine göre daha kolay olmasıdır. Bu problemlerde kristaller doğrusal olarak yerleştirilmişlerdir. Boyuna, enine ve yüzey dalgası üretimi mümkündür.

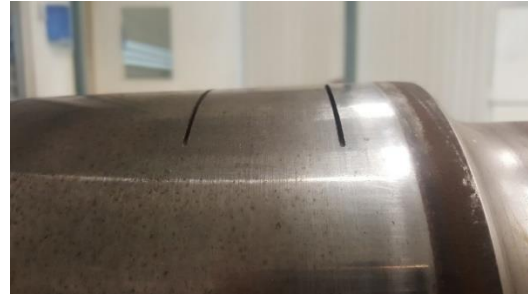
Matris şeklinde dizilmiş düzlemsel dizilimli problemler lineer problemlere göre daha hassas bir odaklanma imkânına sahiptir. Ancak bu problemlerin imalat zorluğundan kaynaklanan yüksek maliyeti ve programlamasının daha zor olmasından dolayı kullanımı lineer problemlere göre daha azdır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

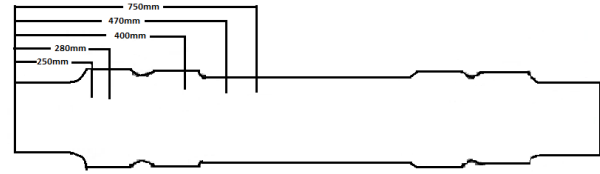
DeneySEL çalışmalar; tren aksları üzerinde veya içerisinde gözle görülemeyen hata veya süreksizlikleri tespit edebilmek için ultrasonik yöntem ve Phased array yönteminin uygulanmasını kapsamaktadır.

Konvensiyonel ultrasonik muayene ve phasedarray yönteminin hataların tespit edilmesi ve ayırt edilebilirliği yönünden karşılaştırılması amacıyla aks üzerinde farklı çap ve mesafe bölgelerinde 3 mm derinliğinde çentikler açılarak suni hatalar oluşturulmuştur.

Şekil 10, 11, ve 12'de deney düzenekleri görülmektedir.



Şekil 10. Aks üzerinde oluşturulan 3 mm derinliğindeki hatalar.



Şekil 11. Aks üzerinde hataların konumları.

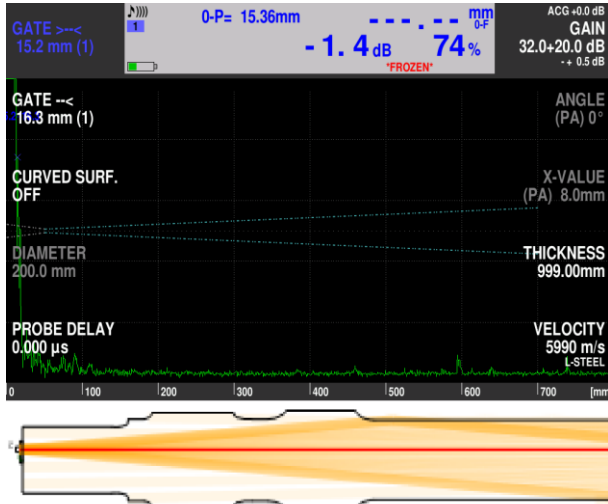
Muayene aksın her iki yan yüzeyinde prob 360° çevresel olarak döndürülerek gerçekleştirilmiştir.



Şekil 12. Aksın muayene edilmesi.

3. BULGULAR

3.1 Ultrasonik Muayene Yöntemi İle Aks Muayenesi



Şekil 13. 0° prop ile ultrasonik muayene görüntüsü ve şematik gösterimi.

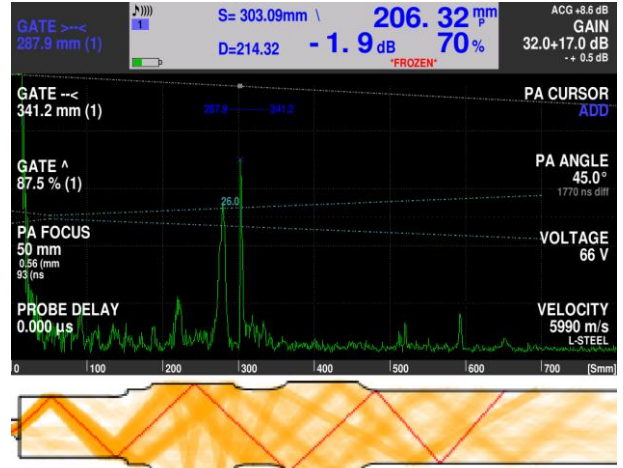
0° prop ile ultrasonik muayenede muayene parçasında ultrasonik ses dalgası çıkış noktasından itibaren herhangi bir hata veya geometrik yansıtıcıya çarpmadığından dolayı arka cidara doğru ilerleyerek parça içerisinde sönümlenmektedir (Şekil 13). Şematik görünüm üzerinde incelendiğinde 450 mm uzaklıkta ufak bir geometrik sinyal görünmektedir. Bundan sonra 600 mm uzaklıkta alınan sinyal hayalet yankı denilen parça içerisindeki ultrasonik ses dalgalarının yansiyarak oluşturduğu sinyaldir.



Şekil 24. 30° prop ile ultrasonik muayene görüntüsü ve şematik gösterimi.

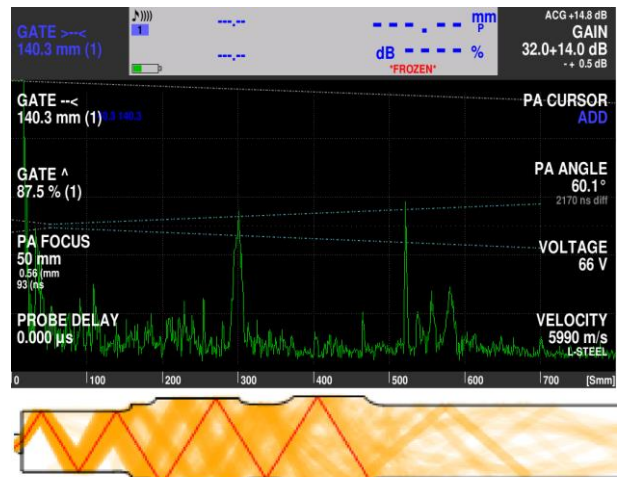
Şekil 14'de 30° ultrasonik prop ile aks muayenesinde ultrasonik ses dalgası şematik olarak görülebileceği gibi yaklaşık 100 mm mesafeden yansiyarak 280 mm hatanın

olduğu bölüme geldiği için bu hata net olarak görülebilmekte ancak yanında olan 250 mm de ki hatadan ultrasonik ses demeti çapının dışında kalmasından dolayı sinyal alınamamıştır. Bunun dışında kalan sinyaller parça geometrisi ve ses dalgasının açılı gönderilerek farklı bölgelerden yansması nedeniyle parazit olarak görülmektedir.



Şekil 35. 45° prop ile ultrasonik muayene görüntüsü ve şematik gösterimi.

Şekil 15'de verilmekte olan 45° prop ile ultrasonik muayenede ses dalgası yaklaşık 50 mm ve 130 mm çift sekmede yansiyarak 250 mm ve 280 mm uzaklıktaki iki hatanın olduğu bölgede 280 mm deki hatadan daha yüksek sinyal almak kaydıyla iki hata da tespit edilebilmiştir. Bununla beraber 300 mm uzaklıkta aks geometrisinden kaynaklanan sinyalde görülebilmektedir. Sonraki hataların ultrasonik dalğanın aks içerisinde birçok yerden yansması sebebiyle hayalet yankılar ve parazitler arasında ayırtılması mümkün olmamaktadır.



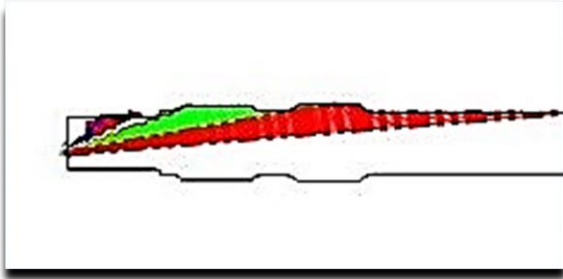
Şekil 46. 60° prop ile ultrasonik muayene görüntüsü ve şematik gösterimi.

Şekil 16'da 60° prop ile ultrasonik muayenede ultrasonik ses dalgası parça geometrisine göre birçok bölgeden

yansıdığından dolayı çok fazla hayalet yankı ve parazit oluşmaktadır. 300 mm uzaklıktaki parça geometrisinden gelen sinyal baskın olarak görülmekte ancak hata sinyallerinin bu parazitler arasından ayırt edilmesi mümkün olmamaktadır. Muayene parçasının doğal sınırları (arka cidar, kenar) ses dalgasını parça içerisindeki hata gibi yansıtır ve darbe süreleri veya ses yolları ile hata bulgusundan ayırt edilebilir. Bu ayırım çoğu kez ilave prop pozisyonu ile yapılabilir. Düzlem veya dik açılı yüzeylerden ses çok iyi yansımaz. Bazı geliş açılarında örneğin yaklaşık 60° enine dalga geliş açısında, köşe etkisi meydana gelmez, neredeyse tamamı çıkış noktasına geri dönmeyen ve gelen ses dalgasına dik boyuna dalgaya dönüşür

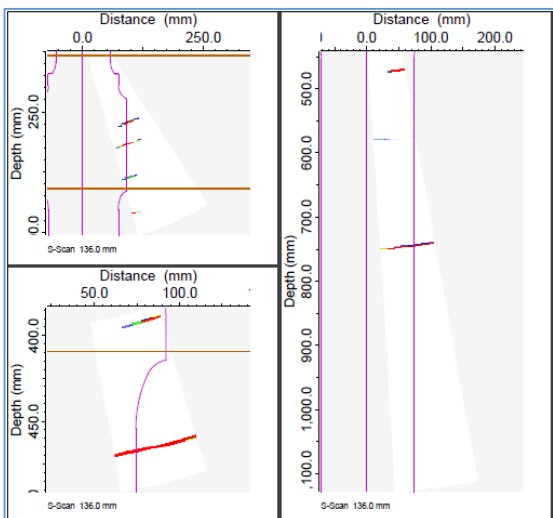
3.2 Phased Array Yöntemi Ile Aks Muayenesi

Muayene TD Handy Scan RX Phased Array muayene cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Tarama probu olarak 16 elementli Olympus 5L16A-1 probu kullanılmıştır. Şekil 17'de görüldüğü üzere her farklı çap bölgesinde sektörel tarama ile ses demeti odaklanarak aksın toplam hacminin muayene edilmesi amaçlanmıştır. Tarama bölgelerini belirleme çalışmasında S-Beam Tools yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 57. Phased array tarama bölgeleri.

Muayene sonrası test raporu Şekil 18'de gösterilmiştir. Aks üzerinde 250 mm, 280 mm, 400 mm, 470 mm ve 750 mm mesafelerinde oluşturulmuş olan hatalar test raporunda görülebilmektedir.



Şekil 186. PhasedArray muayenesi test raporu.

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada üstün özelliklere sahip ve yaygın olarak kullanılan geleneksel ultrasonik metod ile yeni ve daha gelişmiş bir metdo olan phase array yöntemi karşılaştırılmıştır. Her iki yöntemde hacimsel hataların tespitinde kullanılmaktadır.

Konvansiyonel ultrasonik muayenede monokristal bir prob kullanılarak dalgalar gönderilir. Bazı durumlarda ise hem alıcı hem verici görevini ayrı elemanlarla yapan çift elemanlı problemler kullanılır. Ancak phased array yönteminde kullanılan problemler birbirinden bağımsız olarak görev yapan çok sayıda elemandan oluşur. Bu eleman sayısı 16'dan 256'ya kadar ulaşabilmektedir. Endüstride genellikle çalışmamızda da kullandığımız 16 elementli problemler kullanılır. Muayene duyarlılığını arttırmak için element sayısı yüksek olan problemler kullanılabilir ancak yüksek maliyetler sebebiyle çok tercih edilmez.

Phased array yönteminde elementlerin farklı zamanlarda ateşlenmesiyle sağlanan lineer tarama ve sektörel taramada dinamik odaklama kabiliyeti sayesinde özellikle büyük parçalarda meydana gelen konvansiyonel ultrasonik muayenedeki ses demetinin açınım açısından kaynaklanan sesin dağılmasının önüne geçilmiştir.

Phased array yönteminin tek prop ile çok açılı ses dalgası uygulanabilmesi, ses demeti yönünde ve tarama yönünde mesafe kaydı işlenmiş veri ile üç boyutlu değerlendirme olanağı, kolay hata bulma ve geniş raporlama özelliği ile operatöre bağımlılık azalmaktadır. Farklı ses demetleri oluşturularak odaklama yeteneği ile konvansiyonel ultrasonik muayenede oluşan özellikle büyük parçaların muayenesinde ses demetinin dağılması sebebiyle hatanın tespit edilememesi gibi problemlerin önüne geçilmiştir. Prop sistemlerinin boyutlarının küçük olması kısıtlı muayene yüzeylerinde yüksek hassasiyet sağlamaktadır.


Phased array yönteminin konvansiyonel ultrasonik muayeneye nazaran dezavantajları ise ekipmanlar ve yedek parçaların yüksek maliyette olması, kalibrasyonun karmaşık ve zaman alıcı olmasıdır. Bu sebeplerden ötürü iyi ve donanımlı operatörlere gereksinim vardır.


5.KAYNAKÇA

- [1]VECTOR Technische Unternehmensberatung GmbH, Hattingen 2001
- [2]Uçaklarda Tahribatsız Muayene, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 2012
- [3] GUR, C., Tahribatsız muayene personelinin ASNT sistemine göre eğitimi ve belgelendirilmesi, ASNT Türkiye Birimi, Ankara, 2008
- [4]SECTOR Cert Gesellschaft für Zertifizierung mbH, Automatische Ultraschallprüfung, 2009
- [5] OLYMPUS, Advances in Phased Array Ultrasonic Technology Applications, Olympus NDT Inc., MA, 2007

Diffusion and Substitution Effect on Telecommunication Technologies in Turkey

¹ Mehmet Toğa, ^{*2} Gülhan Toğa

¹Department of Electronic and Automation, Bozok University, 66400, Boğazlıyan, Yozgat, Turkey
mehmet.toga@bozok.edu.tr, 

^{*2} Department of Industrial Engineering, Erciyes University, 38039, Kayseri, Turkey, gpala@erciyes.edu.tr, 

Abstract

Telecommunication technologies show great changes all over the world. Next generation technologies replace older ones. Alternatives of the technologies force the users to make a choice between the competing technologies. Generally, an adverse effect is shown on the usage of older technologies when a new competitor is introduced to the market.

In this paper, substitution effect on telecommunication technologies in Turkey is examined from the perspective of fixed-mobile substitution and next generation mobile technologies. The study uses two different technology diffusion models for each case: Logistic Substitution models and Gompertz model. Generic diffusion model and substitution model are compared in terms of RMSE and MAD. Fixed-line and mobile telecommunication technologies are inspected together to see substitution effect of mobile telecommunication on fixed-line, firstly. In the second step, fast technological change in the mobile telecommunication technology is handled for Turkey. 2G, 3G and 4.5 G technologies are analyzed to see diffusion and substitution process of these technologies. All the results indicate that; Logistic Substitution model is better to simulate the systems in competitive environments. On the other hand, 2G technology is found the most affected technology by the substitution.

Keywords: Logistic Substitution Model, Gompertz Model, Telecommunication Technologies, Substitution Effect

Türkiye'de Telekomünikasyon Teknolojilerinin Yayılımı ve İkame Etkisi

¹ Mehmet Toğa, ^{*2} Gülhan Toğa

¹Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Bozok Üniversitesi, 66400, Boğazlıyan, Yozgat, Türkiye
mehmet.toga@bozok.edu.tr

^{*2} Endüstri Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, 38039, Kayseri, Türkiye, gpala@erciyes.edu.tr

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 08.06.2018

Kabul Tarihi: 19.03.2019

Öz

Telekomünikasyon teknolojileri tüm dünyada büyük bir değişim içerisindedir. Yeni nesil teknolojiler eski teknolojilerin yerini almaktadır. Alternatif teknolojilerin varlığı, kullanıcıları teknolojiler arasında tercih yapmaya zorlamaktadır. Genellikle, aynı sektörde rekabet eden yeni bir teknoloji piyasaya sunulduğunda eski teknolojilerin kullanımında olumsuz bir etki gözlenmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye'deki sabit-mobil ikamesi ve gelecek nesil mobil teknolojilerinin yayılımı incelenmiştir. Çalışmada, her bir durum için Lojistik İkame modeli ve Gompertz Difüzyon modeli kullanılmıştır. Klasik difüzyon modeli ve ikame modeli RMSE ve MAD açısından karşılaştırılmıştır ve öncelikli olarak, sabit hat ve mobil telekomünikasyon teknolojileri, mobil telekomünikasyonun sabit hat üzerinde oluşturduğu ikame etkisini görmek için birlikte ele alınmıştır. İkinci adımda, Türkiye'deki mobil telekomünikasyon teknolojisinde yaşanan hızlı teknolojik değişimler ele alınmaktadır. Bu teknolojilerin difüzyon ve ikame etkilerini görmek için 2G, 3G ve 4.5G teknolojileri analiz edilmiştir. Tüm sonuçlar, Lojistik İkame modelinin rekabetçi ortamları simüle etmekte daha başarılı olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan 2G teknolojisi ikame etkisinden en çok etkilenen teknoloji olarak bulunmuştur.

^{*2}Corresponding aauthor: Department of Industrial Engineering, Erciyes University, 38039, Kayseri, Turkey.
gpala@erciyes.edu.tr, (+90) 352 207 66 66- 32458

Anahtar Kelimeler: Lojistik İkame Modeli, Gompertz Model, Telekomunikasyon Teknolojileri, İkame Etkisi

1. INTRODUCTION

In recent years, telecommunication technologies have made a dramatic change and a great improvement. With the development of wireless telecommunications technology, fixed-line telecommunications technology shows a sharp decline all over the world. On the other hand, by the end of 2017, global mobile phone subscribers reached 5.7 billion. This equals 62.9% of the world's population [1]. The journey that started with fixed line has now reached 5G technology. Large investments and reasonable profit margins make this market attractive for investors. However, it is one of the most dynamic market segments due to continual technological changes. With the deployment of these new technologies the number of communication options increased. This influenced the way in which people communicate. The rapid increase in the number of mobile users was caused a decline in the number of fixed-line subscribers. Precisely at the point when these technological improvements in the telecommunication sector are considered, understanding diffusion of the new technology becomes very important to evaluate the future of that technology for investors. The effects of innovation on micro and macro-economic growth, competition, future trends of technology and business history have become more visible as a results of detailed diffusion analysis [2].

The diffusion of innovation was defined by Rogers as “The process by which an innovation is communicated through certain channels over time among the members of a social

system” [3]. The path that the cumulative adoption of an innovation takes between introduction and saturation is generally modeled by an S curve [4]. On the other hand, many studies have tried to model the diffusion of an innovation so far. Researchers can be referred to Meade and Islam [4] and Geroski [5] for a detailed literature of diffusion models. A diffusion model can easily explain the expected life cycle of an innovation. Also, new technologies and generations are competing with each other because of the consumers’ behavior. Technological substitution by its nature produces technological change and consequently, is a component in the creation of new economic value and wealth [6]. The substitution effects on telecommunication technologies have become interesting subjects for researchers for the reasons mentioned above. Table 1 gives the related literature in a chronological order.

As understood from the literature, there has been a focus on the country based cases. Substitution is inspected from different perspectives as seen in the literature. Especially, mobile to fixed-line substitution is the most popular one between them. Results indicated that there is a negative effect of the mobile phone diffusion on the fixed-line telephony penetration rate [7], [8]. Furthermore some studies investigated the next generation effects on telecommunication technologies [9]. Also, substitution specific diffusion models are rarely compared with generic diffusion models [10].

Table 1. Literature about the Substitution Effects on Telecommunication Technologies

Study	Subject	Results
Johnson and Bhatia [6]	Predicting a technological substitution in land mobile radio.	This research has shown that the Norton-Bass model provides better regression output than the best case regression techniques.
Barros and Cadima [7]	Evaluating the impact of mobile phone growth on the fixed-link network.	Entrance of new technologies may induce a sizeable negative effect upon previous generation technologies.
Sung and Lee [11]	Examining the impact of rapid growth in mobile telephones on the access demand for fixed-line telephones in Korea.	The empirical analysis indicates that a 1% increase in the number of mobile telephones results in a reduction of 0.1~0.2% in new fixed connections and a 0.1~0.2% increase in disconnections.
Hamilton [12]	Examining the relationship between mobile and fixed-line telephones by accounting for reverse causality between them.	Mobile telephones act as a competitive force encouraging fixed-line providers to improve access.
Rodini, Ward and Woroch [13]	Estimating the substitutability of fixed and mobile services for telecommunications access using US house hold survey conducted over the period 2000–2001.	Mobile service is a moderate substitute for fixed-line access.
Table 1. Literature about the Substitution Effects on Telecommunication Technologies (contunies)		
Liikanen, Stoneman and Toivanen [9]	Analyzing the role of generational effects in diffusion of mobile telecommunication (1G and 2G)	The results from a generation-specific approach differ significantly from those of a generic model. 1G (2G) has a positive (negative) effect on 2G (1G)

		diffusion. Both generations are substitutes for fixed phones.
Vagliasindi, Güney, and Taubman [14]	Exploring the competition between traditional fixed line and mobile services across Eastern Europe and the Former Soviet Union	It is concluded that adoption of mobile telephony in transition countries is a formidable alternative to fixed line telephony. On the other hand it has already led to significant advantages in terms of increasing coverage and connectivity of the population.
Briglauer, Schwarz, and Zulehner [15]	Estimating own-price elasticities for fixed network voice telephony access and national calls services for private users as well as cross-price elasticities to mobile services using time series data from 2002 to 2007 from the Austrian markets.	Demand for access services is inelastic and that the cross price elasticity to mobile is insignificant.
Srinuan, Srinuan, and Bohlin [16]	Investigating whether mobile broadband is a complementary or substitute service to fixed broadband by examining survey data of Sweden in 2009.	The own-price and cross-price elasticities show that mobile is substitute service to fixed in most geographic area of Sweden
Ward and Zheng [17]	A panel data analyses for China (1998 to 2007) is used to estimate own and cross-price elasticities for fixed and mobile telephone service.	Fixed and mobile subscriptions are fairly strong substitutes.
Grzybowski [8]	Inspecting substitution between access to fixed-line and mobile telephony in the EU using cross-section panel data on households' choices of telecommunications technologies in years 2005–2010.	Fixed-to-mobile substitution was slowed down by the spread of Internet but it may continue with the spread of mobile broadband.
Barth and Heimeshoff [18]	Investigating the degree of fixed–mobile call substitution within different European countries.	The estimated cross-price elasticities of the mobile price on the fixed-line call demand are relatively large compared to other studies.
Chang et al. [10]	Investigating the performance of the Lotka-Volterra and Bass models in the saturated mobile phone market of the Republic of Korea.	They concluded from the study that the Lotka-Volterra model shows better performance under competition.
Grzybowski and Verboven [19]	Inspecting substitution from fixed-line to mobile voice access, and the role of various complementarities that may slow down this process for 27 EU countries during 2005-2011.	<ol style="list-style-type: none"> 1. There is significant fixed-to-mobile substitution. 2. The decline in fixed telephony has been slowed down because of a significant complementarity between the fixed-line and mobile connections offered by the fixed-line incumbent operator. 3. The decline in fixed telephony has also been slowed down because of the entrance of broadband internet.
Lange and Saric [20]	Exploring the access substitution between fixed-lines, mobiles, and managed VoIP in a unified EU cross-country framework.	Strong access substitution between fixed-lines and mobiles and provides indicative evidence on the substitution between fixed-lines and VoIP
Leurcharusmee et. al. [21]	Estimating the impact of users' mobile broadband subscription on their decision to terminate fixed broadband subscription	The regression analysis showed that mobile broadband subscription has a positive significant effect on the decision to cancel fixed broadband service.

In this study, we handle the case of TURKEY. Turkey has increasing population growth and shows a fast economic improvement as a developing country. It is an unexamined country from the perspective of diffusion of the telecommunication sector and there are only a few studies about developing countries in the literature. On the other

hand, telecommunication technologies in Turkey show a fast development process which has many effects on consumers. Therefore, we aim to add to contribute to the literature by modeling mobile diffusion and substitution effects on the sector for Turkey. Furthermore, future trends and patterns in the telecommunication technologies are modeled. The data of two time-series showing the number of mobile telecommunication subscribers and fixed-line subscribers

are used to examine the diffusion patterns. Procedure of the study is given in Figure 1.

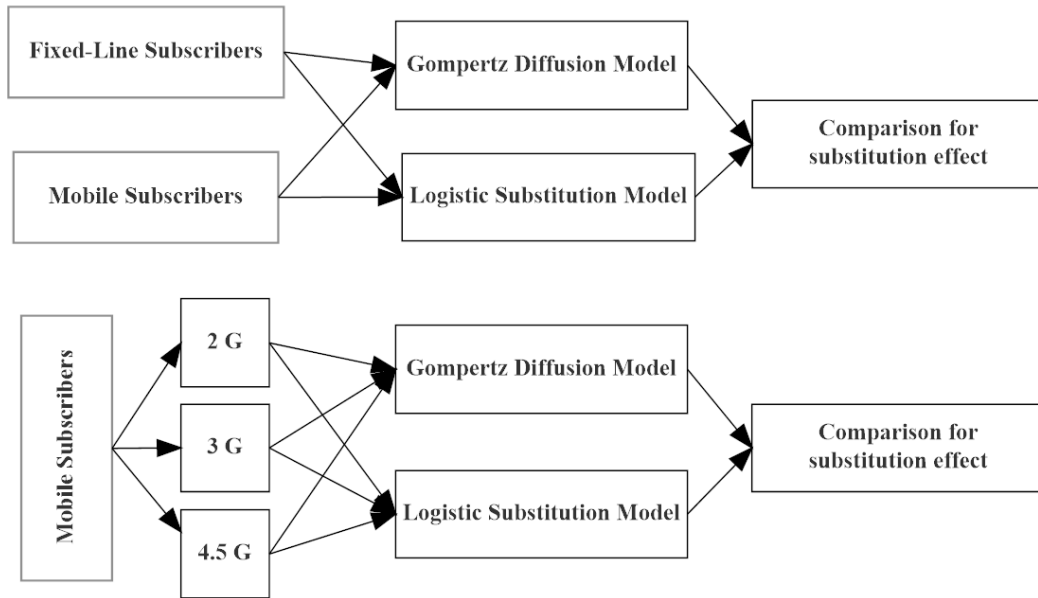


Figure 1. Procedure of the study

Turkey has almost reached saturation level in mobile telecommunication within the last 20 years. The penetration rate of mobile telecommunication was announced as 97.6% in September 2017 (The population of Turkey was 79,814,871 million in 2016 based on the Address Based Population Registration System of Turkey). Decreasing prices and increasing capabilities, in particular, have caused a significant rise in the number of mobile subscribers [22].

A diffusion analysis of telecommunication technologies gives important clues about market potential, current states of the market and saturation level. Using appropriate diffusion models helps to forecast the short-term demand of the market. On the other hand, we expect to find meaningful results for technology investors about the trends of telecommunication technology in Turkey. The rest of the paper is organized as follows. Section 2 sets out the mobile market overview in Turkey. Section 3 inspects the related diffusion models. Section 4 presents the data, model evaluation and results for telecommunication diffusion and substitution effects in Turkey, and Section 5 contains concluding remarks and discussion.

2. TELECOMMUNICATION MARKET OVERVIEW IN TURKEY

In Turkey, while fixed telephony has an almost one hundred years history (1924), the mobile phone was only introduced in 1994. The first GSM (Global System for Mobile Communication) operator, Turkcell, was introduced in March 1994 and had a 900 MHz frequency license. Two months later, Telsim, the second operator in Turkey, was introduced to the communications sector. After 1994, a rapid diffusion process was seen in mobile phone diffusion in

Turkey. Furthermore, Turkey has the highest minutes of usage (MoU) value, with 331 minutes, among European countries (ICTA, 2016).

On the other hand, mobile technology has been developing rapidly and 3G technology was introduced to the sector in 2009. The legal framework of the telecommunications sector in Turkey has been guided by the Ministry of Transportation, Maritime Affairs and Communications. However, Law No 4502 dated 27.01.2000, amending Laws No 406 and 2813, which are the basic laws concerning the telecommunications sector, separated policymaking, regulation and operation function (Information and Communication Technologies Authority - Establishment, 2015). While regulation function was given to the Information and Communication Technologies Authority, policy making became the responsibility of the Ministry of Transportation, Maritime Affairs and Communications. Telegraphs, fixed telephony, postal services and, mobile telephony are under the charge of the ministry. For details of the telecommunication policies in Turkey, researchers can be referred to Burnham [24] and Atiyas [25]. In Table 2, the chronological development of the telecommunication sector in Turkey is given.

3. MATERIALS AND METHODS

3.1. Generic Diffusion Models

Rogers [3] classes adopters in to five categories: the innovators (2.5% of adopters), followed by the early adopters (13.5%), and followed by the early majority (34%), the late majority (34%) and the laggards in the rear (16%). These percentages display a normally distributed bell shaped curve, which defines the adoption process of adopters and

the cumulative values of these adopters' percentages represent an S-shaped curve. The diffusion of telecommunication technologies follows an S-shaped curve, similar to the diffusion of most other technological innovations [3]. There are many different mathematically formulated S-shaped curves in the literature: Logistic, Gompertz, Logarithmic Logistic, Simple Modified

Exponential, Log Reciprocal, etc. These curves are easily adapted for diffusion models. On the other hand, the Bass diffusion model yields an S-shaped curve similar to those of other models and is used in innovation diffusion analysis extensively. We give a detailed explanation of the Gompertz model, which is also employed in this study. The Gompertz [26] curve is given as:

$$y_t = \alpha e^{-\beta e^{-\gamma t}} \tag{1}$$

Table 2. Milestones of Telecommunication Sector in Turkey

Year	Improvements
1924	Fixed lines were used for the first time.
1983	A governmental body responsible for radio frequency management was established.
1994	Post and telecommunication services were separated. The telecommunication side was organized as Turk Telecom (TT). The first GSM operator, Turkcell, was introduced. Telsim started GSM as the second operator.
2000	The telecommunications Authority was established (Information and Communications Technologies Authority - ICTA). Telecom Authority was given licensing authority for the first time. Telsim started GPRS (General Packet Radio Service). Aria and Aycell started GSM 1800.
2003	Turk Telecom started to give ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) service. Aria and Aycell were merged as Avea.
2005	Turk Telekom was privatized and Telsim was sold to Vodafone.
2008	Mobile number portability was allowed and price cap application on off-net calls started
2009	Third-generation (3 G) services started.
2015	The tender for 4.5 G mobile technology held by the Information and Communication Technologies Authority.

In equations 1, α represents the saturation level or the potential maximum value of the response variable. β and γ are both positive parameters related to the location and speed of diffusion, respectively. γ is defined as the parameter related with the rate at which the response variable reaches its potential maximum [27]. On the other hand, t is a linear time matrix and can be given as $t = [1, \dots, T]$ [28].

The Gompertz model outperforms if the diffusion process weakly correlates with the number of adopters when the diffusion process slows down [29]. Furthermore, if the growth of the diffusion is quite rapid at an early phase, the Gompertz function is the best method, because Gompertz attains the maximum rate of growth at an earlier phase to the other models.

On the other hand, if the growth is initially slow, the growth speed also affects the inflection point of the curves (t_m). The inflection point, which means the maximum rate of the growth of Gompertz, occurs before 37 % of cumulative adoption. [30].

3.2. Diffusion Models for Substitution Effects

New technologies always force to replace the predecessors and generally superior than older ones. Modelling a next generation technology by generic diffusion models misses some important points, such as competition effect of technologies. Sharing the same market by competitors has adverse effects on the diffusion rate. In the literature, there are many diffusion models developed for inspecting substitution effects on diffusion of technologies. Most popular ones are Logistic Substitution model, Lotka-Volterra model, Fisher-Pry model and Norton-Bass model. Logistic Substitution is explained detail in the below.

One of the other most popular substitution models is Logistic Substitution model which is a derivative of Fisher-Pry model. Logistic Substitution model is defined as “forecasting technological opportunities, recognizing the onset of technologically based catastrophes, investigating the similarities and differences in innovative change in various economic sectors, investigating the rate of technical change in different countries and different cultures, and

investigating the limiting features to technological change.”by Fisher and Pry [31]. The diffusion cycle of competitive technologies is subdivided as: growth, saturation and decline, where the growth and decline stages are logistic growth processes [32]. Logistic Substitution model is more general form of Fisher-Pry model to deal with more than two competing technologies. Equation [33] is given as:

$$f_i(t) = \frac{1}{1 + \exp(-\alpha_i t - \beta_i)} \tag{2}$$

where $i=1, \dots, n$ (n is the number of competing technologies) and α_i and β_i are the estimated coefficients. α_i is the growth parameter and β_i is the parameter specifies the time (t_m) when the curve reaches midpoint of the growth trajectory. f_i is the diffusion rate of the i^{th} technology. Now we suppose an older technology (j) in the market, new situation can be formulated as

$$f_j(t) = 1 - \sum_{i \neq j} f_i(t) \tag{3}$$

$$y_j(t) = \log \frac{f_j(t)}{1 - f_j(t)} \tag{4}$$

4. ANALYZE ON TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES IN TURKEY

4.1. Present Situation of Fixed-line and Mobile Telecommunication Technologies

The data set considered in this paper comprises 88 quarterly data (last quarter of each year) of total fixed-line subscriber numbers and 23 quarterly data (last quarter of each year) of total mobile subscriptions from Turkey. The number of mobile subscriptions includes both the prepaid and postpaid sectors. Mobile subscription can be defined as an account created by an operator or service provider. Fixed-line subscriptions are also consisting of the values explained by the responsible authorities. Data are obtained from the Turkish Statistical Institute and the ICTA. We only use the end of year (Q4) data from 1994 Q4 to 2017 Q4 for mobile subscription and 1929 Q4 to 2017 Q4 data for fixed-line subscriptions. Gompertz model is used to explain fixed-line and mobile diffusion in Turkey from a generic model perspective. The cumulative number of mobile subscribers and fixed-line subscribers are plotted in Figure 2.

There was a decrease in cumulative subscribers after the year 2008 for two periods (16th and 17th periods) for mobile market. Mobile network operators in Turkey had imposed different charges on "on-net" and "off-net" calls until 2008. The huge price differences between on-net and off-net calls had led many consumers to hold multiple SIM cards for different operators in the Turkish market [34] to avoid high bills. The Turkish regulatory authority, the ICTA, imposed a price cap on off-net calls to all mobile network operators [35] and mobile number portability became available, simultaneously. As a result of these legal arrangements, many subscriptions were cancelled after 2008 by customers. On the other hand, fixed-line technology appears in a standard technological life-cycle. Also, a closer look is given

for next generation mobile telecommunication technologies in Figure 3.

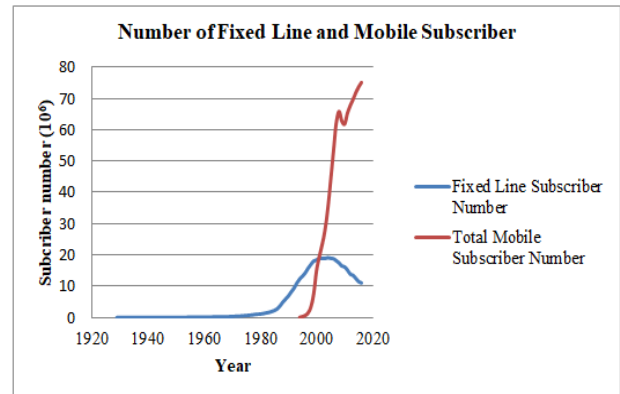


Figure 2. Total mobile and fixed-line subscriber in Turkey

4.2. Substitution Effect of Mobile on Fixed-Line

In this part, we estimate the Gompertz and Logistic Substitution model by using the available data. Gompertz and Logistic Substitution models are tested by the Nonlinear Least Square method (NLS) with the help of the Loglet Lab Software [36]. In the literature, many techniques have been used for testing the diffusion curves. The Ordinary Least Square method [37], Maximum Likelihood Estimation (MLE) [38], and NLS [39] are frequently used in the parameter estimation of diffusion curves. It is indicated that NLS outperforms the OLS and MLE methods in terms of forecasting performance because of the nature of the diffusion equations [40]. The NLS estimation procedure overcomes the time-interval bias; the bias results from estimating a continuous-time model by using discrete time-series data in the OLS [41]. We estimate the diffusion models over the whole data set for comparison purposes. The MAD and RMSE are selected as forecasting performance criteria. The NLS method needs initial parameters to start the search procedure. Wrong starting values result longer iteration, greater execution time, and non-convergence of the iteration [27]. An efficient order to specify starting values is α , γ and β for Gompertz model. The formulas of starting values for Gompertz is calculated as the mentioned in the literature [27]. The results of the growth curves are given in Table 3, and Figure 4 depicts the related results of Gompertz curves of the actual and predicted data sets for both technologies. Gompertz diffusion model for fixed-line and mobile subscribers have a significance value (p) smaller than 0.05, as indicated in Table 3. According to the performance criteria, the models seem appropriate to depict the diffusion of fixed-line and mobile telecommunication in Turkey. On the other hand, a sharp decline for fixed-line after the mobile telecommunication entrance to market can be shown clearly and this is an important clue for substitution effect on fixed-lines. t_m which the inflection point for that technology is found as 1989 for fixed-lines and 2002 for mobile technology. Maximum adopters for the related technologies are 16.5x10⁶ users and 75.9x10⁶ users for fixed-line and mobile technology, respectively.

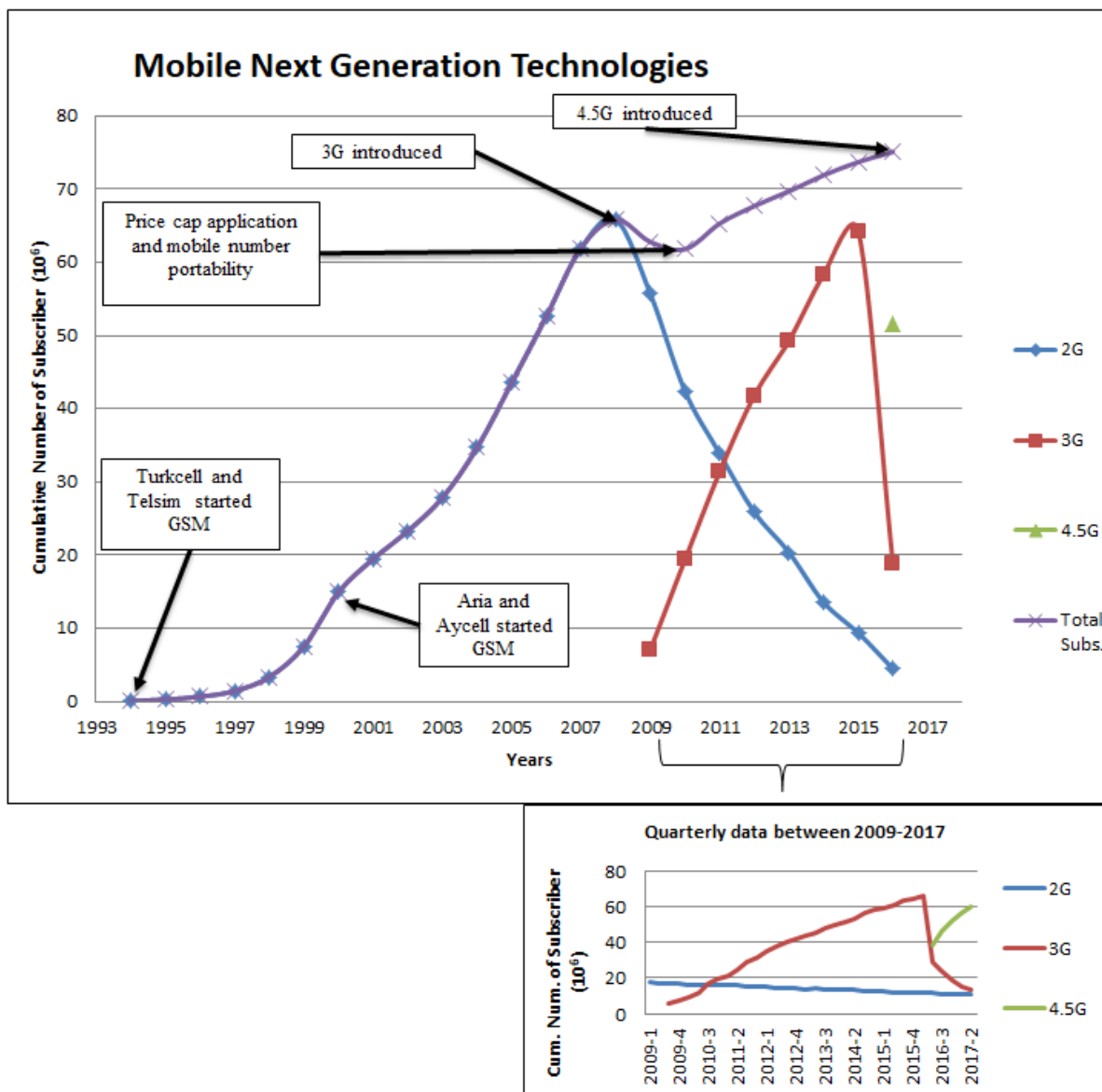


Figure 3. Cumulative Mobile Subscribers depending on the next generation technologies($\times 10^6$)

Table 3. Results of the Gompertz Curve Fitting

Gompertz Curve	α	β	γ	t_m	RMSE	MAD	MAPE	R^2	P
Fixed-line	16.5	5.2	0.28	1989	1.7	1.46	0.52	0.92	6.42×10^{-8}
Mobile	75.9	5.8	0.26	2002	2.9	2.17	0.07	0.96	4.8×10^{-14}

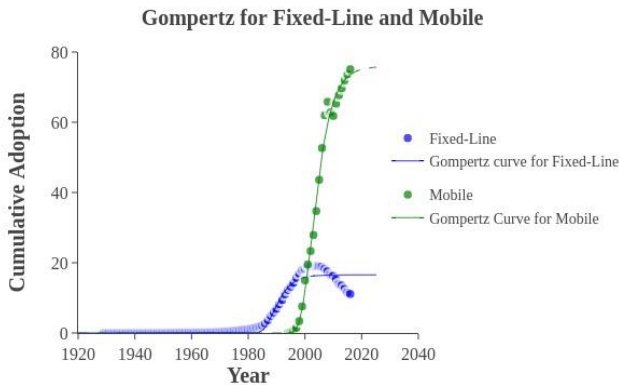


Figure 4. Gompertz Curve Fitting

Growth rates of these two technologies are given in Figure 5. Sharp declines of the rate in the years around the years 2000 and 2007 prove that technological improvements and entrance of new competitors to the market changed the penetration rate and that these exogenous interventions manipulated the structure of the diffusion process, and caused to the diffusion curves deviate from the conventional S-shaped curve. Furthermore, Gompertz results show that change of growing rate of fixed-line has already been slow down before the entrance of mobile technology to the market as seen Figure 5. This does not imply that fixed-line reached the maximum adopter number before the entrance of mobile technology to the market. But it means that diffusion acceleration of fixed-line technology also slowed down before the entrance of mobile technology to the market. The findings support that the Gompertz model inflection point occurs before 50% of the curve. 1989 and 2002 years represent the 37% of the adoption for these technologies. On the other hand, the years 2005 and 2020 are found the 99% adoption of fixed-line and mobile technologies, respectively.

In the second step, to see the substitution effect on the fixed-line, we apply Logistic Substitution model to fixed-line and mobile telecommunication data. Results of the

Logistic Substitution model are given below in Table 4 and Figure 6.

p values of Logistic Substitution models are smaller than 0,05 as seen in Table 4. Both of the cases fit to the data almost in the same performance. Also, the error values of Logistic Substitution fitting show better performance than Gompertz curves for both technologies while R² values are smaller than the Gompertz curve fitting. Logistic Substitution fitting also shows that a clear substitution effects can be shown on fixed-line after the first year of mobile telecommunication in the market. On the other hand, both of the technologies show almost the same diffusion rate in the market. Mobile technology shows a positive acceleration while fixed-line shows a negative acceleration because of the substitution effects on it. As a result of two analyses, Gompertz curves have better R² values, but Logistic Substitution models gives smaller error functions. This implies that fluctuations on the diffusion of telecommunication technologies are better represented by the Logistic Substitution model because of the substitution effect of mobile technology on fixed-line causes unexplained variances on the diffusion rates.

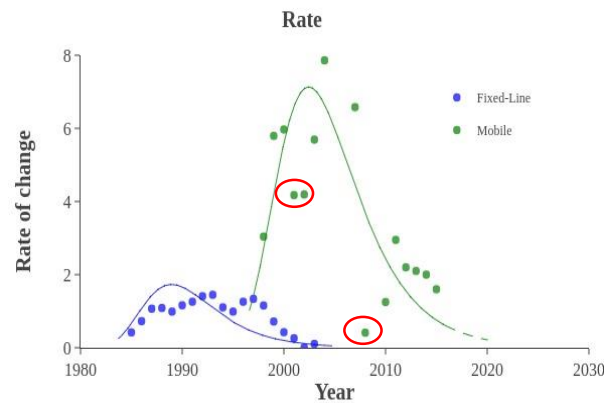


Figure 5. Growth rates of Gompertz Curves

Table 4. Results of the Logistic Substitution Model

Logistic Substitution	α	β	γ	t_m	RMSE	MAD	MAPE	R ²	P
Fixed-line	1	-16.6	-0.26	2003	0.07	0.06	0.50	0.81	5.20xe ⁻⁹
Mobile	1	17.4	0.25	2002	0.08	0.07	0.23	0.81	8.49xe ⁻⁹

4.3. Adoption of Next Generation Telecommunication Technologies in Turkey

Mobile telecommunication in Turkey has not a long history when it is compared to fixed-line. A fast technological improvement is shown in mobile telecommunication technology since 1994 in Turkey. Three generational changes had completed in the market so far. On the other hand, infrastructural changes do not always imply a certain

adoption of users because of the compatibility of users' devices. In this section substitution effect on the mobile GSM technologies are investigated to see the effects of infrastructural changes. 2G, 3G and 4.5G mobile technologies are compared by using Gompertz model and then Logistic Substitution model is used to see the substitution effect on different generation of mobile technologies. Quarterly data are used for prediction. Results of Gompertz model are given in Table 5 and Figure 7.

Inflection points of the diffusion processed of mobile generation technologies are found as the years 2002, 2011 and 2019 for 2G, 3G and 4.5G, respectively. 2G technology has the biggest diffusion rate ($\gamma=0.85$) and this implies availability of the ready users in the market for this technology. On the other hand, 3G and 4.5G have same diffusion rates in the market. Best fit is supplied for 4.5G technology depending on the Gompertz curve fitting. Change rates of adopter numbers are represented in Figure 8. As seen in the Figure 8, largest change occurs on 4.5G, while the smallest change occurs on 3G. 3G is an intermediate technology for mobile market and it is sharing the market with 2G during seven years. Competition has an adverse effect on 3G technology as seen in the Figure 8, but this can be easily shown in the next, Logistic Substitution step. In the next step, we investigate the substitution effect on mobile telecommunication technologies by using Logistic Substitution model. Results are given in Table 6 and Figure 9 depicts the market share of three generational technologies. When 4.5G introduce to the market, almost 0.50% of 3G users had switched to the 4.5G as seen in the Figure 9. Diffusion rates (γ) imply that 2G is the most affecting technology from competition. On the other hand, market is dominated by 4.5G technology as expected. Furthermore, Figure 9 depicts that 2G technology saturated before the entrance of 4.5G. Switching between 2G and 3G is slower than switching between 3G and 4.5G. This can be a result of the device compatibility or a resistance to a new technology. Because, major differences of two technologies, especially transmission with MMS, may have caused a late adoption process for 3G. On the other hand, need for changing the SIM cards for new GSM technology is another issue for adopters. After the year 2012, market is captured by 3G until 2017 as seen in Figure 9.

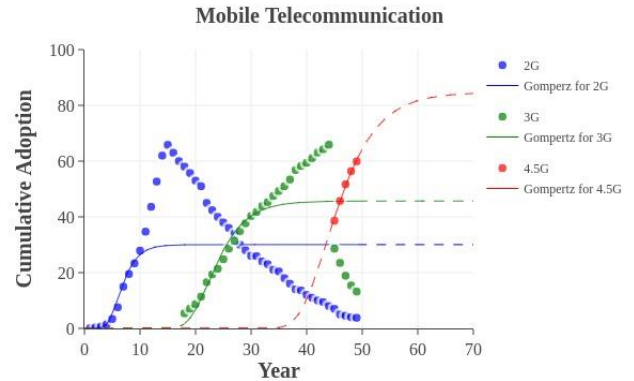


Figure 7. Gompertz curves for mobile next generation technologies

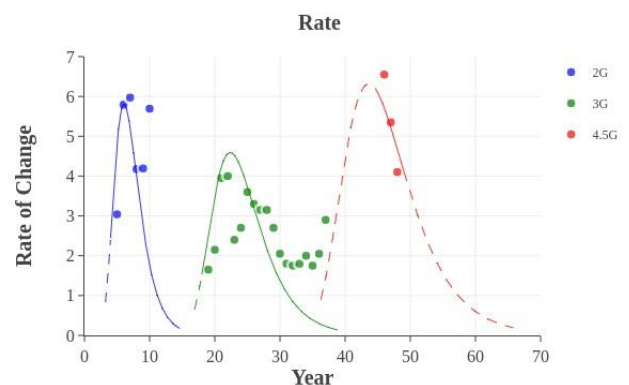


Figure 8. Growing rates for mobile next generation Technologies

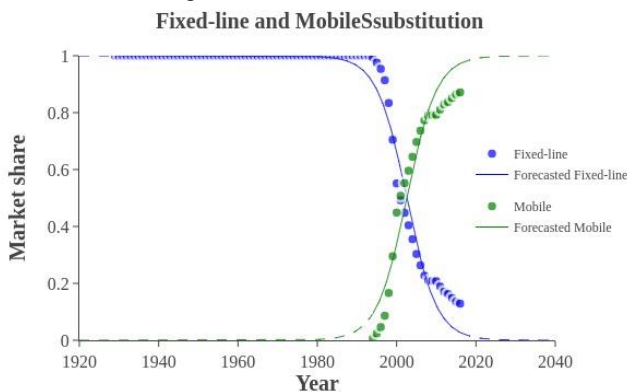


Figure 6. Logistic Substitution Fitting

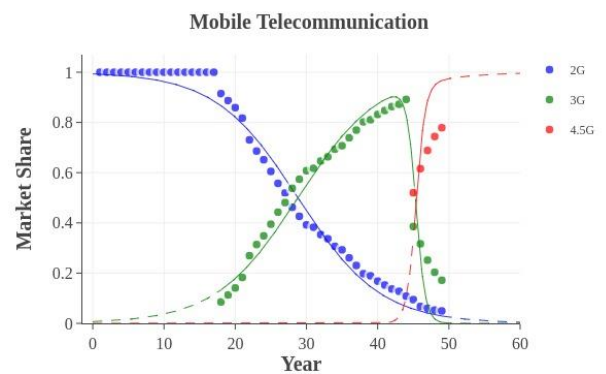


Figure 9. Market share of mobile technologies

Table 5. Results of the Gompertz Model for Mobile Generation Technologies

Gompertz Curve	α	β	γ	t_m	SSE	RMSE	MAD	MAPE	R ²	P
2G	29.9	1.73	0.85	2002	58.2	2.9	2.36	0.63	0.97	0.000385
3G	46.6	6.79	0.22	2011	1225	7.0	4.77	0.13	0.95	1.52xe ⁻¹⁰
4.5G	81.2	6.62	0.22	2019	1.40	0.53	0.51	0.01	0.99	0.000138

Table 6. Results of the Logistic Substitution Model for Mobile Generation Technologies

Logistic Substitution	A	B	γ	t_m	SSE	RMSE	MAD	MAPE	R ²	P
2G	1	-25.5	-0.17	2012	0.08	0.045	0.03	0.15	0.97	2.96xe ⁻²¹
3G	1	23.7	0.19	2012	0.05	0.05	0.04	0.11	0.96	2.80xe ⁻¹⁴
4.5G	1	13.2	0.33	2017	0.0001	0.006	0.006	0.01	0.99	0.00319

Achieving the mentioned adoption processes of new generations means that Turkey probably has a matured telecommunication market which is adequately open to next generation technologies. Switching between the new generations is faster than before. Users generally show a fast adoption process as seen in the results.

5. CONCLUDING REMARKS AND DISCUSSION

In this paper, the growth of the telecommunication market in Turkey is analyzed. The hypothesis that the adoption of the fixed-line and mobile telecommunication in Turkey follows an S-curve is proved by Gompertz curve fitting. On the other hand, Logistic Substitution model is used to understand the substitution effects between these technologies. All the results indicate that; Logistic Substitution model is better to simulate the systems in competitive environment. In the fixed-line and mobile telecommunication analysis, all models are quite capable of describing the diffusion process. Calculated statistical errors and performance characteristics for the models show that both models are appropriate for market.

On the other hand, fluctuations on the diffusion of telecommunication technologies are better represented by the Logistic Substitution model because of the substitution effect of mobile technology on fixed-line causes unexplained variances on the diffusion rates. Competition is considered to explain change of diffusion rates and gives better results for Logistic Substitution model. Furthermore, the regulatory framework has been very effective in the diffusion process of telecommunication services in Turkey. The decrement and increment in the number of adopters after the regulations cannot be ignored in Turkey in the mobile telecommunication market. As seen in Figure 5, the highest amounts of changes in the growing rate are detected when the external interventions of the regulatory authority affect the market.

In the diffusion of mobile technologies in Turkey, both of the models are very suitable to represent the cases, but the Logistic Substitution models have smaller error values for each generation. On the other hand, 3G technology as an intermediate technology has not a fast diffusion process because of the radical changes that it brought to the communication process. But 4.5G has the fastest adoption process as a result of infrastructural sufficiency and device compatibility. Most mobile devices of 3G users were ready for use with 4.5G technology and adopters shifted to the new technology to maximize the utility, easily. 2G technology was already saturated before 4.5G.

The study also has some limitations. The use of more diffusion models would be better to simulate the market. Especially, the diffusion models like Norton-Bass which was specially developed for the substitution of successive generation products should be used in the cases may give better results. Also, considering the determinants of mobile telecommunication while modeling the diffusion process, would give more meaningful results to understand the general framework of diffusion of telecommunication in Turkey. On the other hand, inspecting the prepaid and postpaid subscriptions separately would provide a deeper insight into the telecommunications sector in Turkey. As a future work, diffusion modeling with the determinants of mobile telecommunication could be done. In particular, the effect of regulations could be included in the models as a smoothing factor of the diffusion process.

REFERENCES


- [1] Statista, "Number of mobile phone users worldwide 2013-2019," *Statista*, 2018. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/274774/forecast-of-mobile-phone-users-worldwide/>. [Accessed: 26-Feb-2018].
- [2] S. Massini, "The diffusion of mobile telephony in Italy and the UK: an empirical investigation," *Econ. Innov. New Technol.*, vol. 13, no. 3, pp. 251–277, Apr. 2004.
- [3] E. M. Rogers, *Diffusion of Innovations, 5th Edition*, 5th edition. New York: Free Press, 2003.
- [4] N. Meade and T. Islam, "Modelling and forecasting the diffusion of innovation – A 25-year review," *Int. J. Forecast.*, vol. 22, no. 3, pp. 519–545, 2006.
- [5] P. . Geroski, "Models of technology diffusion," *Res. Policy*, vol. 29, no. 4–5, pp. 603–625, Apr. 2000.
- [6] W. C. Johnson and K. Bhatia, "Technological substitution in mobile communications," *J. Bus. Ind. Mark.*, vol. 12, no. 6, pp. 383–399, Dec. 1997.
- [7] P. P. Barros and N. Cadima, *The impact of mobile phone diffusion on the fixed-link network*, vol. 2598. Centre for Economic Policy Research, 2000.
- [8] L. Grzybowski, "Fixed-to-mobile substitution in the European Union," *Telecommun. Policy*, vol. 38, no. 7, pp. 601–612, Aug. 2014.
- [9] J. Liikanen, P. Stoneman, and O. Toivanen, "Intergenerational effects in the diffusion of new technology: the case of mobile phones," 2004.
- [10] B.-Y. Chang, X. Li, and Y. B. Kim, "Performance comparison of two diffusion models in a saturated mobile phone market," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 86, pp. 41–48, Jul. 2014.

- [11] N. Sung and Y.-H. Lee, "Substitution between Mobile and Fixed Telephones in Korea," *Rev. Ind. Organ.*, vol. 20, no. 4, pp. 367–374, Jun. 2002.
- [12] J. Hamilton, "Are main lines and mobile phones substitutes or complements? Evidence from Africa," *Telecommun. Policy*, vol. 27, no. 1–2, pp. 109–133, Feb. 2003.
- [13] M. Rodini, M. R. Ward, and G. A. Woroch, "Going mobile: substitutability between fixed and mobile access," *Telecommun. Policy*, vol. 27, no. 5–6, pp. 457–476, Jun. 2003.
- [14] M. Vagliasindi, I. Güney, and C. Taubman, "Fixed and mobile competition in transition economies," *Telecommun. Policy*, vol. 30, no. 7, pp. 349–367, Aug. 2006.
- [15] W. Briglauer, A. Schwarz, and C. Zulehner, "Is fixed-mobile substitution strong enough to de-regulate fixed voice telephony? Evidence from the Austrian markets," *J. Regul. Econ.*, vol. 39, no. 1, pp. 50–67, Feb. 2011.
- [16] P. Srinuan, C. Srinuan, and E. Bohlin, "Fixed and mobile broadband substitution in Sweden," *Telecommun. Policy*, vol. 36, no. 3, pp. 237–251, Apr. 2012.
- [17] M. R. Ward and S. Zheng, "Mobile and fixed substitution for telephone service in China," *Telecommun. Policy*, vol. 36, no. 4, pp. 301–310, May 2012.
- [18] A.-K. Barth and U. Heimeshoff, "What is the magnitude of fixed–mobile call substitution? Empirical evidence from 16 European countries," *Telecommun. Policy*, vol. 38, no. 8–9, pp. 771–782, Sep. 2014.
- [19] L. Grzybowski and F. Verboven, "Substitution between fixed-line and mobile access: the role of complementarities," *J. Regul. Econ.*, vol. 49, no. 2, pp. 113–151, 2016.
- [20] M. R. J. Lange and A. Saric, "Substitution between fixed, mobile, and voice over IP telephony – Evidence from the European Union," *Telecommun. Policy*, vol. 40, no. 10, pp. 1007–1019, Oct. 2016.
- [21] S. Leurcharusmee, J. Sirisrisakulchai, K. Suriya, C. Keesookpun, and P. Srinuan, "Fixed-to-Mobile Substitution: Effects of Mobile Broadband Subscription on Fixed Broadband Termination," 2017.
- [22] A. Botelho and L. C. Pinto, "The diffusion of cellular phones in Portugal," *Telecommun. Policy*, vol. 28, no. 5–6, pp. 427–437, Jun. 2004.
- [23] "Information and Communication Technologies Authority - Establishment," *btk.gov.tr*. [Online]. Available: <http://eng.btk.gov.tr/en-US/Pages/Establishment>. [Accessed: 16-Nov-2015].
- [24] J. B. Burnham, "Telecommunications policy in Turkey: Dismantling barriers to growth," *Telecommun. Policy*, vol. 31, no. 3–4, pp. 197–208, Apr. 2007.
- [25] I. Atiyas, "Regulation and Competition in the Turkish Telecommunications Industry," in *The Political Economy of Regulation in Turkey*, T. Çetin and F. Oğuz, Eds. Springer New York, 2011, pp. 177–191.
- [26] B. Gompertz, "On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality, and on a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies," *Philos. Trans. R. Soc. Lond.*, vol. 115, pp. 513–583, 1825.
- [27] D. Fekedulegn, M. P. Mac Siúrtáin, and J. J. Colbert, "Parameter Estimation of Nonlinear Models in Forestry.," vol. 33, no. 4, pp. 327–336, Nov. 1999.
- [28] L. F. Gamboa and J. Otero, "An estimation of the pattern of diffusion of mobile phones: The case of Colombia," *Telecommun. Policy*, vol. 33, no. 10–11, pp. 611–620, Nov. 2009.
- [29] J. Tidd, *Gaining Momentum: Managing the Diffusion of Innovations*. World Scientific, 2010.
- [30] N. Meade and T. Islam, "Technological Forecasting—Model Selection, Model Stability, and Combining Models," *Manag. Sci.*, vol. 44, no. 8, pp. 1115–1130, Aug. 1998.
- [31] J. C. Fisher and R. H. Pry, "A simple substitution model of technological change," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 3, pp. 75–88, Jan. 1971.
- [32] D. Kucharavy and R. De Guio, "Logistic substitution model and technological forecasting," *Procedia Eng.*, vol. 9, pp. 402–416, Jan. 2011.
- [33] N. Nakicenovic, "Software Package for the Logistic Substitution Model," Dec-1979. .
- [34] M. Karacuka, J. Haucap, and U. Heimeshoff, "Competition in Turkish mobile telecommunications markets: Price elasticities and network substitution," *Telecommun. Policy*, vol. 35, no. 2, pp. 202–210, Mar. 2011.
- [35] "Electronic_Communications_Law_Turkey.pdf" .
- [36] J. W. Yung, P. S. Meyer, and J. H. Ausubel, "The Loglet Lab Software: A Tutorial," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 61, no. 3, pp. 273–295, Jul. 1999.
- [37] P. Young and J. K. Ord, "Model selection and estimation for technological growth curves," *Int. J. Forecast.*, vol. 5, no. 4, pp. 501–513, Jan. 1989.
- [38] D. C. Schmittlein and V. Mahajan, "Maximum Likelihood Estimation for an Innovation Diffusion Model of New Product Acceptance," *Mark. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 57–78, 1982.
- [39] V. Srinivasan and C. H. Mason, "Technical Note—Nonlinear Least Squares Estimation of New Product Diffusion Models," *Mark. Sci.*, vol. 5, no. 2, pp. 169–178, May 1986.
- [40] F.-K. Wang and K.-K. Chang, "Modified diffusion model with multiple products using a hybrid GA approach," *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 10, pp. 12613–12620, Dec. 2009.
- [41] D. Satoh, "A discrete bass model and its parameter estimation," *J. Oper. Res. Soc. Jpn.-Keiei Kagaku*, vol. 44, no. 1, pp. 1–18, 2001.


Hava Kalite İndeksinin Tahmin Başarısının Artırılması için Topluluk Regresyon Algoritmalarının Kullanılması

*¹Muhammet Emre Irmak, ²İbrahim Berkan Aydılek

¹Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

memreirmak@hotmail.com, 

²Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

berkanaydilek@harran.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 02.11.2018

Kabul Tarihi: 21.03.2019

Öz

Şehirlerdeki hava kalitesi seviyesinin düzenli aralıklarla ölçülmesi ve ölçüm sonuçlarının incelenerek gerekli önlemlerin alınması bu şehirlerde yaşayan insanların ve diğer canlıların sağlıkları için oldukça önemlidir. Ülkemizde bu amaçla ilgili bakanlık tarafından pek çok şehre hava kalitesi ölçüm istasyonları kurulmuştur. Bu çalışmada bu istasyonlardan biri olan Adana ili valilik istasyonuna ait ölçüm verileri kullanıldı. Kullanılan veriler kükürt dioksit (SO₂), azot dioksit (NO₂), ozon (O₃), karbon monoksit (CO) ve toz parçacıkları (PM10) gibi hava kirlenici gazların ölçüm değerleridir. Bu verilere farklı makine öğrenme algoritmaları uygulanarak hava kalite indeksi tespit edildi. Kullanılan makine öğrenmesi regresyon algoritmaları; rastgele orman, karar ağacı, destek vektör, k-en yakın komşu, doğrusal, yapay sinir ağı, yığın, uyumlu artırıcı, eğimli artırıcı ve örnekleme toplam regresyonudur. Bu algoritmaların hata oranları ve çalışma süreleri bakımından başarı değerleri kıyaslanarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava Kalite İndeksi, Makine Öğrenmesi, Regresyon Algoritmaları, Topluluk Öğrenme

Using Ensemble Regression Algorithms for Improving the Prediction Success of Air Quality Index

*¹Muhammet Emre Irmak, ²İbrahim Berkan Aydılek

¹ Harran University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical and Electronics Engineering, Sanliurfa, Turkey,

memreirmak@hotmail.com

² Harran University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Sanliurfa, Turkey,

berkanaydilek@harran.edu.tr

Abstract

Measuring the air quality level in the city at regular intervals and taking the necessary measures by examining the results of the measurement is very important for the health of the people and other living things in these cities. For this purpose, air quality measurement stations have been established in many cities by the relevant ministry. In this study, one of these stations, Adana province provincial station measurement data was used. The data used are the measured values of air pollutant gases such as sulfur dioxide (SO₂), nitrogen dioxide (NO₂), ozone (O₃), carbon monoxide (CO) and dust particles (PM10). The air quality index was determined by applying different machine learning algorithms to these data. Machine learning regression algorithms used; random forest, decision tree, support vector, k-nearest neighbor, linear, artificial neural network, stacking, adaboost, gradient boosting and bagging regression. The results obtained by comparing the success rates of these algorithms in terms of error rates and run times were evaluated.

Keywords: Air Quality Index, Machine Learning, Regression Algorithms, Ensemble Learning

1. GİRİŞ

Bulduğumuz yüzyılda insanların büyük çoğunluğu yüksek nüfuslu şehirlerde yaşamaktadır. Yüksek nüfuslu şehirler pek çok

sorunu içerisinde barındırabilmektedir. Yüksek nüfuslu bu şehirlerin sorunlarından biri de hava kirliliğidir. Hava kirliliği ulaşım, ısınma ve sanayi gibi insan kaynaklı olabileceği gibi çöl tozları, yanardağ faaliyetleri ve orman yangınları gibi doğal

*¹Sorumlu Yazar: Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye, memreirmak@hotmail.com, +905069273026

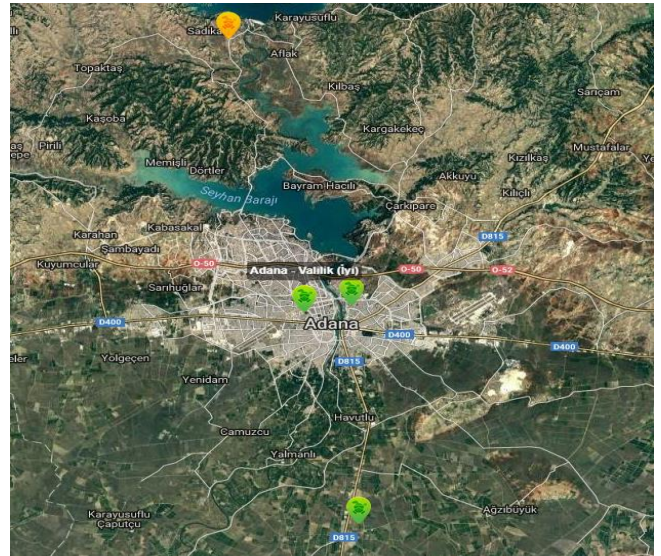
kaynaklı da olabilmektedir. Şehirlerdeki bu hava kirliliğinin önlenmesi için hava kirliliğinin belirli noktalardan ölçülmesi ve bu ölçüm sonuçlarına göre gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir [1].

Hava kalitesinin belirlenmesi için ölçülecek olan değerler uluslararası ve ulusal değerlendirmeler sonucunda belirlenmiştir. Buna göre hava kirliliği kükürt dioksit (SO₂), azot dioksit (NO₂), ozon (O₃), karbon monoksit (CO) gazları ve toz parçacıklarının (PM10) miktarlarına göre belirlenmektedir. Bu ölçümlerden istenen sonuçların çıkarılmasında geleneksel matematiksel modeller kullanıldığı gibi son zamanlarda yapay zekâ modelleri de kullanılmaktadır. Veljanovska ve Dimoski (2018) yaptıkları çalışmada Üsküp şehrinin hava kalite indeksini belirlemede k en yakın komşu, karar ağacı, yapay sinir ağları ve destek vektör makineleri sınıflandırma algoritmalarının başarı sonuçlarını kıyaslamışlardır [2]. Dragomir (2010) yaptığı çalışmada Romanya'daki hava kalite indeksini hesaplamak için k en yakın komşu sınıflandırmasını kullanmıştır [3]. Adams ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada Kanada Ontaryo gölü bölgesinde havadaki PM2.5 ve NO₂ değerlerini yapay sinir ağları ile hesaplamışlar ve sonuçları geleneksel yöntemle karşılaştırmışlardır [4]. Raturi ve Prasad (2018) hava kalite indeksini hesaplamada yapay sinir ağlarını kullanmışlardır [5]. Zhai ve Chen (2017) yaptıkları çalışmada Çin'in başkenti Pekin'in hava kalite seviyesini tahminde genetik algoritmaları ve yapay sinir ağlarını kullanmışlar ve başarımlarını kıyaslamışlardır [6]. Wang ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada Çin'in Nanjing şehrinin hava kalite indeksini hesaplamada otoregresif entegre hareketli ortalamayı ve bulanık zaman serilerini kullanmışlardır [7].

Bu çalışmada makine öğrenmesi regresyon algoritmalarının başarı değerleri kıyaslanmıştır. Kullanılan regresyon yöntemleri; rastgele orman regresyonu, karar ağacı regresyonu, destek vektör regresyonu, k-en yakın komşu regresyonu, doğrusal regresyon ve yapay sinir ağı regresyonu yığın regresyonu, uyumlu artırıcı regresyonu, eğimli artırıcı regresyonu ve örneklemeli toplam regresyonudur.

2. ULUSAL HAVA KALİTESİ İNDEKSİ VE ADANA

Bu çalışmada kullanılan veri seti, Adana ilinin valilik istasyonuna ait 2013-2017 yılları arasındaki PM10, SO₂, NO₂, O₃ ve CO hava kirliticilerinin saatlik ölçüm değerlerinden oluşmaktadır. Veri seti ilgili bakanlığa ait internet adresinden [8] elde edilmiştir. Şekil 1.'de Adana ilindeki 4 adet hava kalite izleme istasyonunun ve çalışma alanı olan valilik istasyonunun konumu görülmektedir. Hava kalite indeksi, hava kalitesinin sağlık açısından hangi seviyede olduğunu ifade etmektedir. Birleşik devletler çevre koruma ajansının (Unites States Environmental Protection Agency- EPA) yayımladığı değerleri Tablo 1.'de verilmiştir [9], [10]. Ulusal hava kalite indeks değerleri, EPA değerlerinin ulusal mevzuata ve sınır değerlerine uyarlanması ile oluşturulmuştur [10]. Kirliticilerin değerleri bir metre küp havada kaç mikrogram bulduklarını ifade eden µg/m³ cinsinden ölçülmektedir. Deneysel çalışmada; SO₂ ve NO₂ gazlarının saatlik ortalama değerleri, CO ve O₃ gazlarının son 8 saatlik ortalama değerleri ve PM10 toz değerinin son 24 saatlik ortalama değerleri hesaplanarak kullanılmıştır.



Şekil 1. Çalışma Alanı- Adana İli Valilik İstasyonu

Tablo 1. EPA Hava Kalite İndeksi Değerleri

Hava Kalitesi İndeksi (AQI) EPA Değerleri	Sağlık Endişe Seviyeleri	Renkler	Anlamı
0-50	İyi	Yeşil	Hava kalitesi memnun edici ve risk teşkil etmiyor
51-100	Orta	Sarı	Hava kalitesi uygun fakat hava kirliliğine hassas olan az sayıdaki insanlar için bazı kirliticiler açısından orta düzeyde sağlık endişesi oluşabilir
101-150	Hassas	Turuncu	Hassas gruplar için sağlık etkileri oluşabilir. Genel olarak kamunun etkilenmesi olası değildir.
151-200	Sağlıksız	Kırmızı	Herkes sağlık sorunları yaşamaya başlayabilir. Hassa gruplar için ciddi sağlık etkileri söz konusu olabilir
201-300	Kötü	Mor	Sağlık açısından acil durum oluşturabilir. Nüfusun tamamının etkilenme olasılığı yüksektir
301-500	Tehlikeli	Kahverengi	Sağlık Alarmı: Herkes çok ciddi sağlık sorunlarıyla karşılaşır

Tablo 2.'de verilen ulusal hava kalitesi indeks kesme noktalarına göre her bir hava kirleticisi için hava kalite indeks değeri iyi, orta, hassas, sağlıksız, kötü ve tehlikeli olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak hava kalite indeksi en kirli gazın indeks değerine eşit olmaktadır. Hesaplama için geliştirilen programda indeks sayısal karşılıkları kullanılmıştır. Bu amaçla, iyi indeks değeri için 1, orta indeks değeri için 2, hassas indeks değeri için 3, sağlıksız indeks değeri için 4, kötü indeks değeri için 5, tehlikeli indeks değeri için 6 değerleri kullanılmıştır.

Tablo 2. Ulusal Hava Kalitesi İndeksi Kesme Noktaları

Hava Kalite İndeksi i	SO ₂ [µg/m ³]	NO ₂ [µg/m ³]	CO [µg/m ³]	O ₃ [µg/m ³]	PM10 [µg/m ³]
	1 Sa. Ort.	1 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	24 Sa. Ort.
İyi	0-100	0-100	0-5500	0-120	0-50
Orta	101-250	101-200	5501-10000	121-160	51-100
Hassas	251-500	201-500	10001-16000	161-180	101-260
Sağlıksız	501-850	501-1000	16001-24000	181-240	261-400
Kötü	851-1100	1001-2000	24001-32000	241-700	401-520
Tehlikeli	>1100	>2000	>32000	>700	>520

Veri seti üzerinde, hava kalitesi ölçüm istasyonundaki bakım çalışmaları ve donanım hatalarından oluştuğu düşünülen eksik veriler mevcuttur. Eksik veriler her bir gazın 2013-2017 yılı ortalama değeri ile tamamlanmıştır. Veri setinde yer alan nitelikler arasında çok büyük farklar olduğunda bir nitelik değerini baskılayabilmektedir. Bu gibi baskın niteliklere ait verileri tek bir düzen içinde ele almak ve aynı algoritmada kullanılabilir hale getirmek için normalleştirme işlemi uygulanmaktadır. Örneğin CO niteliği 0 ile 32000 arasında değer alırken, PM10 niteliği 0 ile 520 arasında değer almaktadır. Burada, normalleştirme yapılmazsa yapay sinir ağı için CO niteliği daha baskın hale gelebilecektir. Bu sebeple, mevcut diğer niteliklerin sonuca olan etkileri baskılanabileceğinden dolayı doğru sonuca ulaşamayacaktır. Bu çalışmada min-maks (asgari-azami) normalleştirme kullanılarak veriler 0 ve 1 arasında olacak şekilde normalleştirilmiştir. Hesaplama işlemleri, veri madenciliği ve makine öğrenmesi için faydalı kütüphaneleri içeren Python programlama dili derleyicisi Spyder [11] ile yapılmıştır. Hesaplama işlemi bittikten sonra 2013-2017 yılları için 43838 kayıt içeren bir veri seti elde edilmiştir. Bu veri setinin içerisinde rastgele seçilerek elde edilmek şartıyla %75 oranında bir eğitim veri seti ve %25 oranında bir test veri seti oluşturulmuştur. Spyder derleyicisi üzerinde Pandas ve Sklearn kütüphanesi yardımıyla makine öğrenmesi algoritmaları çalıştırılmıştır. Regresyon algoritmaları önce eğitim veri seti ile eğitilmiştir. Sonrasında aynı algoritmaya test verisi uygulanmış ve hata değerleri kaydedilmiştir. Her bir algoritmaya aynı işlemler uygulanmış ve değerleri kaydedilmiştir. Sonuç kısmında algoritmalar, Eş. (20) ile hesaplanan belirlilik katsayısı (r^2), Eş. (21) ile hesaplanan ortalama mutlak hata (OMH), Eş. (22) ile

hesaplanan ortalama karesel hata (OKH) ve işlem süreleri açısından kıyaslanmıştır.

3. KULLANILAN MAKİNE ÖĞRENMESİ REGRESYON ALGORİTMALARI

3.1. Temel Regresyon Yöntemleri

3.1.1. Doğrusal Regresyon (Linear Regression-LR)

Bağımsız değişkenler olan girdilerin ve bunlara bağlı olarak hesaplanan çıktının arasındaki ilişkinin doğrusal olarak belirlendiği bir algoritmadır [12]. Çalışmada 5 tane bağımsız değişken olduğu için doğrusal regresyon Eş. (1) ile ifade edilecektir.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik} + \epsilon_i \quad (1)$$

$i = 1, 2, \dots, n$

Doğrusal regresyon algoritması girdiler için çıktıları tahmin etmeye çalışmaktadır. Her denemede hata değerini hesaplayarak bir sonraki denemede bu değeri düşürmeye çalışmaktadır. Algoritma β_0 sabitini -0.00514807 olarak β_1 , β_2 , β_3 , β_4 ve β_5 ağırlıklarını sırasıyla 0.6885489, 0.6766748, 0.08699996, 1.32685881, 2.17248983 olarak hesaplamıştır.

3.1.2. Karar Ağacı Regresyon (Decision Tree Regression-DTR)

Karar ağacı yapısı ilk olarak 1986 yılında Quinlan tarafından yayınlanmıştır [13]. Karar ağacı karar düğümlerinden ve yaprak düğümlerinden oluşmaktadır. Düğüm hesaplamalarında regresyon işlemi yapılacaksa bilgi kazanımı yerine standart sapma (Eş. (2)) kullanılmaktadır. Öncelikle hedef kümesinin standart sapması hesaplanmaktadır. Sonra diğer kümelerle hedef kümeler arasında ikili standart sapma değerleri (Eş. (3)) hesaplanmaktadır ve her birisinin sonucu hedef kümesinin standart sapma değerinden (Eş. (4)) çıkarılmaktadır. SDR değeri en büyük olan küme kök olarak belirlenmektedir. Bu adımlar her bir düğüm için devam ettirilerek ağaç yapısı oluşturulmaktadır.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x-\mu)^2}{n}} \quad (2)$$

$$S(T, X) = \sum_{c \in X} P(c) S(c) \quad (3)$$

$$SDR(T, X) = S(T) - S(T, X) \quad (4)$$

3.1.3. K-En Yakın Komşu Regresyonu (K-Nearest Neighbor Regression- k-NNR)

Algoritma her bir test verisi için eğitim verileriyle olan uzaklık mesafesini hesaplamaktadır. Uzaklık mesafesi aşağıda verilen öklid uzaklık fonksiyonu (Eş. (5)) manhatın uzaklık fonksiyonu (Eş. (6)) veya minkowski uzaklık fonksiyonundan (Eş. (7)) istenen birisi ile hesaplanabilmektedir [14]. Sonra belirlenen k tane en yakın komşunun hedef verisi test verisinin sonucu olmaktadır.

$$\sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^k |x_i - y_i| \quad (6)$$

$$\left(\sum_{i=1}^k (|x_i - y_i|)^q\right)^{\frac{1}{q}} \quad (7)$$

3.1.4. Destek Vektör Regresyon (Support Vector Regression-SVR)

Destek vektör makineleri ilk olarak Vapnik tarafından ortaya atılmıştır [15]. Destek vektör regresyon ise Smola tarafından geliştirilmiştir [16]. Destek vektör regresyonunda amaç birbirleriyle aynı özellikler taşıyan özniteliklerin, özniteliklere en yakından geçen bir doğru yardımıyla ayrılmasıdır (Eş. (8), Eş. (9), Eş. (10), Eş. (11)). Doğrusal olarak ayrılamayan öznitelikler olduğu durumlarda farklı çekirdek (kernel) fonksiyonları yardımıyla ayrılabilmesi sağlanabilmektedir (Eş. (12), Eş. (13), Eş. (14), Eş. (15)).

$$y = wx + b \quad (8)$$

$$\min \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad (9)$$

$$y_i - wx_i - b \leq \varepsilon \quad (10)$$

$$wx_i + b - y_i \leq \varepsilon \quad (11)$$

$$y = \sum_{i=1}^N (a_i - a_i^*) K(x_i, x) + b \quad (12)$$

$$k(x, x') = \langle x, x' \rangle^p \quad (13)$$

$$k(x, x') = (\langle x, x' \rangle + c)^p \quad (14)$$

$$k(x, x') = \tanh(\theta + \kappa \langle x, x' \rangle) \quad (15)$$

3.1.5. Yapay Sinir Ağı Regresyon (Neural Network Regression- NNR)

Giriş katmanından, n sayıda nöron içerebilen bir veya daha fazla gizli katmandan ve çıkış katmanından oluşan bir yapıdır. Katmandaki nöronlar birbirlerine bağlıdır. Katmanlardaki nöronlar bir ağırlık katsayısına ve aktarım fonksiyonuna sahiptir.

3.2.3. Uyumlu Artırcı Regresyon (Adaboost Regression-ADBR)

Temel regresyon algoritması olarak kullanılan karar ağacı regresyonu veri seti ile eğitilmektedir. Bir sonraki regresyon işlemi yapılırken ilk regresyonda yanlış tahmin edilen verilere ait eğitim verilerinin göreceli ağırlığı artırılarak eğitim işlemine devam edilmektedir [20]. Ağırlıklar güncellenerek durdurma şartı oluşana kadar regresyon işlemine devam edilmektedir.

3.2.4. Eğimli Artırcı Regresyon (Gradient Boosting Regression- GRBR)

Temel regresyon modeli veri seti ile eğitilmektedir. Tahmin hata değerleri bir sonraki tahmin değerlerine eklenmektedir. Gradyan iniş kullanarak ve tahminleri öğrenme oranına göre güncelleyerek, hata değerinin en az olduğu model bulunmaya çalışılmaktadır [21].

3.2.5. Örnekleme Toplam Regresyon (Bagging Regression- BAGR)

Bu yöntemde ise aynı algoritma verinin farklı altkümeleri üzerinde çalıştırılmaktadır [22]. Altkümeleri oluştururken, örnekleme işlemi yerine koyma ile yapılırsa bu yöntem bagging olarak adlandırılmaktadır. Tüm tahmin ediciler eğitildikten sonra, tahminleri birleştirmek için regresyon probleminde tahminlerin ortalaması kullanılmaktadır.

Giriş katmanından gelen bilgi çıkışa doğru ilerlerken nöronlardaki ağırlıklar ile çarpılarak aktarım fonksiyonundan Eş. (17), Eş. (18), Eş. (19) geçirilir ve diğer nöronlara aktarılır. Ağ yapısı geri yayımlı ise her eğitim döngüsünde ağdaki nöronların ağırlık değerleri güncellenir [17]. Algoritmada giriş katmanında 5 nöron, gizli katmanda 100 nöron ve çıkış katmanında 1 nöron bulunmaktadır. Doğrusal aktarım fonksiyonu kullanılmıştır.

$$y = f(w1.X1 + w2.X2 + b) \quad (16)$$

$$y = x \quad (17)$$

$$y = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (18)$$

$$y = \frac{1-e^{-2x}}{1+e^{-2x}} \quad (19)$$

3.2. Topluluk Tabanlı Öte (Meta) Algoritmalar

3.2.1. Rastgele Orman Regresyon (Random Forest Regression- RFR)

Birden fazla sayıda karar ağacı oluşturularak bunların içerisinde en iyi sonucu verenin seçilmesidir [18]. Çalışmada 30 adet karar ağacı oluşturularak bunlar içerisinde en iyi olan seçilmiştir.

3.2.2. Yığın Regresyon (Stacking Regression- STCKR)

Birden fazla regresyon modelinin birlikte kullanılarak tahmin sonucunun iyileştirilmesinde kullanılan bir regresyon algoritmasıdır [19]. Öncelikle birden fazla regresyon algoritması tüm veri seti kullanılarak eğitilmekte ve tahminler üretilmektedir. Tahminler ile önceki veri seti kullanılarak yeni bir veri seti üretilmektedir. Son olarak bir regresyon algoritması yeni veri seti ile son tahminleri üretmede kullanılmaktadır.

4. DOĞRULUK BAŞARI DEĞERLERİNİ HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

Çalışmada kullanılan regresyon algoritmaların başarı sonuçları değerlendirilirken belirlilik katsayısı (r^2), ortalama mutlak hata (OMH- mean absolute error (MAE)) ve ortalama karesel hata (OKH – mean squared error (MSE)) ölçütleri kullanılmıştır. Eş. (20) ile ifade edilen belirlilik katsayısı, regresyon kareler toplamının genel kareler toplamına bölümüyle elde edilen istatistiksel bir sonuçtur. Eğitim verileri ile eğitilmiş algoritmaların test verileri için ürettikleri tahminlerin gerçek değerlere ne ölçüde yakın olduğunun bir göstergesidir. Değer ne kadar 1'e yakın ise regresyon algoritması o derece başarılıdır.

$$r^2 = \frac{\sum_i (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad (20)$$

Ortalama mutlak hata, test verisindeki gerçek değerler ile tahmin değerleri arasındaki farkların mutlak değerinin ortalamasıdır (Eş. (21)). Değerin 0'a yakın olması hatanın düşük olduğunu ifade etmektedir.

$$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |y_j - \hat{y}_j| \quad (21)$$

Ortalama karesel hata, test verisindeki gerçek değerler ile tahmin değerleri arasındaki farkların karelerinin ortalamasıdır (Eş. (22)).

Değerin 0'a yakın olması hatanın düşük olduğunu ifade etmektedir.

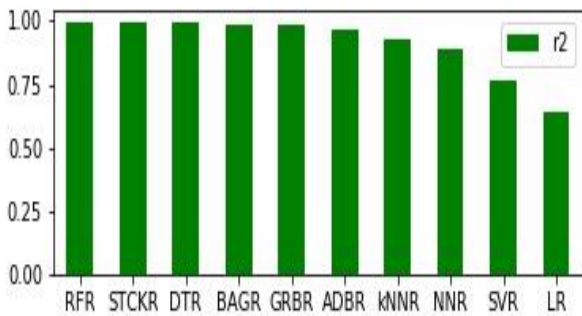
$$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2 \quad (22)$$

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada kullanılan regresyon algoritmalarının belirlilik katsayısı (r^2), ortalama mutlak hata (OMH- mean absolute error (MAE)), ortalama karesel hata (OKH – mean squared error (MSE)) ve saniye cinsinden işlem süresi değerleri büyükten küçüğe sıralı olarak Tablo 3.'de verilmiştir.

Tablo 3. Regresyon Algoritmalarının Başarı Değerleri

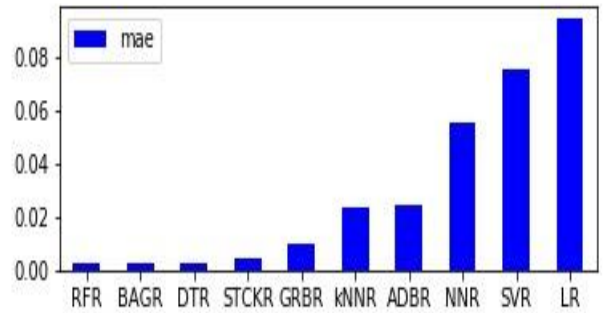
Regresyon Algoritması	r^2	mae	mse	süre
Rastgele Orman (RFR)	0.99049	0.00275	0.00037	1.12502
Yığın (STCKR)	0.99047	0.00442	0.00037	21.42568
Karar Ağacı (DTR)	0.99036	0.00293	0.00038	0.04088
Örnekleme Toplamı (BAGR)	0.99006	0.00283	0.00039	1.01229
Eğimli Artırıcı (GRBR)	0.98704	0.00967	0.00051	0.33809
Uyumlu Artırıcı (ADBR)	0.96364	0.02447	0.00142	0.57346
K-En Yakın Komşu (KNNR)	0.92685	0.02331	0.00286	0.29321
Yapay Sinir Ağı (NNR)	0.88783	0.05604	0.00439	1.08011
Destek Vektör (SVR)	0.76300	0.07609	0.00927	13.88685
Doğrusal (LR)	0.64496	0.09443	0.01389	0.00699



Şekil 2. Regresyon Algoritmalarının Belirlilik Katsayıları Kıyaslaması

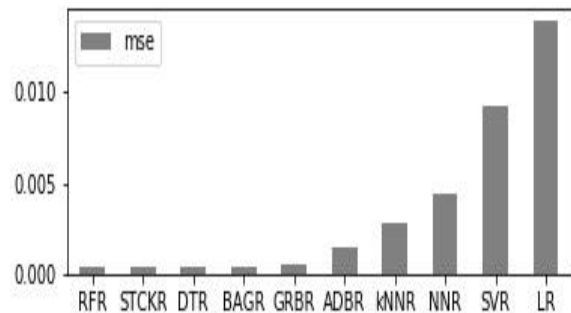
Şekil 2.'de regresyon algoritmalarının belirlilik katsayılarının (r^2) kıyaslama grafiği verilmiştir. Belirlilik katsayı değerinin 1'e yakın olması algoritmanın başarısının yüksek olduğunu ifade etmektedir. Çalışma sonucunda en iyi regresyon algoritması 0.99049 r^2 değeriyle rastgele orman regresyonu olmuştur.

Şekil 3.'de regresyon algoritmalarının ortalama mutlak hata (OMH) değerlerinin kıyaslama grafiği verilmiştir. Ortalama mutlak hata değerinin 0'a yakın olması algoritmanın başarısının yüksek olduğunu ifade etmektedir.



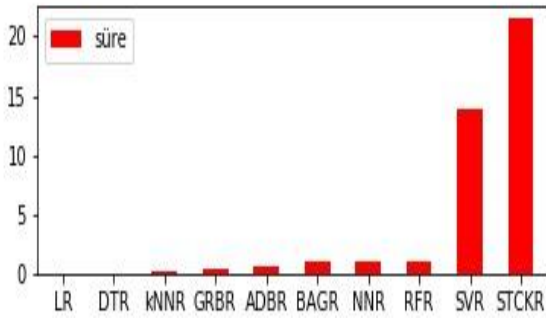
Şekil 3. Regresyon Algoritmalarının Ortalama Mutlak Hata Değerleri Kıyaslaması

Şekil 4.'de regresyon algoritmalarının ortalama karesel hata (OKH) değerlerinin kıyaslama grafiği verilmiştir. Ortalama karesel hata değerinin 0'a yakın olması algoritmanın başarısının yüksek olduğunu ifade etmektedir.



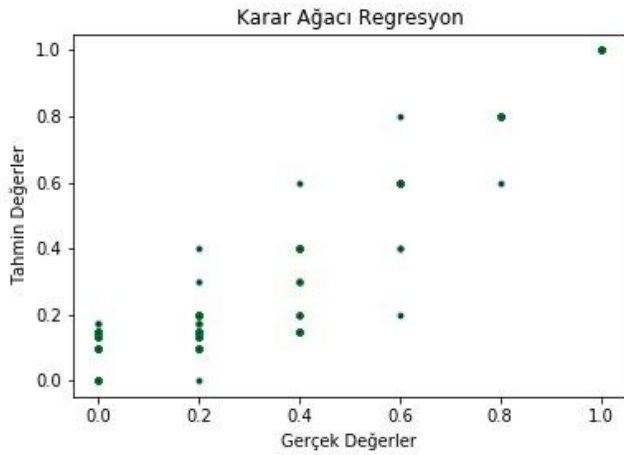
Şekil 4. Regresyon Algoritmalarının Ortalama Karesel Hata Değerleri Kıyaslaması

Şekil 5.'de regresyon algoritmalarının saniye cinsinden hesaplama süreleri kıyaslama grafiği verilmiştir. Destek vektör ve yığın regresyon dışındaki algoritmalar oldukça hızlı bir şekilde sonuç üretmişlerdir.



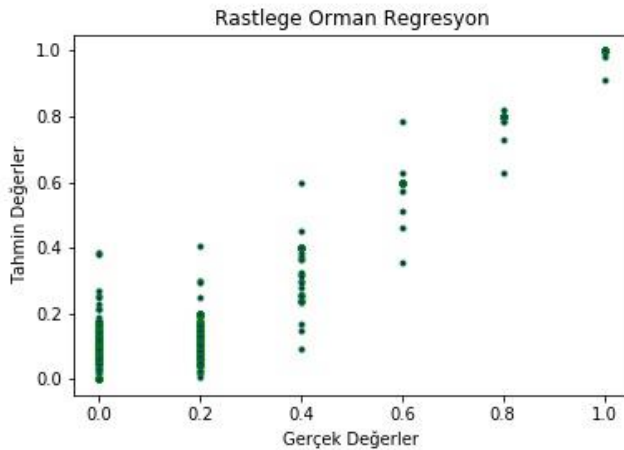
Şekil 5. Regresyon Algoritmalarının Hesaplama Süreleri Bakımından Kıyasları

Eğitim verileri ile eğitilmiş regresyon algoritmalarına test verileri uygulanmış, algoritmaların tahmin ettiği hava kalitesi indeks değerleri ile test verisindeki gerçek indeks değerlerini bir arada gösteren grafikler sırasıyla verilmiştir (Şekil (6.a., 6.b., 6.c., 6.d., 6.e., 6.f., 6.g., 6.h., 6.i, 6.i)).

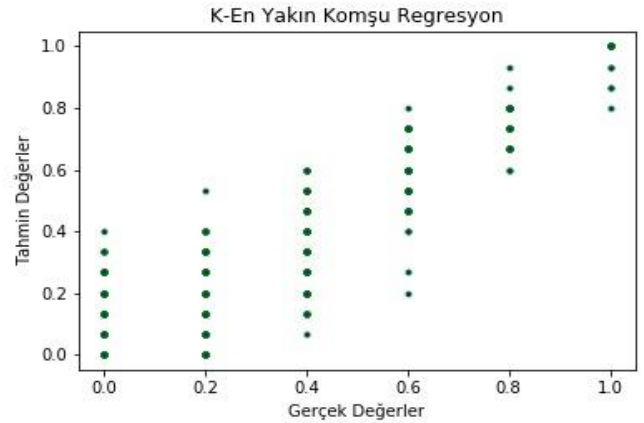


Şekil 6.a. Karar Ağacı Regresyon Değerleri

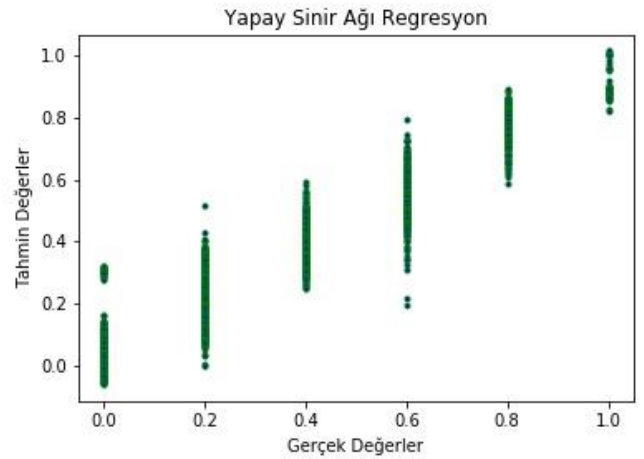
Bu grafiklerde gerçek değerler 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ve 1 olarak görülmektedir. Bunun sebebi hava kalite indeks değerleri olan 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 değerlerinin 0-1 arasında normalleştirilmiş olmasındandır.



Şekil 6.b. Rastgele Orman Regresyonu Değerleri

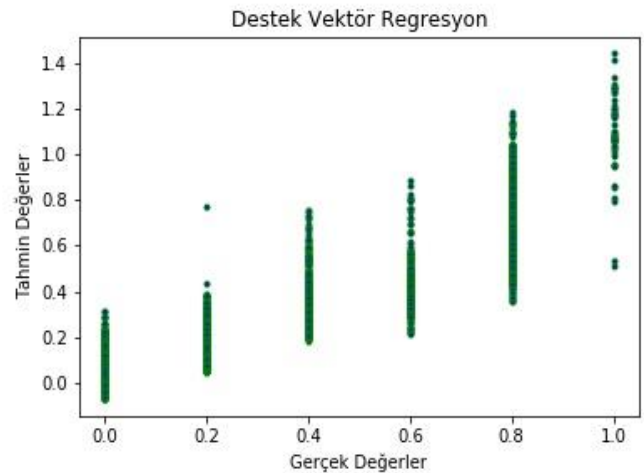


Şekil 6.c. K En Yakın Komşu Regresyonu Değerleri

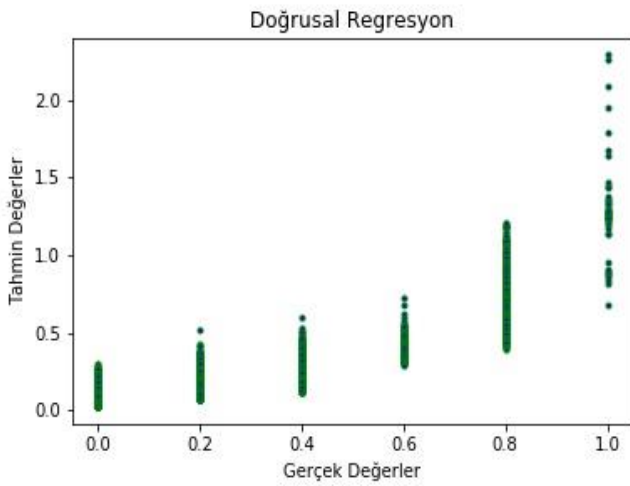


Şekil 6.d. Yapay Sinir Ağı Regresyonu Değerleri

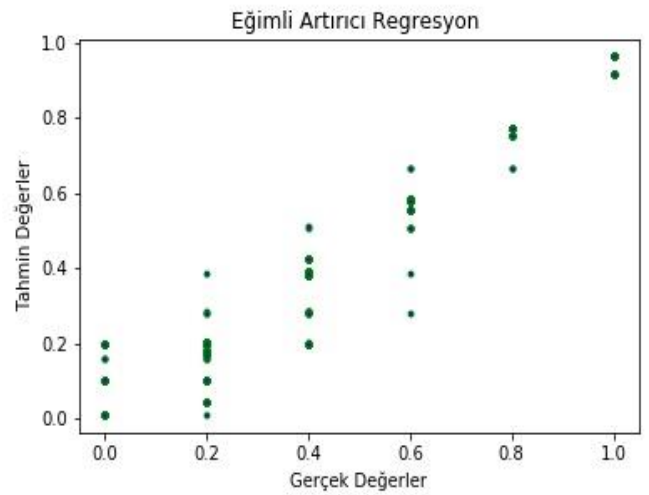
Şekillerde gerçek değerlere karşılık tahmin değerlerinin dağılımı görülmektedir. Örneğin gerçekte 0.4 olan değerlere ait tahminlerin 0.4 ve etrafında dağıldığı görülmektedir. Gerçek değerlere karşılık tahmin değerlerinin tek bir noktada toplanmadığı ve dağılım gösterdikleri şekillerde görülmektedir. Bu farklar hataları ifade etmektedir



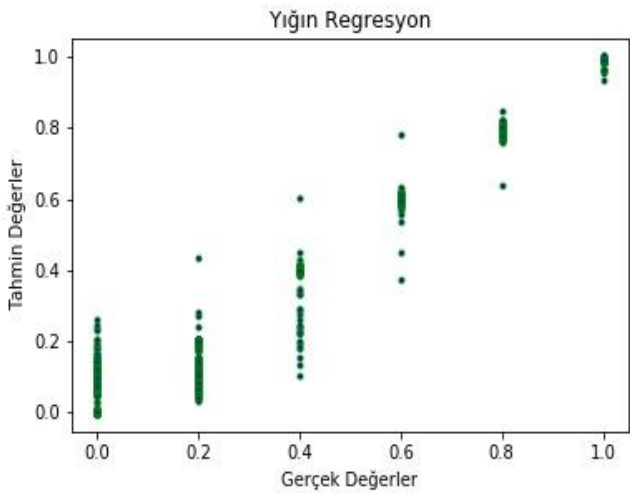
Şekil 6.e. Destek Vektör Regresyonu Değerleri



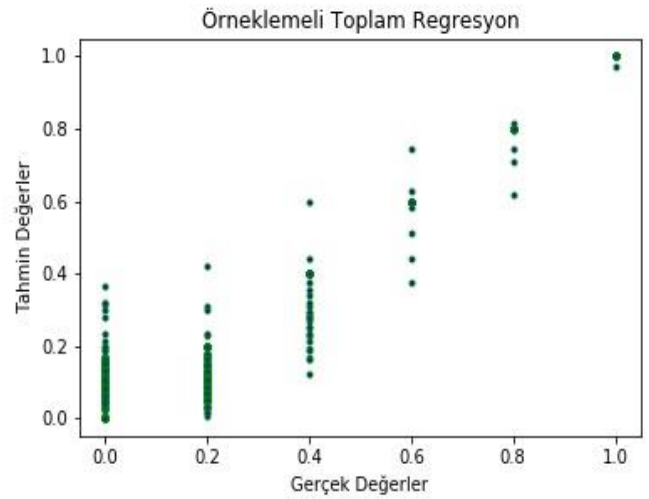
Şekil 6.f. Doğrusal Regresyon Değerleri



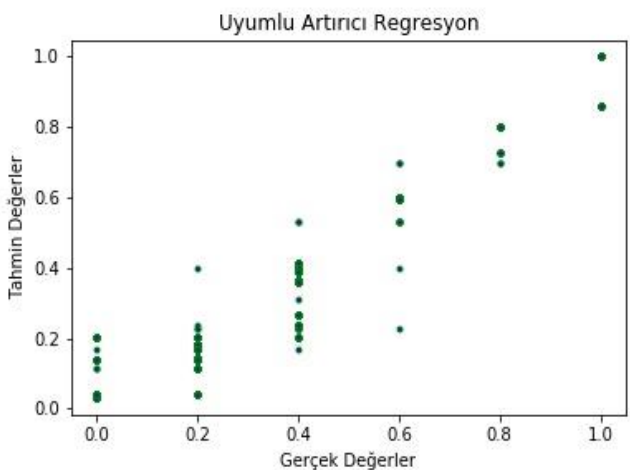
Şekil 6.1. Eğimli Artırcı Regresyonu Değerleri



Şekil 6.g. Yiğın Regresyonu Değerleri



Şekil 6.i. Örneklemeli Toplam Regresyon Değerleri



Şekil 6.h. Uyumlu Artırcı Regresyonu Değerleri

Veljanovska ve Dimoski [2] yaptıkları çalışmada sınıflandırma algoritmaları kullanmışlardır. Destek vektör makineleri ile yapay sinir ağı sınıflandırmasının başarı sonuçları bu çalışmadaki sonuçlar ile birbirine yakın bulunmuştur. K- en yakın komşu ve karar ağaçları sınıflandırmasının başarı sonuçları ise bu çalışmada kullanılan k- en yakın komşu ve karar ağaçları regresyona göre %15 daha düşük bulunmuştur. Bu farkın veri setindeki örnek sayısından ziyade algoritma yapılarındaki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Dragomir [3] yaptığı çalışmada k- en yakın komşu sınıflandırması ile 1 aylık veri seti üzerinde hava kalite indeksi tahmini yapmıştır. Bulduğu başarı sonucu, bu çalışmada kullanılan k- en yakın komşu regresyon başarı sonucundan %35 daha düşük bulunmuştur. Bu farkın oluşmasında kullanılan algoritma farklılığının yanı sıra veri setinin küçük boyutta olmasının da etkili olduğu düşünülmektedir. Zhai ve Chen [6] yaptıkları çalışmada hava kalite indeksini tahminde geri yayımlı sinir ağını ve genetik algoritma ile sinir ağını birlikte kullanmışlardır. Belirlilik katsayılarını (r^2) sırasıyla 0.72 ve 0.75 olarak hesaplamışlardır. Bu çalışmada kullanılan yapay sinir ağı regresyon yönteminin belirlilik katsayısı 0.88 olarak

hesaplanmış ve daha iyi sonuç ürettiği gözlenmiştir. Wang ve ark. [7] yaptıkları çalışmada hava kalite indeksini hesaplamada otoregresif entegre hareketli ortalamayı ve bulanık zaman serilerini kullanmışlar ve ortalama mutlak hata değerlerini sırasıyla 14.43 ve 10.80 olarak hesaplamışlardır.

6. SONUÇ


Bu çalışmada hava kalite indeksinin doğru tahmin edilebilmesi için regresyon temelli algoritmalar kullanılmıştır. Adana ili örneği üzerinde yapılan çalışmalar, belirlilik katsayısı (r^2) bakımından kıyaslandığında hava kalite indeksini en iyi tahmin edebilen algoritma rastgele orman regresyonu olmuştur. Topluluk tabanlı regresyon algoritmaları diğer algoritmalara göre daha başarılı sonuçlar üretmişlerdir. Tablo 3.'den görülebileceği üzere belirlilik katsayısı yüksek olan regresyon algoritmalarının hata değerleri olan ortalama mutlak hata (OMH) ve ortalama karesel hata (OKH) değerleri 0'a daha yakın bulunmuştur. Süre bakımından yığın regresyonu 21.42568 saniye, destek vektör regresyonu ise 13.88685 saniye ile diğer algoritmalara göre daha uzun işlem sürelerine sahiptir. En hızlı çalışan algoritma ise 0.00699 saniye ile doğrusal regresyon olmuştur. Bu çalışmadaki regresyon algoritmalarının ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hata değerleri literatürde hava indeksi hesaplamalarında kullanılan diğer yöntemlere oranla düşüktür ve bu regresyon algoritmaları ile daha iyi sonuçlar üretildiğini göstermektedir.


REFERANSLAR


- [1] L.H. Tecer, "Hava Kirliliği ve Sağlığımız. Bilim ve Akılın Aydınlığında Eğitim", S. 135, ss. 15-29., Mayıs 2011.
- [2] K. Veljanovska and A. Dimoski, "Air Quality Index Prediction Using Simple Machine Learning Algorithms", International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS), Volume 7, Issue 1, pp. 025-030, ISSN 2278-6856, January - February 2018.
- [3] E.A. Dragomir, "Air Quality Index Prediction using K-Nearest Neighbor Technique", BULETINUL Universității Petrol – Gaze din Ploiești, Volume 62, No 1, pp. 103 – 108, 2010.
- [4] M.D. Adams et al., "Air Quality Health Index Mapping: A Data Driven Modelling Approach", Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Science and Technology Athens, Greece, 5-7 September 2013.
- [5] R. Raturi and J.R. Prasad, "Recognition of Future Air Quality Index Using Artificial Neural Network", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 05, Issue: 03, e-ISSN: 2395-0056, 2018.
- [6] B. Zhai and J. Chen, "Research on the forecasting of Air Quality Index (AQI) based on FS-GABPNN: A case study of Beijing, China", Proceedings of the 14th ISCRAM Conference – Albi, France, May 2017.
- [7] H. Wang et al, "Air Quality Index Forecast Based on Fuzzy Time Series Models", Journal of Residuals Science & Technology, Vol. 13, No. 5, doi:10.12783/issn.1544-8053/13/5/161, 2016.
- [8] <http://www.havaizleme.gov.tr> (Nisan 2018'de erişildi)
- [9] https://www3.epa.gov/airnow/aqi_brochure_02_14.pdf (Ekim 2018'de erişildi)
- [10] <http://www.havaizleme.gov.tr/home/HKI> (Nisan 2018'de erişildi)
- [11] <https://www.spyder-ide.org> (Nisan 2018'de erişildi)
- [12] J.M. Stanton, "Galton, Pearson, and the Peas: A Brief History of Linear Regression for Statistics Instructors", Journal of Statistics Education, 9:3, DOI: 10.1080/10691898.2001.11910537, 2017.
- [13] J.R. QUINLAN, Machine Learning 1: 81-106, 1986
- [14] K. Alkhatib et al., "Stock Price Prediction Using K-Nearest Neighbor (k-NN) Algorithm", Int. J. Bus. Humanit. Technol., vol. 3, no. 3, pp. 32–44, March., 2013.
- [15] V. Vapnik, The nature of statistical learning theory, Springer-Verlag, New York, 2000.
- [16] A.J. Smola and B. Schölkopf, A tutorial on support vector regression, Statistics and Computing, 14 (3), 199-222, 2004.
- [17] F. Murtagh, "Multilayer perceptron for classification and regression", Neurocomputing, Volume 2, Issues 5-6, Pages 183-197, doi.org/10.1016/0925-2312(91)90023-5, 1991.
- [18] L. Breiman, "Random forests". Machine Learning, 45 (1): s.5-32., 2001.
- [19] L. Breiman, "Stacked regressions". Machine learning, 24.1. 49-64, 1996.
- [20] Y. Freund and R. Schapire, "A Decision-Theoretic Generalization of on-Line Learning and an Application to Boosting", 1995.
- [21] J.H. Friedman, "Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine", 1999.
- [22] L. Breiman, "Bagging predictors", Machine Learning, 24(2), 123-140, 1996.

Modeling Relationship Maps for The Factors of Purchasing Management System According to Selected Key Drivers Using Fuzzy Cognitive Maps

*¹Tuğba Tunacan, ²Bayram Topal, ²Alper Göksu

¹ Bolu Abant İzzet Baysal University, Engineering Faculty, Department of Industrial Engineering, Bolu,
tugbatunacan@ibu.edu.tr, 

²Sakarya University, Business Faculty, Department of Business, Sakarya,
btopal@sakarya.edu.tr, 

³Sakarya University, Engineering Faculty, Department of Industrial Engineering, Sakarya,
agoksul@sakarya.edu.tr, 

Research Paper

Arrival Date: 01.11.2018

Accepted Date: 11.09.2019

Abstract

Strategic management is the philosophy of the creation which provides a goal, a plan and a model for the competitive advantage. Companies define their own goals and generate the plan for goal according to this management philosophy. However, company can utilize successively from this philosophy so long as it is able to be adapted to all management systems such as product, inventory, manufacturing and etc... Purchasing management system is the one of them. It is a basic management unit where decisions, goals and plans are structured according to production and customer requirements which give the competitive advantage to each company. All of them can be managed strategically by being focused on the appropriate purchasing conditions including low-cost, high quality, and on-time delivery. In this study, we will determine variables and the relationships between them which affect in achieving the strategies of the company in terms of purchasing management system. Fuzzy cognitive mapping method will be selected in order to find them out because this method creates a map by using some strategies for system. The results will be presented at the end of the study.

Keywords: Purchasing Management System, Fuzzy Cognitive Map, Relationship Maps for Cost, Quality, and Delivery Drivers

1. INTRODUCTION

Many companies supply needs about material, service, and knowledge from outsource because they need to perform basic and support activities and to manage them. This is called the purchasing system. In this system, requirements are bought at an optimum price and a suitable method of payment according to how the product standards are defined. Besides, the purchasing management system is a structure which determines needs, makes a decision about appropriate suppliers, and manages all processes belonging to purchasing system. The basic aims and objectives for this management system can be presented as follows [14,30];

1. Ensuring the continuity of flow between material, supply, and service
2. Preventing the loss of time during material supply
3. Finding a lot of capable and reliable suppliers
4. Buying part or service which has lowest total cost

Some key questions can be produced because above objectives are fulfilled and product and service flow from producer to customer is provided constantly. These are as follows:

1. How much can the profit of company be increased by decreasing the total cost of the product when the purchase price of raw material is managed effectively? (cost savings)
 2. What extent is the quality of raw material important because product quality is a degree as much as customers expect? (Quality)
 3. Is the product cost affected because the product will be delivered in the range of dates offered by the customer if raw material is not received on time? (On-time Delivery)
 4. Which factors are important to determine purchasing performance? (Performance Management)
- Performance system, called as purchasing performance system, can be developed to solve the above questions. This is defined as quantitative and qualitative assessments to perform the operational objectives that company links with purchasing validation and effectiveness [19]. Stock and Lambert (2001) defined twenty performance data to evaluate purchasing performance. These includes in purchasing price, price variation, rate of defective, order amount like this [30]. These data resources which build up the internal structure of purchasing are used particularly in the selection phase of choosing a suitable supplier. Van Weele (2002) described four dimensions including price/cost, quality, logistic/time, and organizational in order to measure and evaluate the

*Corresponding author Bolu Abant İzzet Baysal University, Engineering Faculty, Department of Industrial Engineering, Bolu, tugbatunacan@ibu.edu.tr, +90 (374) 253 46 40 / 4901

activities of purchasing. While organizational dimension was identified as a qualitative measurement related to human resources and organizational structure in any company, the other three sources were quantitative dimensions measured by variables in the purchasing process [33].

In this study, a model will be developed in order to figure out which factors affect purchasing performance system. Also it searches out a solution about basic problems in this system. Factors and dimensions will be selected from not only internal sources pointing out studies performed by Stocker and Lambert, and Van-Der Weele but also external source from other management systems affecting purchasing management system. Because purchasing performance can be achieved by executing specific internal and external purchasing practices, in addition to other internal and external performance drivers [5,6]. Fuzzy cognitive mapping methods will be used to calculate the influence degree among factors. So, previous studies about purchasing performance system and the fuzzy cognitive map method will be reviewed. The second section shows the reviews. In the third section, results of application will be given after describing comprehensive framework of this study. Consequently, conclusion will be drawn.

2. LITERATURE REVIEW

In this section, a detailed literature review on purchasing performance system and fuzzy cognitive maps is presented in sub-headings, respectively.

1. Purchasing Performance System

Keegan et al (1989) developed a general framework to evaluate system performance in industry. Performance measurements of model consisted of design, materials, manufacturing cost, cost position in competitive, relative R&D expenditure, design cycle time, on-time delivery percentage, the number of new products, the quantity of loyal customers, the number of customer complaints, and market share [16]. Fitzgerald et al (1991) focused on financial performance, competitiveness, flexibility, resource utilization, and innovation to develop a general performance measurement framework [12]. Bourne et al. (2000) developed a more comprehensive model framework based on four perspectives. These are respectively financial, internal, customer, and innovation & learning. Financial perspective would cover profitability, value added /employee, order initiate and invoiced sales. Internal perspective has five different resources; order quality, forecast accuracy, supplier on-time, rework, and warranty returns.

Customer perspective was composed from customer complaint, on-time delivery, new customers, enquiries, quotation, sales activity, and order conversation rate. Finally, innovation & learning perspective occurred appraisals-on time, employee communication, surveillance stage gates, and on-time training needs met from occurs [3].

Pohl and Köhl (2011) evaluated a purchasing performance including five hypotheses based on five different role plans. These role plans include strategy measurement, measuring performance, influence behavior, learning and progress, and communication. They used four measurement variables to evaluate hypotheses and plans: cost, quality, delivery, and flexibility [24]. Saranga and Moser (2010) used key performance factors and mid-level output factors to figure out purchasing and supply performance. Key performance factors consisted of the number of strategic buyers, the quantity of transactional buyers, and the number of suppliers, while mid-level output factors occurred cost savings, cross-functional collaboration, and supplier performance [28]. Easton et al (2002) benefited from four input and two output sources to overcome the technical shortcomings of purchasing system and to measure purchasing performance. Inputs were operating expense, professionals, administration, and active suppliers. In addition, main output sources included purchase dollars, and percent of company savings [9]. Gonzalez-Benito (2007) utilized cost, quality, delivery, flexibility, and competing priorities to evaluate performance in strategic purchasing objective and to determine purchasing capabilities [13]. Ellram et. al (2002) proposed hypotheses by focusing on organizational success to research the link between purchasing and supply management and the corporation's success. These hypotheses were evaluated according to cost, product/service validation, price, technology affecting product life cycle, and standard sizes [10]. Emiliani et al (2005) identified alternative approaches and tactics to improve purchasing performance and to satisfy objectives of the company by focusing on purchasing price variation (PPV).

The study stated that purchasing and supply management organizations were evaluated with many different measurements like purchasing price, on-time delivery, quality, inventory price, etc... Also, they suggested that measurement system should be structured a cost-oriented system [11].

Pagell (2004) developed a comprehensive model to provide integration between purchasing and logistic system. The model covered eight integration factors and four strategies. These strategies were business, logistic, purchasing, and manufacturing levels. Three strategies were focused on quality, delivery, and price measures, while purchasing strategy was based only on price factor [22]. Baier et al (2008) designed a model by using purchasing, competitive priorities, purchasing practice, financial performance, and business strategy. The basic variables of each strategy were focused on cost, quality, technology, innovation, and management. However, purchasing practice strategy consisted of cost, quality, and innovation [2].

Cousins et al (2006) investigated the relationship between the purchasing configuration and organizational performance. Data sources which were used to evaluate this relationship were product quality, delivery speed, delivery reliability, flexibility of production, return on investment, return on sales, profit growth, return on total assets along

with information from upper management, suppliers, and purchasing professionals [7]. Narasimhan and Das (2011) divided performance factors as a three basic structure to investigate the relationship between purchasing practice and manufacturing performance: first order critical factor of achievement (CFA), and second order CFA and manufacturing performance. These factors involved buyer-supplier relationship development, supply base leveraging, supplier performance evaluation, and purchasing integration factors. Cost, quality, time, and delivery measures were used to find out performance levels of these factors [20].

Das and Narasimhan (2000) tried to identify purchasing competence and to investigate the relationship between the priorities of different manufacturing models and purchasing competence. Relationships were based on manufacturing cost, quality, and delivery together with new product design and customization [8]. Narasimhan et al (2001) attempted to identify the elements which designated purchase competence. This competence was examined in terms of five dimensions: empowerment, employee competence, effectiveness-tactical interaction, buyer-seller relationship, and interaction management effectiveness-NPD. Besides, these dimensions involved fifteen different measurements such as job security, sharing cost saving with suppliers, performance evaluation related to quality improvement, etc... [21].

We concluded that any performance system, especially purchasing performance system, should be focused on cost, quality, and on-time delivery, after all studies were examined. So, these dimensions were selected to develop a model and to determine drivers affecting purchasing management system.

2. Fuzzy Cognitive Mapping

Fuzzy Cognitive Map (FCM) is modeled as a single layer network, which the nodes of relationships between concepts are presented by the fuzzy weights [23]. Concepts are defined as the modeled attributes which consist of key factors, input, output, variable, events, actions, goals, and trends within the system [6, 34] and present the behavior of the system [6]. Each concept is represented by node. These specified nodes are indicated by C notation. Experts give the fuzzy weights in the range of [-1;+1] to produce the causal relationships between them after both concepts and nodes are determined. (-1) identify a negative relationship, while (+1)

present a positive relationship. Weights introduce by w_{ij} which describe relationship between i and j node [6,17,18,29,31,32,34,36]. Three types of relationship exist;

1. $w_{ij}>0$, there is a positive and direct relationship between C_i and C_j nodes. The value of C_j increases, when the value of C_i factor increases, or vice versa.
2. $w_{ij}<0$, there is a negative and inverse relationship between C_i and C_j nodes. The value of C_j increases, when the value of C_i factor decrease, or vice versa.
3. $w_{ij} = 0$ indicates that there is no relationship between the two factors.

Weight values are calculated according to evaluation scores given by experts. So, each FCM study is conducted with a different number of experts. However, the ideal number of experts is suggested in the range of 5-18 [25, 27]. Experts are selected from people who can describe structural behaviors in the system. They decide the concepts and the relationship scores between each other by observing system [6]. Each expert has a different perspective so a number of different maps are obtained and their maximum value equals the amount of used specialists. If you use fifteen experts, you can attain fifteen different maps. Then, the values of relationships on each map is converted into a single correlation score in the range of [-1; +1] by using mathematical methods. Thus, a common map is created. In this study, we use the fuzzy cognitive map method in order to determine the basic performance criteria for the purchasing management. The next section defines our conceptual model showing how we use this method.

3. A RESEARCH MODEL

Our conceptual model is made up of three phases as shown in figure 1. First phase includes system analysis stages. This system consists of three consecutive steps; defining strategic targets, investigating internal and external processes of system in accordance with targets, and selecting data sources or performance drivers in these processes. The Second phase is called design and evaluation. Drivers, called as nodes, determined in the previous phase are used to design a survey before experts are selected in order to get their scores. They will carry out their assessments in two ways. First, relationships between factors are interpreted with scores from 0 to 4 points. Second, they are re-evaluated in the form of positive (+) and negative (-) correlation. The information of these points is given in Table 1.

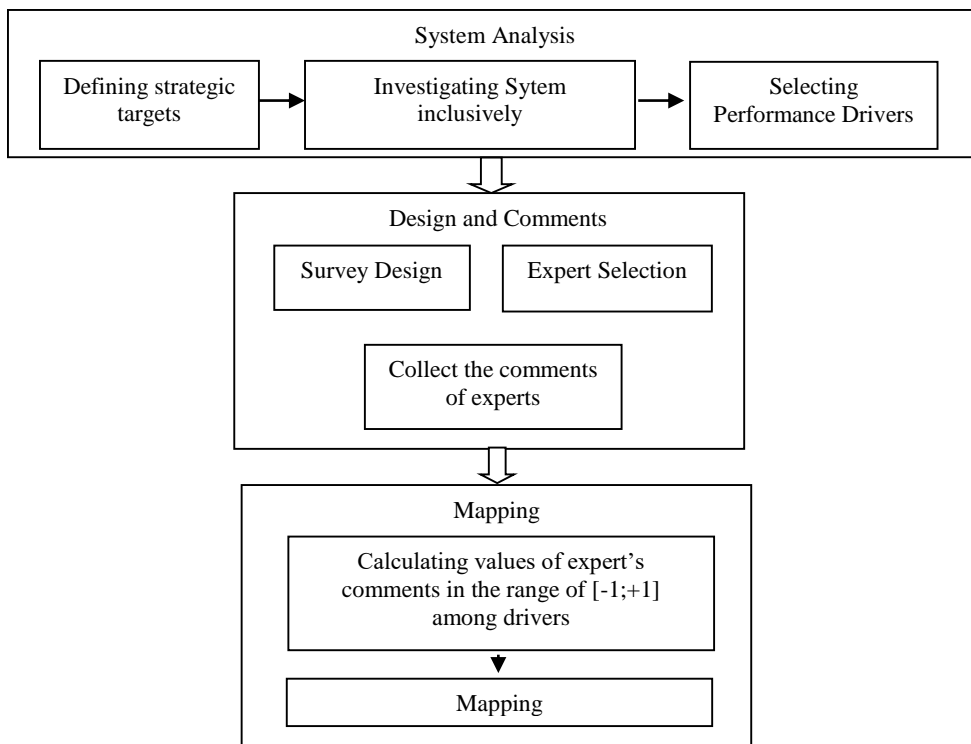


Fig 1. Conceptual Model

Table 1. Points and Definitions

Point	Definition
0	No relationship between nodes
1	Weak relationship
2	Medium relationship
3	Strong relationship
4	Very strong relation

Table 2. The Ranges of Fuzzy Relationship

The Ranges of Relationships	Definition
$0 \leq w_{ij} \leq 0,2$	Non
$0,2001 < w_{ij} \leq 0,4$	Weak
$0,4001 < w_{ij} \leq 0,6$	Middle
$0,6001 < w_{ij} \leq 0,8$	Strong
$0,8001 < w_{ij} \leq 1$	Very Strong

The last phase of the model includes mapping stages. The fuzzy values presented by “ w_{ij} (Weights between nodes)” are calculated via expert opinions on the surveys by using eq.1. These scores are converted to linguistic terms shown in table 2. All of them show positive relationship but negative ones with same scores define inverse relationship. The different views of the experts are combined with these calculations. Thus, a single map with linguistic expression is obtained.

Equation.1

$$w_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^K [A]_{ij}}{s \times K} \times r$$

$[A]_{ij}$ = Scores of expert

s= The total number of different scores in the range of [0-4] in j column

K = The number of experts

r = Relationship status =

$\begin{cases} 1 & \text{Total number of (+) > Total number of (-)} \\ -1 & \text{Total number of (+) < Total number of (-)} \end{cases}$

i = The drivers or nodes selected the row $i = 1,2,\dots,K$

j= The drivers or nodes selected the column $j = 1,2,\dots,K$

4. APPLICATION

This section represented application of conceptual model and all results. Each phase was described step by step.

4.1 System Analysis

System analysis was composed of three stages. First of all, strategies about purchasing management system were to be determined. Strategies were configured by using these dimensions because we decided three different dimensions in order to measure the performance of the purchasing management system in the result of literature review. They were as follows;

1. Purchasing cost is leverage for production cost.
2. Raw material quality is a factor impacting product quality and reliability.
3. The delivery competence of suppliers depends on delivery satisfying on due date.

Second stage was composed of internal and external system analysis for purchasing management system. Figure 2 shows the analysis example of connection between purchasing management system and other management systems. We

reviewed not only SAP (Systems, Applications and Products in Data Processing) [37] and IAS (Industrial Application Software) Enterprise Resource Planning Program [15] but

also PHD dissertations [14,26,35], books [19,30,33] and the processes of some company [38,39] about purchasing process management.

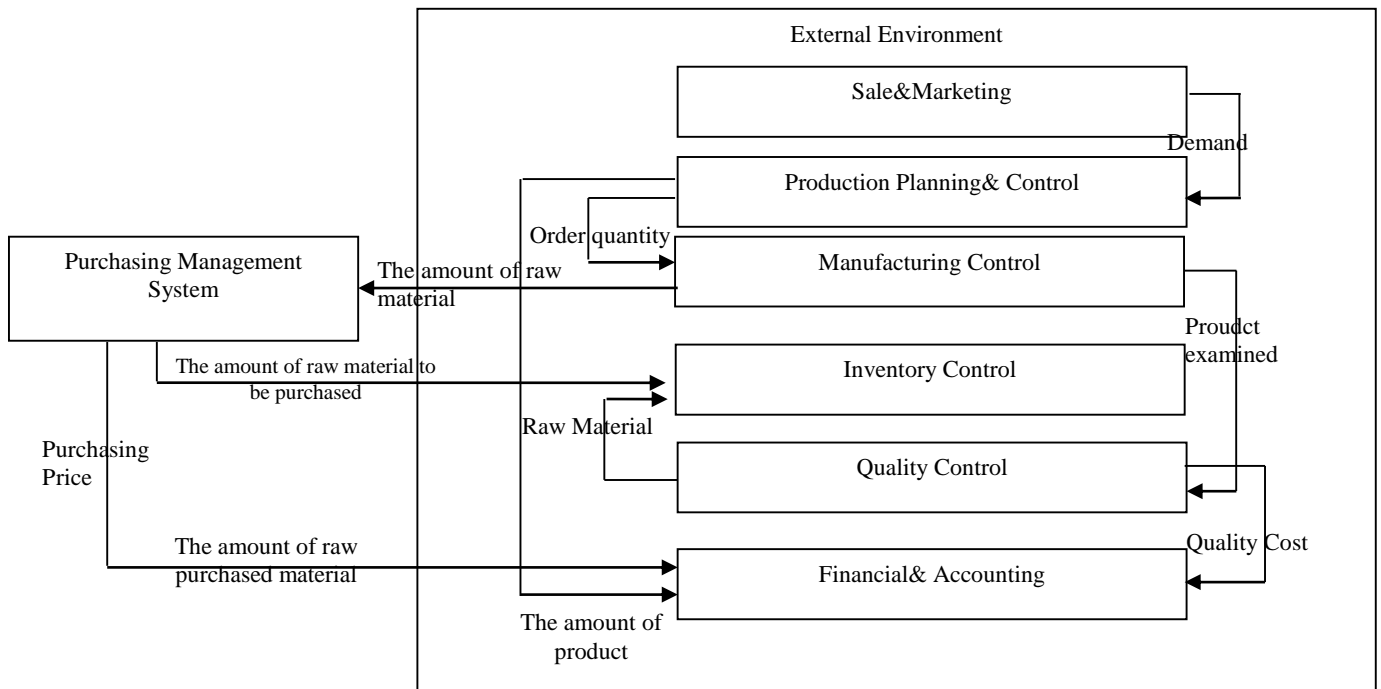


Fig 2. The Example of Analysis between Purchasing Management System and External Environment

As a result of all three stages, eighteen different performance drivers were determined from raw material quantities which will be purchase to product due date.

4.2 Design and Expert Evaluation

This level consisted of two stages following each other. The first stage has two parallel different stages; expert selection and survey design. Experts were selected from engineers who work at purchasing and production departments in Istanbul, Bursa, Kocaeli, Izmir, and Sakarya where they have main manufacturing industries. Also, experts work for different industries from the automotive industry to textile industry. In the parallel stage, the survey was designed as a matrix structure that the column and row sizes of it were eighteen which is same with performance drivers. This survey was sent to twenty six people and explained how to evaluate the survey by one to one interviews. The numbers of surveys returned from the experts were fifteen. We passed the last level because this amount is the maximum amount which was mentioned in the study [25,27].

4.3 Mapping and results

This phase was the last one. Our purpose was to get three maps for each performance size. So, all points were transformed to the ranges of definitions by using formula 1 and also linguistic values. The couples of weak and middle relationships were eliminated. All maps in the result of elimination were drawn according to cost, quality, and delivery (time). These are respectively Fig 3, Fig 4, and Fig

5. In the figures, the colors of arrows demonstrate the types of relationships. While red arrows remark positive relations, the others are negative relations. Also, dashed lines indicate strong values while the others represent very strong values.

The relationship map shows sub-indices C and i and j. Specified nodes or factors on row (C_i), specified nodes or factors on column (C_j) defined respectively. When Figure 3 is analyzed, we noticed that a total of twenty-seven relations may affect the cost performance of purchasing. Twenty-one of them are in the strong status while six of them are in the very strong status. Also, three relationships are in the mutual position. So, these nodes which have them are both receiver and transmitter. These are The quality properties of raw material (C14)- the quality properties of product (C15), C14- the quantity of product returned by customer because of raw material (C9) and the stock quantity of raw material (C10)- the quantity of purchased raw material (C1). Moreover, nodes which have the dense relationship networks can be listed C14, C9, and C1 in descending order. While C1 and C9 nodes are generally the receiver, C14 is the transmitter. They can be used also to determine only the purchasing cost performance. There are only three nodes playing role of receiver position. These are the stock quantity of product (C11), delivery time of raw material (C5), and the contract properties of purchased raw material (C16).

C5 is associated with the situation of materials on production line (ready, processing, delay) (C4) and the order quantity of product (C7). The Directions of the relations are direct. C5

has some characteristics while C4 and C7 have some properties for product. Besides, we did not understand how experts decided relations between them. Calculations for a product can be confused if raw material is not delivered on time. We expected that directions of arrows for these relations are transmitter rather than receiver. Second relation network between C11 and The quantity of sold product (C8)

reflect the impact on the performance of overall cost. Finally, C16 is associated with C1 and C14 and these relationships are interpreted by thinking of directions of them as follows; "If the quality of the raw material and the product is wanted highly by producer, then company can suffer increases in costs."

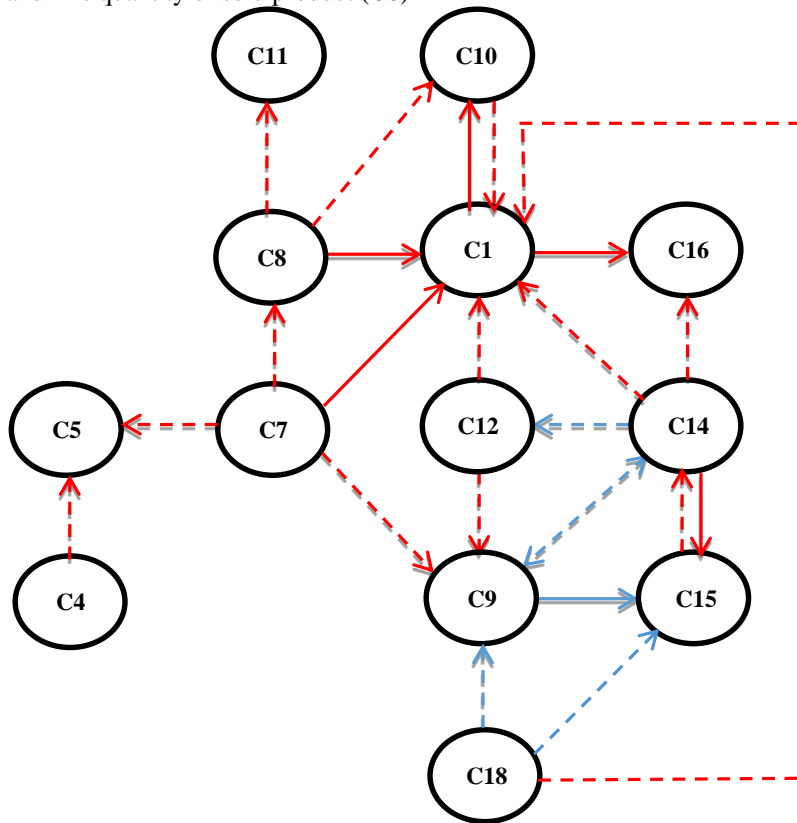


Fig. 3. Relationship The Map for Cost Driver

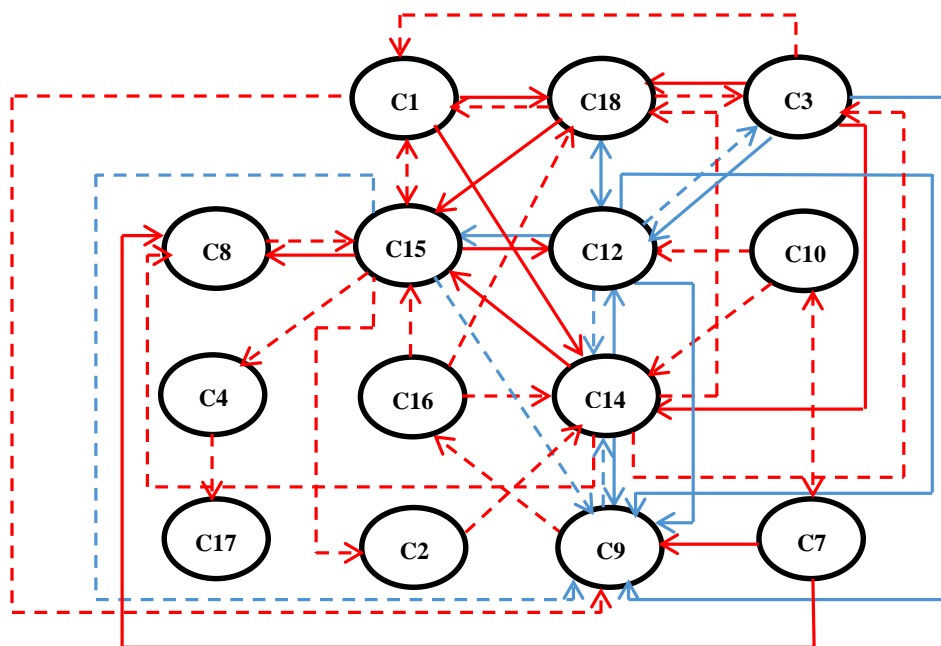


Fig. 4. The Relationship Map for Quality Driver

When map (Fig 4) was examined, there are forty-three relationships and sixteen of them are in the high relationship status while the remaining twenty-seven are in the very high relationship status. This map is the crowded mesh network structure. This reason is assumed that the measurement of performance variables related with quality varies from person to person. Only one node is in a receiver position in an environment where it has a lot of relationships. This node called as C4 and it has also relation with the delivery time of product (C17). However, we think that it is associated with the general quality of the company because both nodes are related to the properties of product. The network structure

of maps prepared for other two performance drivers are clearly identified while those for this driver cannot be defined very easily. Also, seven nodes have an extremely more crowded network as transmitter and receiver than others. These are enumerated C14, C15, the quantity of raw material returned by company (C12), the quality properties of supplier (C18), selection rate for suppliers (C3), C9 and C1 in descending order. C15 demonstrates the general quality performance of company, while other nodes affect the quality performance of purchasing because they indicate situations which occur due to problems in purchasing management.

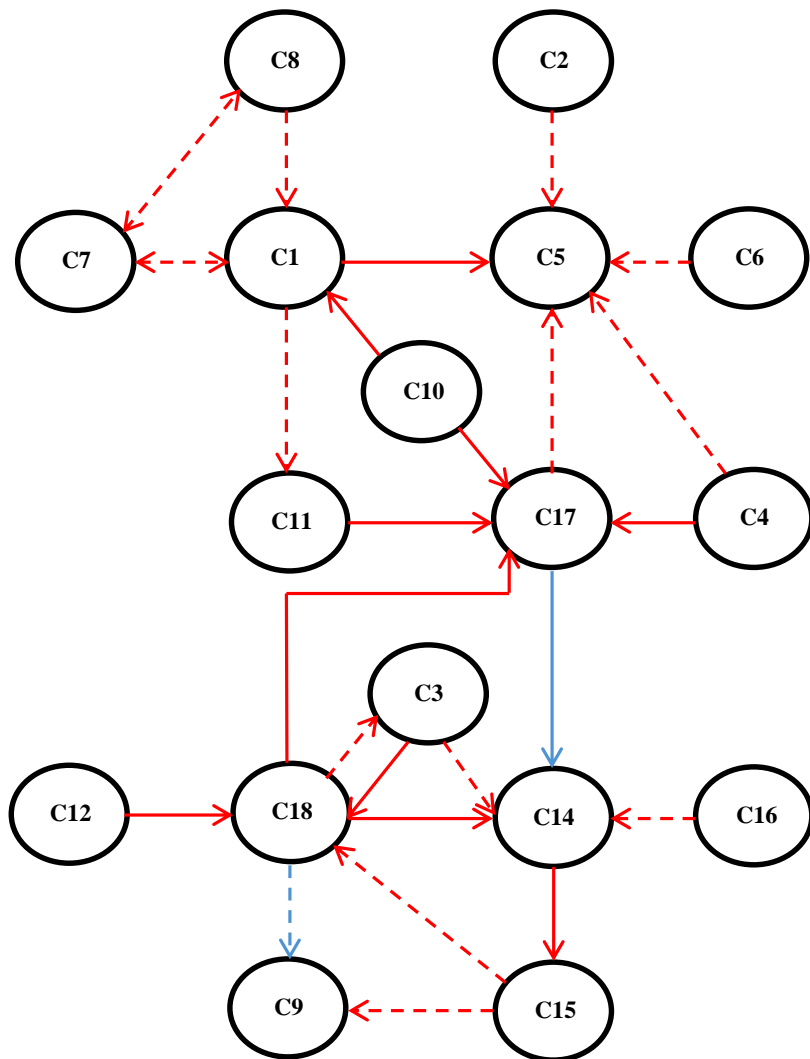


Fig. 5 The Relationship Map for Delivery Driver

This map (Fig 5) shows that there are thirty relationships which affect purchasing and overall performance of company in terms of delivery. Eleven relationships are very strong in position, while nineteen of them are strong in position. In addition, the types of three relations are in transmitter and receiver position. When all nodes are examined, we noticed that five nodes are extensively in both receiver and transmitter position. These are C1, C5, C14, C17 and C18 respectively. While three nodes show the

delivery performance for purchasing, one node is related to the product. However, C5 and C9 nodes are only receivers. C5 has relationships with six nodes. These are C1, quantitative properties (C2), delivery type (C6), C4, and C17. When we looked at the properties of them, we observed that the decisions and variations are related with the amount of purchased raw materials, desired specifications for raw materials, delivery type, production conditions, and delivery time that caused especially changes in the delivery quality.

When the conditions of these nodes are satisfied, then the delivery performance of company will be increased. C9 has relationships with C15 and C18. We did not understand what experts thought about these nodes and delivery performance because all of them are related with quality performance.

5. CONCLUSION

Purchasing management system is the primary stage for production processes. This system takes on a task as leverage for general management and especially production management system. So, any decision change on variables in purchasing management system will affect the entire system. All management system performances including purchasing management system can be measured and controlled by performance drivers. These are cost, quality and also time or delivery in general. In this study, we focused on generating relationships between variables of purchasing system by considering these drivers. We chose the fuzzy cognitive mapping model as a solution model and tried to create a rule map and network for each driver. We found that the rule map for quality is more complex rather than the maps for the other drivers. We also discovered that the quantity of product redesigned (C13) variable does not have any relationship network in all maps. We decided that this variable is not important for both drivers and purchasing system. Moreover, thirteen nodes for cost, fourteen nodes for quality, and seventeen nodes for delivery are more important than the other variables. We estimated that making a decision on a these variables which are very necessary for each driver affect the purchasing performance. When maps were prepared in this study, limit was made only in terms of department worked. For this reason, we considered that maps were more complex than they should be, because each sector owns a lot of different variables. So, we did not figure out one relationship in the cost map and two relationships in the delivery map. There are two reasons. The first reason is that there should not be restrictions in terms of industrial sector, while the second reason is the number of experts who were used in this study. Maps were got by using the numbers of experts which is close to upper limit number which was referred in [25,27] article. In future studies, industry-specific maps can be produces. Second, the performances of both maps can be compared in terms of functionality by producing another map a smaller number of experts.

In this study, the opinions of experts were based to obtain maps. Transaction loads in ERP program of selected performance variables were not considered. For this reason, a more functional map can be made by comparing both expert and transactional loads. This approach will be addressed in terms of the subject of database optimization.


REFERENCES


- [1] Azadeh, M.A, Harandi, S.J., Izadbakhsh, H., "Re-engineering design of purchasing system by BPS and PCA" Industrial Informatics 2006 IEEE International Conference, pp. 863-869, 2007.
- [2] Baier, C., Hartmann, E., Moser, R., "Strategic alignment and purchasing efficacy: an exploratory analysis of their impact on financial performance", Journal of Supply Chain Management, Vol. 44, pp. 36-52, 2008.
- [3] Bourne, M., Mills, J., Wilcox, M., Neely, A., Platts, K., "Designing, implementing and updating performance measurement systems", International Journal of Operations and Production Management, Vol. 20, pp.754-771, 2000.
- [4] Carr, A., Pearson, J., "The impact of purchasing and supplier involvement on strategic purchasing and its impact on firm's performance", International Journal of Operations and Production Management, Vol. 22, pp. 1032-1053, 2002.
- [5] Chen, I.J., Paulraj, A., Lado, A., "Strategic purchasing, supply management, and firm performance", Journal of Operations Management, Vol. 22, pp. 505-523, 2004.
- [6] Chrysostomos, S., Stylios, D., Groumpos, P.P., "Fuzzy Cognitive Maps: A model for intelligent supervisory control systems", Computers in Industry, pp. 229-238, 1999.
- [7] Cousins, P.D., Lawson, B., Squire, B., "An empirical taxonomy of purchasing functions", International Journal of Operations and Production Management, Vol. 26, pp. 775-794, 2006.
- [8] Das, A., Narasimhan, R., "Purchasing Competence and Its Relationship with Manufacturing Performance" The Journal of Supply Chain Management, Vol. 36, pp. 17-20, 2000.
- [9] Easton, L., Murphy, D.J., Pearson, J.N., "Purchasing performance evaluation: with data envelopment analysis" European Journal of Purchasing and Supply Chain Management, Vol. 8, pp. 123-134, 2002.
- [10] Ellram, L.M., Zsidisin, G.A., Siferd, S.P., Stanly M.J., "The Impact of Purchasing and Supply Management Activities on Corporate Success" The Journal Of Supply Chain Management, pp. 4-17, 2002.
- [11] Emiliani, M.L., Stec, D.J., Grasso L.P., "Unintended responses to a traditional purchasing performance metric" Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 10, pp.150-156, 2005.
- [12] Fitzgerald, L., Johnston, R., Brignall, S., Silvestro, R. and Voss, C., "Performance Measurement in Service Business" CIMA, London, 1991.
- [13] Gonzalez-Benito, J., "A theory of purchasing's contribution to business performance" Journal of Operations Management, Vol. 25, pp. 901-917, 2007.
- [14] Hacısalihoglu, M., "Development of a procurement model to enhance supply chain management for manufacturing and non-manufacturing firms purchasing from China" PhD Dissertations, Marmara University, 2006.
- [15] IAS Training Notes, 2004.
- [16] Keegan, D.P., Eiler, R.G. and Jones, C.R., "Are your performance measures obsolete?" Management Accounting, pp. 45-50, 1989.
- [17] Kim, H.S., Lee, K.C., "Fuzzy implications of fuzzy cognitive map with emphasis on fuzzy causal relationship and fuzzy partially causal relationship", Fuzzy Sets and Systems, 303-313, 1998.
- [18] Lee, K. C., Kim, J.S., Chung, N.H., Kwon, S.J., "Fuzzy cognitive map approach to web-mining inference amplification" Expert Systems with applications, pp. 197-211, 2002.

- [19] Lysons, K., Farrington, B., "Purchasing and Supply Chain Management" 7th ed., Prentice Hall, USA, pp. 514-656, 2006.
- [20] Narasimhan, R., Das, A., "The impact of purchasing integration and practices on manufacturing performance" *Journal of Operations Management*, Vol. 19, pp. 593-609, 2001.
- [21] Narasimhan, R., Jayaram, J., Carter J. R., "An empirical examination of the underlying dimensions of purchasing competence" *Production and Operations Management*, Vol. 1-15, 2001.
- [22] Pagell, M., "Understanding the factors that enable and inhibit the integration of operations, purchasing and logistics" *Journal of Operations Management*, Vol. 22, pp. 459-487, 2004.
- [23] Pelaez, C., Bowles, J., "Applying fuzzy cognitive maps knowledge representation to failure models effects analysis" In *Proceeding of annual reliability and maintainability symposium*, pp. 450-456, 1995.
- [24] Pohl, M., Förstl, K., "Achieving purchasing competence through purchasing performance measurement system design—A multiple-case study analysis" *Journal of Purchasing&Supply Management*, Vol. 17, pp. 231-245, 2011.
- [25] Okoli, C., Pawlowski, S., "The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications" *Information and Management*, pp. 15-29, 2004.
- [26] Over, T., "İhtiyaç belirlemede endüktif-Roc temelli bir model", PhD Dissertation, Sakarya University, 2006.
- [27] Salmeron J.L., "Augmented fuzzy cognitive maps for modeling LMS critical success factors" *Knowledge Based Systems*, 275-278, 2009.
- [28] Saranga, H., Moser, R., "Performance evaluation of purchasing and supply management using value chain DEA approach" *European Journal of Operational Research*, 207, 197-205, 2010.
- [29] Stach, W., Kurgan, L., Pedrycz, W., Reformat, M., "Evolutionary development of fuzzy cognitive maps" *The 2005 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 619-624, 2005.
- [30] Stock, R.J., Lambert, M.D., "Strategic Logistics Management" McGraw-Hill Higher Education, New York, USA, 478-51, 2001.
- [31] Stylios, C.D., Peter P. Groumpos, P.P., "Fuzzy Cognitive Maps: A soft computing technique for intelligent control" *Proceedings of the 15th IEEE International Symposium on Intelligent Control*, pp. 97-102, 2000.
- [32] Stylios C.D., Groumpos P.P., "Modeling complex systems using fuzzy cognitive maps" *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics—Part A: Systems And Humans*, Vol. 34, pp. 155-162, 2004.
- [33] Van Weele, A.J., "Purchasing and Supply Chain Management Analysis: Planning and Practice" Thomson Learning, London, 2002.
- [34] Wei, Z., Lu, L., Yanchun, Z., "Using fuzzy cognitive maps for modelling and evaluating trust dynamics in the virtual enterprises" *Expert Systems with Applications*, pp. 1583-1592, 2008.
- [35] Yalciner, A., "Kurumsal bir imalat bilişim modeli önerisi. PhD Dissertation, Sakarya University, 2007.
- [36] Yaman, D., Polat, S., "A fuzzy cognitive map approach for effect-based operations: An illustrative case" *Information Sciences*, Vol. 179, pp. 382-403, 2009.
- [37]http://help.sap.com/saphelp_46c/helpdata/en/8a/1a1dd44e4211d182be0000e829fbfe/content.htm , SAP Purchasing Process Flow, 2013.
- [38]<http://www.indiana.edu/~purchase/buying/buying.shtml> ,Indiana University Purchasing Process, 2013.
- [39]<http://www.mitsubishielectric.com/company/about/procurement/process/index.html> , Mitsubishi Electric Procurement- Purchasing Process 2013.


Kompleks Sülfürlü Çinko Cevherlerinden Anodik Oksitleme ile Zn Kazanımına H₂SO₄ Derişimi ve Elektrotlar Arası Mesafenin Etkisi


*¹Figen Özboz, ¹Seda Ulu, ¹Abdülkadir Akyol, ¹Mehmet Uysal, ²Harun Gül, ¹Ahmet Alp, ³Ali Osman Aydın


¹Sakarya Üniversitesi, Müh. Fak., Metalurji ve Malzeme Müh. Böl., Sakarya, figenozboz@gmail.com, 


¹Sakarya Üniversitesi, Müh. Fak., Metalurji ve Malzeme Müh. Böl., Sakarya, seda.ulu91@gmail.com, 

¹Sakarya Üniversitesi, Müh. Fak., Metalurji ve Malzeme Müh. Böl., Sakarya, abdulcadir.akyol1@sakarya.edu.tr, 

¹Sakarya Üniversitesi, Müh. Fak., Metalurji ve Malzeme Müh. Böl., Sakarya, mehmetu@sakarya.edu.tr, 

²Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Tek. Fak., Metalurji ve Malzeme Müh. Böl., Sakarya, harungul@subu.edu.tr, 

¹Sakarya Üniversitesi, Müh. Fak., Metalurji ve Malzeme Müh. Böl., Sakarya, alp@sakarya.edu.tr, 

³Sakarya Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Sakarya, aaydin@sakarya.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 04.10.2018

Kabul Tarihi: 02.06.2019

Öz

Kompleks sülfürlü çinko cevherinden çinko kazanımı genellikle yüksek sıcaklık prosesleriyle gerçekleşmektedir. Çinko ekstraksiyon proseslerinin içerdiği kavurma işlemleri, yüksek sıcaklıklar gerektirmesi ve çevreye zararlı kükürtlü gazların çıkışından dolayı alternatif yöntemler arayışına neden olmaktadır. Bu çalışmada Rize Bölgesi kompleks sülfürlü çinko cevherlerinin hidro-elektrometalurjik bir proses olan anodik oksitleme liç işlemi araştırılmıştır. Liç çalışmalarında mekanik olarak aktive edilmiş cevherden çinko kazanımına sülfürik asit derişimi ve elektrotlar arası mesafenin etkileri incelenmiştir. Elde edilen çözeltiler AAS ile analiz edilip çinko ekstraksiyon verimliliği hesaplanmıştır. Bu çalışmada en yüksek Zn ekstraksiyon verimi çözeltiler derişiminin 3M ve elektrotlar arası mesafenin 3 cm olduğu koşullarda elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompleks sülfürlü Zn cevheri, liç, anodik oksitleme, hidro-elektrometalurjik proses

The Effects of Sulfuric Acid Concentration and Interelectrode Distance on the Zinc Extraction from Complex Sulfide Ores by Anodic Oxidation

*¹Figen Özboz, ¹Seda Ulu, ¹Abdülkadir Akyol, ¹Mehmet Uysal, ²Harun Gül, ¹Ahmet Alp, ³Ali Osman Aydın

¹Sakarya University, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Turkey, figenozboz@gmail.com

¹Sakarya University, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Turkey, seda.ulu91@gmail.com

¹Sakarya University, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Turkey, abdulcadir.akyol1@sakarya.edu.tr

¹Sakarya University, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Turkey, mehmetu@sakarya.edu.tr

²Sakarya Univ. of Applied Science, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Turkey, harungul@subu.edu.tr

¹Sakarya University, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Turkey, alp@sakarya.edu.tr

³Sakarya University, Department of Chemistry, Turkey, aaydin@sakarya.edu.tr

Abstract

Zinc extraction from complex sulfide ores is usually carried out by high temperature processes. The roasting process in zinc extraction caused that research for alternative methods because of the necessity of high temperatures and the emission of harmful sulfur gases. In this study, anodic oxidation leaching that is hydro-electro metallurgy process was investigated with complex sulfide Zn ores of Rize region. The effects of sulfuric acid concentration and interelectrode distance were investigated on Zn extraction with using mechanically activated ores in leaching processes. The obtained solutions were analyzed by AAS for Zn extraction efficiency calculations. In this study, the highest Zn extraction efficiency is obtained in condition of 3 M solution concentration and interelectrode distance of 3 cm.

Keywords: Complex sulfide Zn ore, leaching, anodic oxidation, hydro-electrometallurgical process

*Sorumlu Yazar: Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, figenozboz@gmail.com

Bu çalışma ISEM2018 sempozyumunda "Kompleks Sülfürlü Çinko Cevherlerinden Anodik Oksitleme ile Zn Kazanımına H₂SO₄ Derişimi ve Elektrotlar Arası Mesafenin Etkisi" başlıklı bildiri olarak sunulan çalışmadan geliştirilmiştir.

Doi: 10.21541/apjes.467309

1. GİRİŞ

Metalik çinko üretiminde en önemli kaynaklardan biri kompleks çinko cevherleridir. Bütün çinko kazanım metotlarında çinko cevher ya da konsantrelerinin oksit hale getirilmesinde kavurma prosesi ilk işlemdir. Hidrometalurji yöntemleri ile çinko kazanımında iki kademe mevcuttur. Birincisi kalsine edilmiş cevheri asitli ortamda liç işlemine tabii tutmak, ikincisi ise elektroliz ile çözültüden metalik çinko elde etmektir [1].

Hidrometalurji, kıymetli metalleri cevherlerinden kazanımında ekonomik yönden ekstrasyon verimini iyileştirmek için yapılan çok farklı liç proseslerini içermektedir [2]. Cevher içeriğine göre sülfürik asit, nitrik asit, hidroklorik asit gibi çözücüler, $Fe_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $CuCl_2$, KCN , $NaCN$ reaktif çözültüleri ya da amonyaklı ortamlarda liç işlemleri yapılabilmektedir [2,3,4].

Hidrometalurjik yöntemlerle çinko üretiminde kavurma işleminden kaynaklanan üç sorun önlenabilir. Björling, Forward ve Veltman'ın yaptığı çalışmaya göre bu sorunların çözülebilmesi basınç liçiyle mümkün olmuştur. Bu çalışmalara göre kavurma işlemiyle oluşan ferritler, SO_2 gazı çıkışı önlenmektedir ve liç sonrası atıkta kalan civa çevre kirliliğine neden vermeyecek şekilde izole edilmektedir [5].

Hidrometalurji proseslerinde yenilikçi bir yöntem olan elektrooksidasyon uygulamaları çalışılmaktadır. Elektrooksidasyon yönteminde çözünmeyen elektrotlar kullanılarak (Pt,Ti,Ru, paslanmaz çelik gibi) indirgenmeye etki eden gazların (O_2 ve H_2) ortaya çıkarılması esastır. Bu işlem sonucunda çözünebilirliği zor olan birçok bileşik içinden istenen elementler daha kolay ekstrakte edilebilmektedir [6]. Bu sayede inert özellik gösteren metal elektrotların kullanılmasıyla doğrudan ya da dolaylı bir şekilde oksitlenme sağlanmaktadır. Elektrooksidasyon prosesinde elektrot tipi, akım yoğunluğu, süre, pH gibi parametreler önemlidir [7]. Elektro destekli indirgeyici liç işlemini inceleyen bir çalışmada, kalkopiritin 300 dakika süre ile 0,7 A, 0,5 A ve 0,3 A deney koşullarında sırasıyla %96, %84 ve %60 indirgendiği raporlanmıştır [8]. Vanadyum cürufundan vanadyumun elektrooksidasyonu ile kazanımı yapılan bir çalışmada, 250 g/L katı konsantrasyonu, 0,4 A anot akımı, 2,8-3 V potansiyel, 20 mm elektrot aralığı, 75 °C sıcaklık ve 4 saat deney koşullarında %75'lere varan çözünme verimine ulaşıldığı görülmüştür [9].

Geleneksel pirometalurjik ve hidrometalurjik yöntemlerde kompleks cevherden metal kazanımı cevherlerin ihtiva ettiği kıymetli metallerin ayrı ayrı konsantre edilmesi ile mümkündür. Hidro-elektrometalurji yöntemi olan anodik oksitleme liç işlemi ile metal kazanımında ise cevherin ihtiva ettiği metaller tek adımda çözültüye geçebilmektedir [10].

Bu çalışma ile Rize bölgesi kompleks sülfürlü çinko cevherlerinden, yüksek sıcaklık işlemlerini içeren, çevreye ve sağlığa zararlı kükürtlü gazların açığa çıktığı geleneksel

kazanım metotlarına alternatif bir yöntem olan anodik oksitleme liç işlemi ile çinko ekstraksiyon araştırmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda, cevherden çinko kazanımına çözültü derişimi ve elektrotlar arası mesafe parametrelerinin etkileri incelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

Çalışmalarda kullanılan cevher, Karadeniz bölgesi Rize ili Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş. 'den konsantre halde temin edilmiştir. Konsantre cevher, halkalı değirmende öğütüldükten sonra neminden arındırmak üzere etüvde bekletilmiştir ve sonrasında 200 mesh elek altına elenmiştir. Cevher, WC bilyalar kullanılarak 1/30 katı/bilye oranında, 600 devir/dk ve 2 saat süre parametreleri kullanılarak gezegenel bilyalı değirmende mekanik olarak aktive edilmiştir. Aktivasyon işlemi sonrasında kimyasal analiz BRUKER AXS'in S8 Tiger Dalgaboyu Dağılımlı XRF analiz cihazı ile yapılmıştır. Cevherin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Cevherin kimyasal analizi.

Element	%
Zn	9,30
Fe	22,32
S	20,80
Cu	13,05
Pb	0,58
O	31,80
Ba	1,5
Diğerleri	0,65

2.2. Yöntem

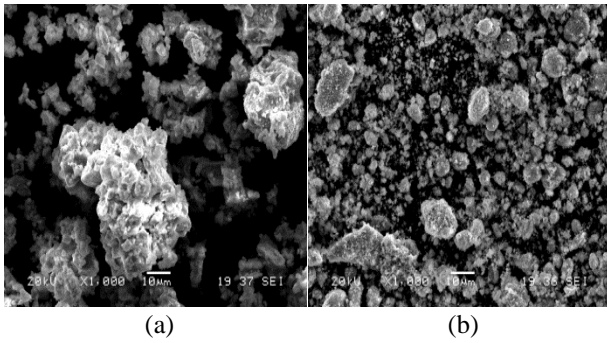
Anodik oksitleme yöntemi ile liç çalışmalarında DC güç kaynağı, manyetik karıştırıcı ısıtıcı, liç kabı ve asidik ortamda çözünmeyen metal elektrotlardan oluşan liç ünitesi kullanılmıştır. Optimum çalışma koşullarının belirlenmesi için literatürde anodik oksitleme yöntemi ile yapılan bakır ekstraksiyon veriminin incelendiği liç çalışmaları referans olarak kabul edilmiştir [4]. Çözücü derişiminin ve liç ünitesinde elektrotlar arası mesafenin değışiminin çözünme verimine etkisinin incelendiği çalışmalarda 75°C sıcaklık, 30 sıvı/katı oranı, 300 devir/dk karıştırma hızı, uygulanan voltaj 3V ve 2 saat liç süresi koşulları sabit tutulmuştur.

Liç çalışmaları sonrası elde edilen çözültülerin Atomik Adsorpsiyon Spektrometresi ile analizi yapılarak çözünme verimleri hesaplanmıştır. Çözücü derişimi ve elektrotlar arası mesafe parametreleri değıştirilerek çözünme verimine etkileri incelenmiştir.

3. BULGULAR

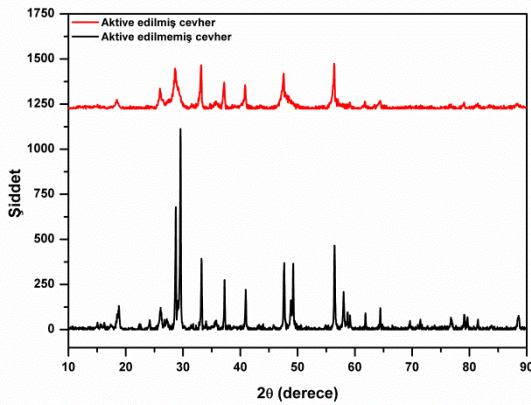
3.1. Anodik Oksitleme Liç Çalışmaları

Literatürde aynı konsantrde cevher kullanılarak yapılan çalışmalarda mekanik aktivasyon işlemi ile partiküllerin ufalması sonucu tanelerin ve içindeki elementlerin homojen ve küçük boyutlarda dağılmak suretiyle serbestleştiği, böylece cevherin uygulanacak pirometalurjik veya hidrometalurjik proses için daha uygun bir fiziksel hale geldiği açıklanmıştır [4,11]. Konsantrde cevherin mekanik aktivasyon öncesi ve sonrası SEM görüntüleri Şekil 1.'de verilmiştir.



Şekil 1. a) Aktive edilmemiş; b) Mekanik olarak aktive edilmiş konsantrdenin SEM görüntüleri.

Şekil 2.'de numunelerin XRD analizleri sonucunda aktivasyon sonrası piklerin şiddet değerlerinin düştüğü, mineralin kristal yapısının deforme olduğu ve kısmi amorflaşmanın gerçekleştiği görülmektedir. Bu sebeplerle yapılan tüm çalışmalarda mekanik olarak aktive edilmiş numuneler kullanılmıştır.



Şekil 2. Aktive edilmemiş ve mekanik olarak aktive edilmiş cevherlerin XRD analizleri.

3.1.1. Çözelti Derişiminin Liç Verimine Etkisi

Mekanik olarak aktive edilmiş numuneler kullanılarak, çözünme verimine çözücü derişiminin etkisini incelemek için anodik oksitleme yöntemi ile liç çalışmaları yapılmıştır. Çözelti derişiminin liç verimine etkisinin incelendiği liç çalışmalarında 3 cm elektrotlar arası mesafe, 30 sıvı/katı

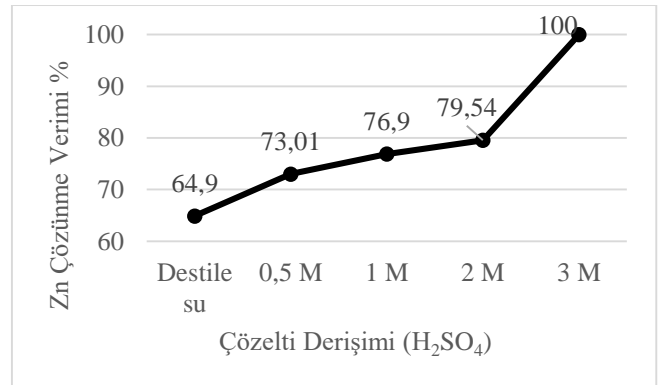
oranı, 300 devir/dk karıştırma hızı, 75°C sıcaklık, uygulanan voltaj 3V ve 2 saat süre koşullarında gerçekleştirilmiştir.

Çinko çözünme verimlerine ait değerler Tablo 2'de ve bu verilerden elde edilerek çizilen grafik ise Şekil 3.'de verilmiştir.

Tablo 2. H₂SO₄ derişiminin Zn çözünme verimine etkisi.

H ₂ SO ₄ Derişimi	% Zn Verimi
Destile Su	64,9
0,5 M	73,01
1 M	76,9
2 M	79,54
3 M	100

Tablo 2'deki değerler incelendiğinde, H₂SO₄ derişimi artışının Zn çözünme verimine etkisi artmaktadır. Asitsiz ortamda Zn çözünme verimi % 64,9 değerinde iken 3 M H₂SO₄ ortamında çözünme verimi % 100 ulaşmıştır.



Şekil 3. Anodik oksidasyon ile liç çalışmalarında H₂SO₄ derişiminin Zn çözünme verimine etkisi.

Liç sisteminde oksijenin gerekliliği aşağıdaki reaksiyonlarda görülmektedir.



Saf suda dahi çözünme veriminin yüksek olması, anodik oksitleme yöntemi ile açığa çıkan ve kompleks cevherlerin çözünmesinde önemli rol oynayan O₂ gazının etkisi olarak düşünülmektedir [4].

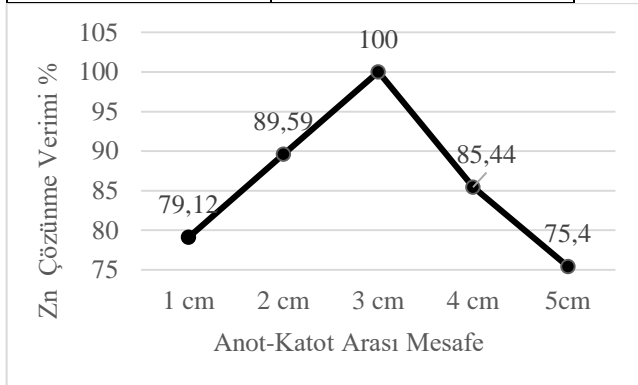
3.1.2. Elektrotlar Arası Mesafenin Liç Verimine Etkisi

Çözünme verimine elektrotlar arası mesafenin etkisini incelemek amacıyla anodik oksitleme yöntemiyle yapılan liç çalışmalarında, diğer koşullar sabit tutularak yine mekanik olarak aktive edilmiş numuneler kullanılmıştır.

Çalışmalar sırasında seçilen elektrotlar arası mesafeler ve elde edilen çinko çözünme verimlerine ait değerler Tablo 3'de verilmiştir. Bu veriler yardımıyla çizilen grafik ise Şekil 4'de görülmektedir.

Tablo 3. Elektrotlar arası mesafe değişiminin Zn çözünme verimine etkisi.

Elektrotlar Arası Mesafe	% Zn Verimi
1 cm	79,12
2 cm	89,59
3 cm	100
4 cm	85,44
5 cm	75,45



Şekil 4. Anodik oksidasyon ile liç çalışmalarında elektrotlar arası mesafenin Zn çözünme verimine etkisi.

Elektrotlar arası mesafe çok yakın olması durumunda zaman zaman partiküllerin elektrotlara ve birbirlerine temas eden köprüler kurdukları ve akımın da zaman zaman bu köprüden geçmesi nedeni ile anot yüzeyinde oksidasyon oluşmadığı ve bu nedenle verimin düşük kaldığı söylenebilmektedir. Elektrotlar arası mesafenin fazla olması durumunda anot yüzeyinde açığa çıkan oksijen ile reaksiyona girecek yüzeyde yeterli partikülün az olması nedeni ile oksidasyon (çözünme) sınırlı kalmaktadır. Anodik oksitleme liç sisteminde mesafe 3 cm olarak ayarlandığında ise bu işlem optimum düzeyde olmaktadır [4].

4. SONUÇLAR

Kompleks sülfürlü çinko konsantrasyonunun anodik oksitleme liç yöntemi ile kavurma gibi yüksek sıcaklıklar gerektiren ön işlemler uygulanmadan, atmosferik basınçta ve düşük sıcaklıklarda yüksek çözünme verimlerinin elde edilebileceği görülmüştür.

Anodik oksitleme liç çalışmalarında mekanik olarak aktive edilmiş numuneler kullanılmasıyla çözücü olarak saf suyun kullanılmasında dahi yüksek çözünme verimleri elde edilmiştir. Elektrotlar arası mesafenin 3 cm olduğu, 3 M sülfürik asit çözeltisinde, 75°C sıcaklıkta, 30/1 sıvı/katı oranı, 300 devir/dk karıştırma hızı, 3 V voltaj ve 2 saat liç

süresi koşullarında yapılan liç çalışmalarda Zn çözünme verimi % 100 olarak elde edilmiştir.

Sülfürlü cevherlerin değerlendirilmesi, endüstriyel olarak yüksek sıcaklıkların kullanıldığı, çevreye zararlı birçok kükürlü gazların çıkışını ihtiva eden pirometalurji veya pirohidro-elektrometalurji yöntemleri ile yapılmaktadır. Hidro-elektrometalurji yöntemi olan anodik oksitleme yöntemi; çözünme verimlerinin yüksek olması, düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesi, kükürlü gazların çıkışının olmaması gibi çevreye ve ekonomiye daha duyarlı avantajlar içermekte ve geleneksel yöntemlere alternatif olabileceği anlaşılmaktadır.


KAYNAKÇA

- [1].Aykaç Yıldız, "Oksit-Sülfür Karışımı Kurşun-Çinko Cevherlerinin Flotasyon Artıklarından Hidrometalurjik Yöntemlerle Çinko Kazanılması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [2].N. Sabba, D.E. Akretche, "Use of membranes in copper hydrometallurgy," Desalination, vol. 193, no 1-3, pp. 422-425, May 2006.
- [3].M.D. Turan, H. Arslanoğlu, H.S. Altundoğan, "Yüksek basınç reaktör sisteminde küre kalkopirit konsantrasyonundan metallerin ekstraksiyonu üzerine bir araştırma," Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, vol. 17, no 3, pp. 447-455, June 2013.
- [4].Özboz Figen, "Rize bölgesi kompleks sülfürlü bakır cevherlerinin anodik oksitleme yöntemi ile liçi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya 2017.
- [5].F. Habashi, M. Cambazoğlu, "Hidrometalurjide Yeni Gelişmeler," Bilimsel Madencilik Dergisi, vol. 18, no 4, pp. 21-38, December 1979.
- [6].K. İlhan, U. Kurt, Ö. Apaydın, E. Arslankaya and M.T. Gönüllü, "Elektrokimyasal Arıtım ve Uygulamaları: Katı Atık Sızıntı Suyu Çalışması", AB Sürecinde Türkiye'de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu, İstanbul, 2007.
- [7].C. Akarsu, F. Taner, A. Ayol, "Sızıntı Suyunun Elektrooksidasyon Prosesi ile Arıtılması", 2nd International Symposium on Environment and Morality ISEM 2014, Adıyaman, 914-920, (2014).
- [8].V.J. Martinez-Gomez, J.C. Fuentes-Aceituno, R. Perez-Garibay, J.C. Lee, "A phenomenological study of the electro-assisted reductive leaching of chalcopyrite," Hydrometallurgy, vol. 164, pp. 54-63, September 2016.
- [9].Z. Liu, Y. Li, M. Chen, A. Nueraihemaiti, J. Du, X. Fan, C.Y. Tao, "Enhanced leaching of vanadium slag in acidic solution by electro-oxidation," Hydrometallurgy, vol. 159, pp. 1-5, January 2016.
- [10]. Ö. Ayışkan, "Sülfürlü Bakır cevherleri ve cevher zenginleştirme yönünden problemleri," Bilimsel Madencilik Dergisi, vol. 13, no 2, pp. 35-41, February 1974.
- [11].Demirel Sedat, "Rize bölgesi bakır cevherlerinden bakır kazanımına mekanik aktivasyonun etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya 2011.


Silindirik Sıvı Depolarının Dinamik Analizinin ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre Karşılaştırılmalı olarak İrdelenmesi

*¹Badradine Ali, ²Adem Doğangün

¹Uludağ Üniversitesi., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Görükle Kampüs, Bursa, Türkiye,

badradineali@yahoo.com, 

²Uludağ Üniversitesi., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Görükle Kampüs, Bursa, Türkiye,

ademdogangun@gmail.com, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 08.12.2018

Kabul Tarihi: 09.04.2019

Öz

Nüfusun sürekli artması ve sanayinin gelişmesi, başta su olmak üzere farklı sıvıların depolanma ihtiyacı, sıvı depolarının inşaa edilmesini gerekli kılmaktadır. Diğer taraftan depoların dinamik davranışlarını daha gerçekçi olarak belirleyebilmek için çalışmalar da yapılmaktadır. Bu çalışmalardan uygun görülenler yönetmeliklere alınmaktadır. Bu çalışmanın amacı, sıvı depolarının depreme göre hesabını yapmak durumunda kalan ya da bu konuya ilgi duyan mühendislerin; sıvı depolarının dinamik yükler etkisindeki davranışını anlamalarına yardımcı olmak, bunlar için yönetmeliklerde öngörülen bağıntıları karşılaştırmalı olarak sunmak ve sıvı depolarının hesap ve tasarımını yapabilmelerine katkı sağlamaktır. Bu amaçla çalışmada, silindirik sıvı depolarının sismik analizi için ACI 350 ve EUROCODE 8 yönetmeliklerinde öngörülen hesap esasları ve parametrelerin belirlenmesinde kullanılan bağıntılar karşılaştırılmalı olarak irdelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: ACI 350, EUROCODE 8, impuls kütlesi, salınım kütlesi

Comparative Investigation of Dynamic Analysis of Cylindrical Liquid Storage Tanks according to ACI 350 and EUROCODE 8

*¹Badradine Ali, ²Adem Doğangün

¹Uludağ Üniversitesi., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Görükle Kampüs, Bursa, Türkiye, badradineali@yahoo.com

²Uludağ Üniversitesi., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Görükle Kampüs, Bursa, Türkiye, ademdogangun@gmail.com

Abstract

The continuous increase in population and the development of industries necessitate the construction of liquid tanks for the storage of different liquids, especially water. Moreover, this study will be conducted to determine the dynamic behavior of liquid storage in more realistic manner. Likewise, the study have taken into consideration the usage of the appropriates international standard code. The aim of this study is to help engineers and those that are interested in this area to understand the behavior of liquid tanks under dynamic loads and to make comparism using the international standard code. The results obtained will contribute in terms the calculation and the design of liquid tanks. For this purpose, the relationship between the ACI 350 and EUROCODE 8 regulations for the seismic analysis of cylindrical liquid tanks and the formulas used in the determination of the parameters are compared.

Keywords: ACI 350, EUROCODE 8, impulsive masse, convective masse

*Sorumlu Yazar:Uludağ Üniversitesi., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Görükle Kampüs, Bursa, Türkiye, badradineali@yahoo.com, 5442330292

Doi: 10.21541/apjes.492871

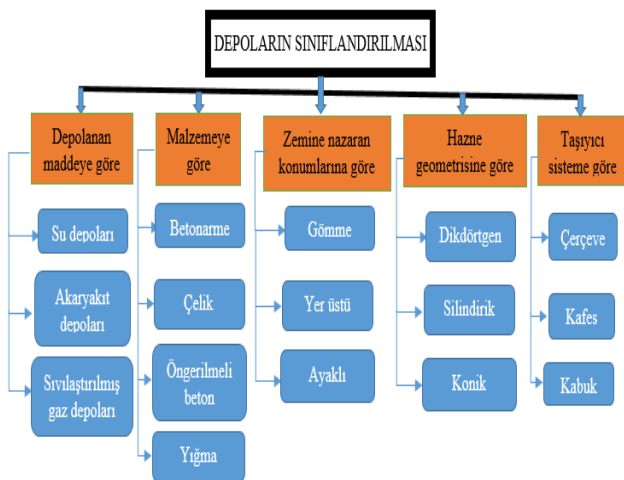
1. GİRİŞ

Bir yapıyı güvenli bir şekilde tasarlamak için, farklı yükleme koşulları altındaki davranışının ayrıntılı bir şekilde irdelenmesi gerekmektedir. Farklı yüklemelerden doğacak gerilmelerin ve şekil değiştirmelerin incelenmesi için farklı teorik, sayısal ve deneysel yöntemler bulunmaktadır. Deprem etkisi altında, sıvı depolarının projelendirilmesi, hem yükleme açısından hem de deponun özellikleri açısından önem arz etmektedir. Akaryakıt ve kimyasal sıvı depolarının tasarımında, özellikle deprem sonrasında çıkan yangınlar nedenleriyle daha hassas davranmak gerekmektedir. Çünkü önemli can kayıplarının yanında çevreye de tafisi zor olan zararlar verebilmektedir. Sıvı depoları; ahşap, çelik veya betonarme olarak inşa edilebilmektedir. Betonarme ya da çelik olarak inşa edilen sıvı depolarının ekonomik ömürleri genellikle 40 ila 75 yıl arasında değişmektedir [13].

Bir sıvı deponun yapımına karar verildiğinde, hidrolik ve yapısal düşüncelerin bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Çünkü bir depo; yapısal olarak mükemmel bir şekilde olsa da, hidrolik açıdan yetersiz olabilir. Bunun tersinin olması da mümkündür. Özel mühendislik yapılarından olan betonarme depolar için verilen hesap esasları ve geçirimsizliğin sağlanması için alınan önlemler, yüzme havuzları için de geçerlidir.

2. DEPOLARIN KULLANIM AMAÇLARI VE SINIFLANDIRILMASI

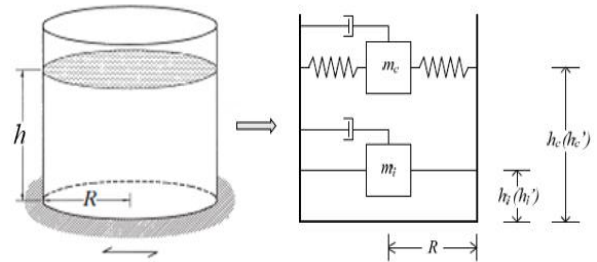
Sıvı depoları genel olarak; dairesel, dikdörtgen veya kare kesitli olabilirler. Sıvı depoları için farklı açıdan yapılan sınıflandırmalar Şekil 1'deki şemada sunulmaktadır. Bu çalışmanın uygulamasına konu olan depo; sunulan depo sınıflarından zemine nazaran konumlarına göre yer üstü ve hazne geometrisine göre de silindirik olarak seçilmiştir.



Şekil 1. Depoların sınıflandırılması [9]

3. SIVI DEPOLARININ DİNAMİK ANALİZİ İÇİN ÖNERİLEN MEKANİK MODEL

Sıvı depoları; dinamik bir etkiye maruz kaldığında, depo içindeki sıvının hareketi, asıl olarak iki kütleli hareketi olarak modellenmektedir. Bunlardan ilki deponun yapısal kısmı ile birlikte hareket eden sıvı kütlesi (impuls kütlesi), ikincisi yapısal kısımdan bağımsız olarak hareket eden ve impuls kütlesine nazaran değişik periyotlarla salınım yapan sıvı kütlesi (salınım kütlesi) dir. Bu model Şekil 2 de görülmektedir. Şekilde R Silindirik depoların iç yarıçapını, h sıvının yüksekliğini göstermektedir. Şekilde m_i ve m_c sırasıyla impuls ve salınım kütlelerini, h_i ve h'_i ise impuls kütlesinin ve devirici moment hesabında etkili impuls yüksekliklerini temsil etmektedir. Benzer şekilde, h_c ve h'_c salınım kütlesinin ve devirici moment hesabında etkili salınım yüksekliğini ifade etmektedir.



Şekil 2. Silindirik betonarme deponun dinamik modeli [6]

Deponun alt kısmındaki sıvının meydana getireceği etki impuls kuvveti, üst kısmındaki sıvının meydana getireceği etki ise salınım kuvveti ile temsil edilmektedir. Depo içindeki sıvı impuls kütlesinin depo duvarları ile birlikte hareket ettiği, salınım kütlesinin ise depo duvarlarından farklı olarak hareket ettiği belirtilebilir. İmpuls ve salınım titreşimi temsil eden toplanmış kütle kavramını kullanarak depoların dinamik analizi yapılabilmektedir. Bu modeller basit ve hızlı bir değerlendirme sağlamaktadır. Silindirik depolar için iki kütleli olarak tanımlanan bu model Housner tarafından yönetmelikleri girebilecek hale getirilmiştir.

4. ACI 350 VE EUROCODE 8 DE DİKKATE ALINAN MODELLER

Sıvı depolarının dinamik hesapları ile ilgili olarak ACI 350 ve EUROCODE 8 de toplanmış kütle yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu bağlamda ilk olarak sıvı deposunun geometrik şekline göre sıvı deposu içindeki toplam kütle belirlenmekte, daha sonra bu kütleyle ilgili katsayılar kullanılarak impuls ve salınım kütleleri hesaplanmaktadır. Doğal olarak deponun boyutlarına bağlı olarak bu kütlelerin oranları da değişmektedir. En genel olarak çok sığ depolarda beklendiği gibi depo içindeki sıvının önemli bir kısmı salınım kütlesine katılmakla ve salınım kütlesi ön plana çıkabilmekte, derin depolarda ise impuls kütlesi daha etkin olabilmektedir. ACI 350 ve EUROCODE 8 de dikkate alınan

kütelerin değerleri Tablo 1 de bunların etkime yüksekliklerinin değerleri ise Tablo 2 de verilen bağıntılarla belirlenmektedir. Bu tabloda R depo yarıçapını, D depo çapını, h sıvının yüksekliğini, I_1 değiştirilmiş bessel fonksiyonu, I_1' değiştirilmiş bessel fonksiyonun türevini, λ_n birinci mertebeden bessel fonksiyonu, v_n mod ve frekansa göre değişen bir katsayıyı göstermektedir.

EUROCODE 8 koduna göre, deponun bağıntılar deponun doluluk oranının fonksiyonuna göre belirlenmektedir, kütlelerin hesabından önce oranı hesaplayıp deponun sığ mı derin mi olduğunu karar verilmektedir:

$h/R < 1.5$ ise depo sığ,
 $h/R > 1.5$ ise depo derin.

Silindirik kesitli sığ ve derin depolardaki oranına göre impuls ve salınım kütlelerinin değişimi Şekil 3 de, bu kütlelerin etkime yüksekliklerinin değişimi ise Şekil 4 de görülmektedir. Şekil 3 den görüldüğü gibi doluluk oranının çok küçük değerleri için salınım kütle oranı çok büyük olurken, bu oran 0.8 civarında her iki kütle değeri birbirine eşit olmakta, bu değerden sonra da artık impuls kütle oranı artarak devam etmektedir.

Tablo 1. Silindirik depo içindeki sıvı kütlelerinin ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre belirlenmesi

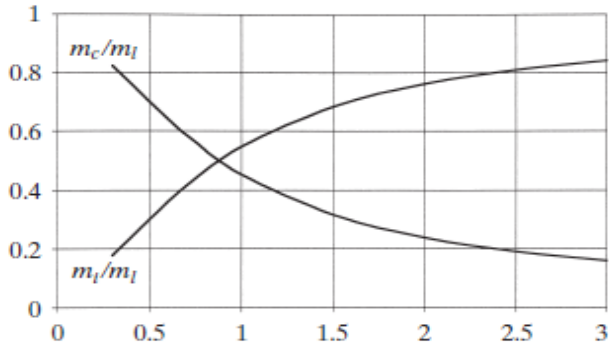
Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
Toplam sıvı kütlesi	$m_l = \pi \cdot R^2 \cdot h \cdot \rho_l$	$m_l = \pi \cdot R^2 \cdot h \cdot \rho_l$
İmpuls kütlesi oranı	$\frac{m_i}{m_l} = \frac{\tanh\left(0.866\left(\frac{D}{h}\right)\right)}{0.866\left(\frac{D}{h}\right)}$	$\frac{m_i}{m_l} = 2\left(\frac{h}{R}\right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{I_1[v_n/(h/R)]}{v_n^3 I_1'[v_n/(h/R)]}$
Salınım kütlesi oranı	$\frac{m_c}{m_l} = 0.230 \times \left(\frac{D}{h}\right) \times \tanh\left(3.68 \frac{h}{D}\right)$	$\frac{m_c}{m_l} = \frac{2 \tanh[\lambda_n(h/R)]}{\lambda_n(h/R)(\lambda_n^2 - 1)}$

Tablo 2. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin etkili yüksekliklerin belirlenmesi

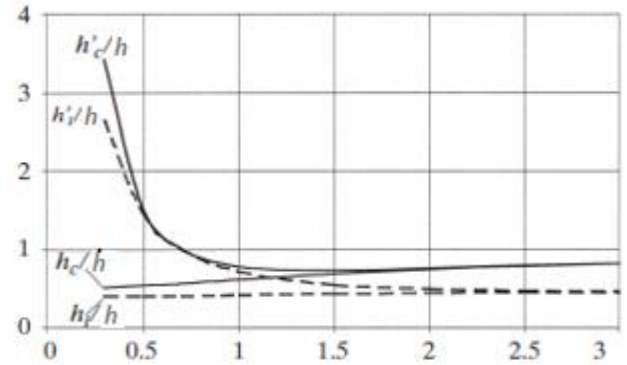
Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
İmpuls kütlesi etkime yüksekliği oranı	$\frac{D}{h} \geq 1.333 \Rightarrow \frac{h_i}{h} = 0.375$ Eğer $\frac{D}{h} < 1.333 \Rightarrow$ $\frac{h_i}{h} = 0.5 - 0.09375 \left(\frac{h}{D}\right)$	$\frac{h_i}{h} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n I_1[v_n/(h/R)]}{v_n^4 I_1'[v_n/(h/R)]} [v_n(-1)^n - 1]}{\sum_{n=0}^{\infty} \frac{I_1[v_n/(h/R)]}{v_n^3 I_1'[v_n/(h/R)]}}$
Salınım kütlesi etkime yüksekliği oranı	$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh\left[3.68 \times \frac{h}{D}\right] - 1}{3.68 \times \frac{h}{D} \times \sinh\left(3.68 \frac{h}{D}\right)}$	$\frac{h_c}{h} = 1 + \frac{1 - \cosh[\lambda_n(h/R)]}{\lambda_n(h/R) \sin[\lambda_n(h/R)]}$
Devirici moment hesabında impuls kütlesi etkime yüksekliği oranı	$\frac{D}{h} < 0.75 \Rightarrow \frac{h_i'}{h} = 0.45$ Eğer $\frac{D}{h} \geq 0.75 \Rightarrow$	$\frac{h_i'}{h} = \frac{\frac{1}{2} + 2\left(\frac{h}{R}\right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{v_n + 2(-1)^{n+1} I_1[v_n/(h/R)]}{v_n^4 I_1'[v_n/(h/R)]}}{2\left(\frac{h}{R}\right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{I_1[v_n/(h/R)]}{v_n^3 I_1'[v_n/(h/R)]}}$

	$\frac{h'_i}{h} = \frac{0.866 \times \frac{D}{h}}{2 \tanh\left(0.866 \times \frac{D}{h}\right)} - \frac{1}{8}$	
Devirici moment hesabında salınım kütleleri etkime yüksekliği oranı	$\frac{h'_c}{h} = 1 - \frac{\cosh\left[3.68 \times \frac{h}{D}\right] - 2.01}{3.68 \left(\frac{h}{D}\right) \sinh\left(3.68 \frac{h}{D}\right)}$	$\frac{h'_c}{h} = 1 + \frac{2 - \cosh[\lambda_n(h/R)]}{\lambda_n(h/R) \sin[\lambda_n(h/R)]}$

Şekil 4 den görüldüğü gibi impuls ve salınım kütlelerin etkime yüksekliklerinin değişimleri de doluluk oranının küçük değerleri için birbirinden çok farklı olmakta, ancak bu oranın 1 değerinden itibaren aralarındaki farklar azalmakta ve yataya yakın bir şekilde ilerlemektedir.



Şekil 3. h/R oranına göre m_i/m_l ve m_c/m_l oranları [4]

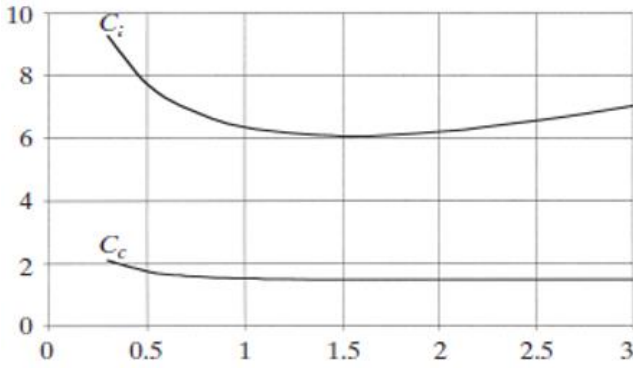


Şekil 4. h/R oranına göre h_i/h , h_c/h , h'_i/h , h'_c/h oranları [4]

EUROCODE 8'e göre h/R oranına göre, C_i ve C_c katsayıların, kütlelerin ve etkime yüksekliklerinin değerleri Tablo 3 de sunulmaktadır. C_i ve C_c katsayılarının h/R oranına göre değişimleri grafik olarak Şekil 5 de sunulmaktadır. Bu şekilden görüldüğü gibi C_i katsayısındaki değişim daha fazla olmaktadır.

Tablo 3. Eurocode 8'e göre h/R oranına göre dinamik parametrelerin değerleri

h/R	C_i	C_c (s/m _l /2)	m_i/m_l	m_c/m_l	h_i/h	h_c/h	h'_i/h	h'_c/h
0,3	9,28	2,09	0,176	0,824	0,400	0,521	2,640	3,414
0,5	7,74	1,74	0,300	0,700	0,400	0,543	1,460	1,517
0,7	6,97	1,60	0,414	0,586	0,401	0,571	1,009	1,011
1,0	6,36	1,52	0,548	0,452	0,419	0,616	0,721	0,785
1,5	6,06	1,48	0,686	0,314	0,439	0,690	0,555	0,734
2,0	6,21	1,48	0,763	0,237	0,448	0,751	0,500	0,764
2,5	6,56	1,48	0,810	0,190	0,452	0,794	0,480	0,796
3,0	7,03	1,48	0,842	0,158	0,453	0,825	0,472	0,825

Şekil 5. h/R oranına göre C_i , C_c katsayılarının değişimi [4]

Silindirik bir deponun titreşimi için impuls ve salınım periyotları olmak üzere iki farklı periyot belirlenmektedir. Bu periyotların belirlenmesi için gerekli olan bağıntılar Tablo 4 de sunulmaktadır. Bu tablodaki semboller: E elastisite modülü, C_w ve C_l periyodun hesabında kullanılan katsayılar, g yerçekimi ivmesi, γ_c beton yoğunluğu, C_c periyodun hesabında kullanılan katsayılar, ρ sıvı yoğunluğu, S duvar kalınlığı, C_i periyodun hesabında kullanılan katsayı.

Tablo 4. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin periyotların belirlenmesi

Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
İmpuls periyodu (T_i)	$C_l = C_w \times \sqrt{\frac{t_w}{10 \times R}}$ ve $w_i = C_l \times \frac{1}{h} \sqrt{10^3 E g / \gamma_c}$ olmak üzere $T_i = \frac{2\pi}{w_i}$	$T_i = C_i \times \frac{\sqrt{\rho \times h}}{\sqrt{S/R} \times \sqrt{E}}$
Salınım periyodu hesabı (T_c)	$\lambda = \sqrt{3.68 g \tanh \left[3.68 \left(\frac{h}{D} \right) \right]}$ olmak üzere $T_c = \frac{2\pi}{\lambda} \times \sqrt{D}$	$T_c = C_c \times \sqrt{R}$

Bir deponun toplam sismik tepkisi için doğal titreşim periyotları, kesme kuvveti ve devirici moment açısından analiz edilmesi gerekmektedir. ACI 350 ve EUROCODE 8'e

göre kesme kuvveti hesabı Tablo 5 de, moment hesabı ise Tablo 6 da sunulmaktadır.

Tablo 5. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre depremde oluşabilecek kesme kuvveti hesabı (V)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$V = \sqrt{(P_i + P_w + P_r)^2 + P_c^2}$ İmpuls kuvvetinin hesabı (P_i) $P_i = Z.S.I.C_i \times \frac{m_i}{R_{W_i}}$ Duvar kütlesi etkisi ile oluşan kuvvet hesabı (P_w) $P_w = Z.S.I.\varepsilon.C_i \times \frac{m_w}{R_{W_i}}$	$V = (m_i + m_w + m_r) \times S_e(T_i) + m_c S_e(T_c)$ Duvar kütlesi hesabı $m_w = 2 \times \pi \times R \times H \times t_w \times \rho_c$ Kapak kütlesi hesabı $m_r = \pi \times R^2 \times t_r \times \rho_c$ Periyoda göre $S_e(T_n)$ hesabını yapılması

<p>Çatı kütlesi etkisiyle meydana gelen kuvvet hesabı (P_r)</p> $P_r = Z.S.I.C_i \times \frac{m_r}{R_{W_i}}$ <p>Salınım kuvvetinin hesabı (P_c)</p> $P_c = Z.S.I.C_c \times \frac{m_c}{R_{W_c}}$ <p>ACI 350 de verilen tablolardan alınacak katsayılar ($Z, S, I, R_{W_i}, R_{W_c}$)</p> <p>Duvar yükü etkisiyle oluşacak kuvvet hesabında kullanılan $\varepsilon \leq 1.0$ katsayı</p> $\varepsilon = \left[0.0151 \left(\frac{D}{h} \right)^2 - 0.1908 \left(\frac{D}{h} \right) + 1.021 \right]$ <p>C_i impuls periyoduna göre hesaplanır, eğer</p> $T_i \leq 0.31s \text{ ise } C_i = 2.5$ $T_i \geq 0.31s \text{ ise } C_i = \frac{1.25}{T_i^{2/3}}$ <p>C_c salınım periyoduna göre hesaplanır.</p> $T_c \geq 2.4s ; C_c = \frac{6}{T_c^2}$	$0 \leq T_n \leq T_B :$ $S_e(T_n) = a_g . S . \left[1 + \frac{T_n}{T_B} . (\eta . 2,5 - 1) \right]$ $T_B \leq T_n \leq T_C :$ $S_e(T_n) = a_g . S . \eta . 2,5$ $T_C \leq T_n \leq T_D :$ $S_e(T_n) = a_g . S . \eta . 2,5 . \left[\frac{T_c}{T_n} \right]$ $T_D \leq T_n \leq 0.4s$ $S_e(T_n) = a_g . S . \eta . 2,5 . \left[\frac{T_c . T_D}{T_n^2} \right]$ <p>İvme hesabında alınan değerler EUROCODE 8 Part I den kullanılmıştır.</p>
--	---

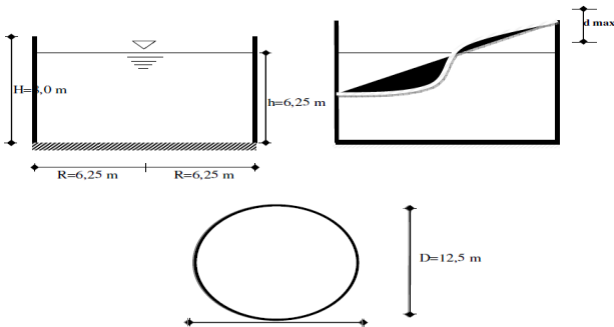
Tablo 6. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin moment ve yüksekliklerin belirlenmesi

Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
Eğilme momenti (M_b)	$M_b = \sqrt{(M_i + M_w + M_r)^2 + M_c^2}$ <p>İmpuls kuvvetinden oluşan impuls momenti</p> $M_i = P_i \times h_i$ <p>Duvar kütesinden meydana gelen duvar momenti</p> $M_w = P_w \times h_w$ <p>Çatı kütesinden meydana gelen çatı momenti</p> $M_r = P_r \times h_r$	$M_b = (m_i h_i + m_w h_w + m_r h_r) . S_e(T_i) + m_c h_c . S_e(T_c)$

	Salınım kuvvetinden oluşan salınım momenti $M_c = P_c \times h_c$	
Deprem esnasında oluşabilecek devirici momenti (M_o)	$M_o = \sqrt{(M_i' + M_w + M_r)^2 + M_c'^2}$ <p>Devirici momenti hesabında kullanılan impuls momenti</p> $M_i' = P_i \times h_i'$ <p>Devirici momenti hesabında kullanılan salınım momenti</p> $M_c' = P_c \times h_c'$ <p>Duvar kütesinden meydana gelen duvar momenti</p> $M_w = P_w \times h_w$ <p>Çatı kütesinden meydana gelen çatı momenti</p> $M_r = P_r \times h_r$	$M_o = (m_i h_i' + m_w h_w + m_r h_r) \cdot S_e(T_i) + m_c h_c' \cdot S_e(T_c)$
Maksimum oluşabilecek dalga yüksekliği (d_{max})	$d_{max} = \left(\frac{D}{2}\right) I \times \eta_c \times \frac{1.226 S_D}{T_c^2}$	$d_{max} = R \times \frac{S_e(T_c)}{g}$

5. SAYISAL UYGULAMA

Bu bölümde pratik uygulama için EUROCODE 8'e göre rijit ve esnek, ACI 350 ye göre esnek çözüm yapılmıştır. Dördüncü (4) deprem bölgeye göre analiz edilmiştir (her iki standart için yer ivmesi ve yapı davranış katsayısı aynı seçilmiştir).



Şekil 6. Kullanılan depo modeli

Table 7. Verilen parametre

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$E = 21.10^3 N / m^2$	$h = 6.25m$
$\nu = 0.17$	$R = 6.25m$
$t_w = 0.5m$	$H = 8m$
$g = 9.81m / s^2$	$\gamma_l = 1000k_g / m^3$
$Z = 1.226$	$a_{gR} = 0.1g$

Tablo 8. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin kütle, etkili yükseklik ve salınım periyodunun hesabı

Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
Toplam sıvı kütlesi	$m_l = \pi \times \frac{12.5^2}{4} \times 6.25 \times 1000$ $m_l = 766601.563k_g$	$m_l = \pi \times 6.25^2 \times 6.25 \times 1000$ $m_l = 766601.563k_g$
İmpuls kütlesi oranı	$\frac{m_i}{m_l} = \frac{\tanh \left[0.866 \left(\frac{12.5}{6.25} \right) \right]}{0.866 \left(\frac{12.5}{6.25} \right)}$ $m_i = 415611.356k_g$	$h/R = \frac{6.25}{6.25} \Rightarrow h/R = 1 ;$ $\frac{m_i}{m_l} = 0.548 \Rightarrow m_i = 0.548m_l$ $m_i = 0.548 \times 766601.563$ $m_i = 420097.656k_g$
Salınım kütlesi oranı	$\frac{m_c}{m_l} = 0.230 \left(\frac{12.5}{6.25} \right) \cdot \tanh \left[3.68 \left(\frac{6.25}{12.5} \right) \right]$ $m_c = 352636.434k_g$	$\frac{m_c}{m_l} = 0.452 \Rightarrow m_c = 0.452m_l$ $m_c = 0.452 \times 766601.563$ $m_c = 346503.907k_g$
İmpuls kütlesi etkili yükseklik hesabı	<p>Depoda $\frac{D}{h} > 1.333 \Rightarrow \frac{h_i}{h} = 0.375$</p> $h_i = 0.375 \times 6.25$ $h_i = 2.344m$	$\frac{h_i}{h} = 0.419 \Rightarrow h_i = 0.419h$ $h_i = 0.419 \times 6.25$ $h_i = 2.619m$
Salınım kütlesi etkili yükseklik hesabı	$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3.68 \left(\frac{6.25}{12.5} \right) \right] - 1}{3.68 \left(\frac{6.25}{12.5} \right) \cdot \sinh \left[3.68 \left(\frac{6.25}{12.5} \right) \right]}$ $\frac{h_c}{h} = 0.602 \Rightarrow h_c = 0.602h \Rightarrow h_c = 3.763m$	$\frac{h_c}{h} = 0.616 \Rightarrow h_c = 0.616h$ $h_c = 0.616 \times 6.25$ $h_c = 3.850m$
Devirici moment hesabında etkili impuls yüksekliği hesabı (h'_i)	<p>Depoda $\frac{D}{h} \geq 0.75$</p> $\frac{h'_i}{h} = \frac{0.866 \left(\frac{12.5}{6.25} \right)}{2 \tanh \left[\left(0.866 \left(\frac{12.5}{6.25} \right) \right) \right]} - \frac{1}{8}$ $\frac{h'_i}{h} = 0.797 \Rightarrow h'_i = 4.981m$	$\frac{h'_i}{h} = 0.721 \Rightarrow h'_i = 0.721 \times h$ $h'_i = 0.721 \times 6.25$ $h'_i = 4.506m$

Devirici moment hesabında etkili salınım yüksekliği hesabı (h'_c)	$\frac{h'_c}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3.68 \left(\frac{6.25}{12.5} \right) \right] - 2.01}{3.68 \left(\frac{6.25}{12.5} \right) \times \sinh \left[3.68 \left(\frac{6.25}{12.5} \right) \right]}$ $\frac{h'_c}{h} = 0.784 \Rightarrow h'_c = 4.900m$	$\frac{h'_c}{h} = 0.785 \Rightarrow h'_c = 0.785h$ $h'_c = 0.785 \times 6.25$ $h'_c = 4.906m$
Salınım periyodu hesabı (T_c)	$T_c = \frac{2\pi \times \sqrt{12.5}}{\sqrt{3.68 \times 9.81 \times \tanh \left[3.68 \times \frac{6.25}{12.5} \right]}}$ $T_c = 3.789s$	$T_c = 1.52 \times \sqrt{6.25}$ $T_c = 3.800s$

Tablo 9. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin impuls periyodun hesabı (T_i)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i}$ <p>C_l Katsayısı hesabında kullanılan C_w katsayısının hesabı :</p> $C_w = 9.375 \cdot 10^{-2} + 0.2039 \left(\frac{6.25}{12.5} \right) - 0.1034 \left(\frac{6.25}{12.5} \right)^2 - 0.1253 \left(\frac{6.25}{12.5} \right)^3 + 0.1267 \left(\frac{6.25}{12.5} \right)^4 - 3.186 \cdot 10^{-2} \left(\frac{6.25}{12.5} \right)^5$ $C_w = 0.1611099$ <p>C_l Katsayısının hesabı :</p> $C_l = 0.1611099 \sqrt{\frac{0.5}{10 \times 6.25}}$ $C_l = 0.0144$ <p>Açısal hız hesabı</p> $\omega_i = 0.0144 \times \frac{1}{6.25} \sqrt{\frac{10^3 \times 21.10^3 \times 9.81}{2.4}}$ $\omega_i = 21.346$ $T_i = \frac{2\pi}{21.346}$ $T_i = 0.300s$	<p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde sıvı deposu deprem esnasında zemin hareketini taklit edecektir.</p> <p>Dördüncü deprem bölgesi kabulüne göre zemin ivmenin hesabı :</p> $\gamma_i \geq 1 \Rightarrow a_{gR} = 0.1g$ $a_{gR} = 0.1 \times 9.81$ $a_{gR} = 0.981$ $a_g = \gamma_l \times a_{gR}$ $a_g = 1.25 \times 0.981$ $a_g = 1.226m/s^2$ <p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman impuls periyodun hesabını yapılmalı :</p> $T_i = 6.36 \times \frac{\sqrt{1} \times 6.25}{\sqrt{\frac{0.5}{6.25}} \times \sqrt{21.10^3}}$ $T_i = 0.306s$

Tablo 10. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti hesabı (V)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
<p>C_c ve C_i katsayıların hesabı</p> <p>$T_i \leq 0.31s$; $C_i = 2.5$</p> <p>$T_c \geq 2.4s$; $C_c = \frac{6}{T_c^2}$; $C_c = \frac{6}{3.789^2}$; $C_c = 0.4179$</p> <p>Duvar yükü etkisiyle oluşacak kuvvet hesabında kullanılan</p> <p>ε katsayısı hesabı</p> $\varepsilon = \left[0.0151 \left(\frac{6.25}{12.5} \right)^2 - 0.1908 \left(\frac{6.25}{12.5} \right) + 1.021 \right]$ <p>$\varepsilon = 0.9294$; $\varepsilon \leq 1.00$</p> <p>İmpuls kuvvetin hesabı (P_i)</p> $P_i = 1.226 \times 1.2 \times 1.25 \times 2.5 \times \frac{4074.621}{1.25}$ <p>$P_i = 14986.456KN$</p> <p>Salınım kuvvetinin hesabı (P_c)</p> $P_c = 1.226 \times 1.2 \times 1.25 \times 0.4179 \times \frac{3457.219}{1.00}$ <p>$P_c = 2656.935KN$</p> <p>Duvar kütlesi etkisiyle oluşan kuvvet hesabı (P_w)</p> $P_w = 1.226 \times 1.2 \times 1.25 \times 0.929 \times 2.5 \times \frac{3694.118}{1.25}$ <p>$P_w = 12622.291KN$</p> <p>Çatı kütlesi etkisiyle meydana gelen kuvvet hesabı (P_r)</p> $P_r = 1.226 \times 1.2 \times 1.25 \times 2.5 \times \frac{577.206}{1.25}$ <p>$P_r = 2122.963KN$</p> $V = \sqrt{(P_i + P_w + P_r)^2 + P_c^2}$ $V = \sqrt{(29731.71)^2 + (2656.935)^2}$ <p>$V = 29850.019KN$</p>	<p>Duvar kütlesi hesabı :</p> $m_w = 2 \times \pi \times 6.25 \times 8 \times 0.5 \times 2400 \quad m_w = 376800k_g$ <p>Kapak kütlesi hesabı</p> $m_r = \pi \times 6.25^2 \times 0.2 \times 2400$ <p>$m_r = 58875k_g$</p> <p>İmpuls ivmesi hesabı :</p> <p>$s = 1.2$ olursa ve %5 sönüm için</p> $T_B \leq T_i \leq T_C$ $S_e(T_i) = 1.226 \times 1.2 \times 1 \times 2.5$ <p>$S_e(T_i) = 3.678$</p> <p>salınım ivmesi hesabı :</p> $T_D \leq T_C \leq 4s$ $S_e(T_c) = 1.226 \times 1.2 \times 1 \times 2.5 \times \left(\frac{0.5 \times 2}{3.8^2} \right)$ <p>$S_e(T_c) = 0.255$</p> <p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde :</p> $V = 4118.604 \times 1.226 + 3397.097 \times 0.255$ <p>$V = 5915.668KN$</p> <p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman :</p> $V = 8389.927 \times 3.678 + 3397.097 \times 0.255$ <p>$V = 31724.410KN$</p>

Tablo 11. Deprem esnasında oluşabilecek Eğilme momentin hesabı (M_b)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
<p>İmpuls kuvvetinden oluşan impuls momentini</p> $M_i = 14986.456 \times 2.344$ $M_i = 35128.253 \text{KNm}$	$h_i = 2.619 \text{m}$ $h_w = 4 \text{m}$ $h_r = 8.10 \text{m}$ <p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde :</p> $M_b = a + b$
<p>Salınım kuvvetinden oluşan salınım momentini</p> $M_c = 2656.935 \times 3.763$ $M_c = 9998.046 \text{KNm}$	$a \Rightarrow m_i h_i S_e(T_i) = 4118.656 \times 2.619 \times 1.226$ $m_i h_i S_e(T_i) = 13224.567 \text{KNm}$ $b \Rightarrow m_c h_c S_e(T_c) = 3397.097 \times 3.85 \times 0.255$ $m_c h_c S_e(T_c) = 3335.099 \text{KNm}$ $M_b = 13224.567 + 3335.099$ $M_b = 16559.666 \text{KNm}$
<p>Duvar kütlelerinden meydana gelen duvar momentini</p> $M_w = 12622.291 \times 4$ $M_w = 50489.164 \text{KNm}$	<p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman :</p> $M_b = a + b$ $a \Rightarrow$ $(m_i h_i + m_w h_w + m_r h_r) S_e(T_i) = 111217.02 \text{KNm}$ $b \Rightarrow$ $m_c h_c S_e(T_c) = 3335.099 \text{KNm}$ $M_b = 111217.02 + 3335.099$ $M_b = 114552.119 \text{KNm}$
<p>Çatı kütlelerinden meydana gelen çatı momentini</p> $M_r = 2122.963 \times 8.10$ $M_r = 17196 \text{KNm}$ $M_b = \sqrt{(M_i + M_w + M_r)^2 + M_c^2}$ $M_b = \sqrt{(102813.417)^2 + (9998.046)^2}$ $M_b = 103298.401 \text{KNm}$	

Tablo 12. Deprem esnasında oluşabilecek devirici momentin hesabı (M_o)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
<p>Devirici momentini hesabında kullanılan impuls momentini</p> $M_i' = 14986.456 \times 4.981$ $M_i' = 74647.537 \text{KNm}$	<p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde : $M_o = c + d$</p> $c \Rightarrow$ $m_i h_i' S_e(T_i) = 4118.656 \times 4.506 \times 1.226$ $m_i h_i' S_e(T_i) = 22752.922 \text{KNm}$ $d \Rightarrow$

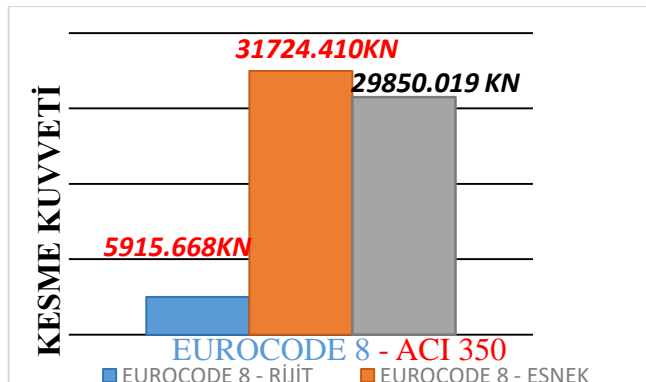
<p>Devirici momenti hesabında kullanılan salınım momenti</p> $M_c' = 2656.935 \times 4.9$ $M_c' = 13018.981 \text{KNm}$ $M_o = \sqrt{(M_i' + M_w + M_r)^2 + M_c'^2}$ $M_o = \sqrt{(142332.701)^2 + (13018.981)^2}$ $M_o = 142926.875 \text{KNm}$	$m_c h_c' S_e(T_c) = 3397.097 \times 4.906 \times 0.255$ $m_c h_c' S_e(T_c) = 4249.870 \text{KNm}$ $M_o = 22752.922 + 4249.870$ $M_o = 27002.792 \text{KNm}$ <p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman :</p> $M_o = c + d$ $c \Rightarrow$ $(m_i h_i' + m_w h_w + m_r h_r) S_e(T_i) = 139802.58 \text{KNm}$ $d \Rightarrow$ $m_c h_c' S_e(T_c) = 4249.870 \text{KNm}$ $M_o = 139802.58 + 4249.870$ $M_o = 144052.45 \text{KNm}$
--	---

Tablo 13. Maksimum oluşabilecek dalga yüksekliğinin hesabı (d_{\max})

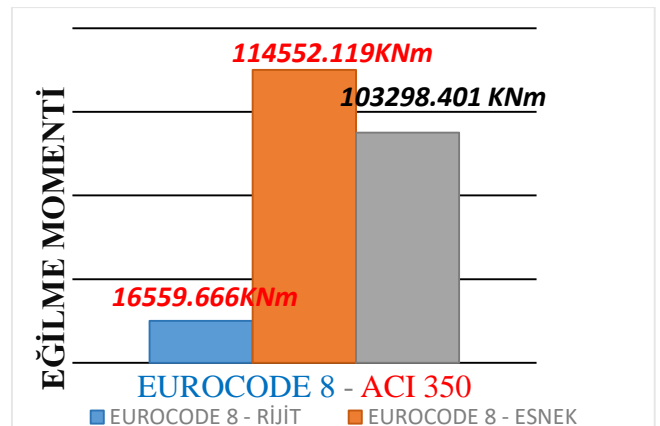
ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$d_{\max} = \left(\frac{12.5}{2}\right) \times 1.25 \times 1 \times \frac{1.226 \times 0.255}{3.8^2}$ $d_{\max} = 0.174 \text{m}$	$d_{\max} = 6.25 \times \frac{0.255}{9.81}$ $d_{\max} = 0.162 \text{m}$

6. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

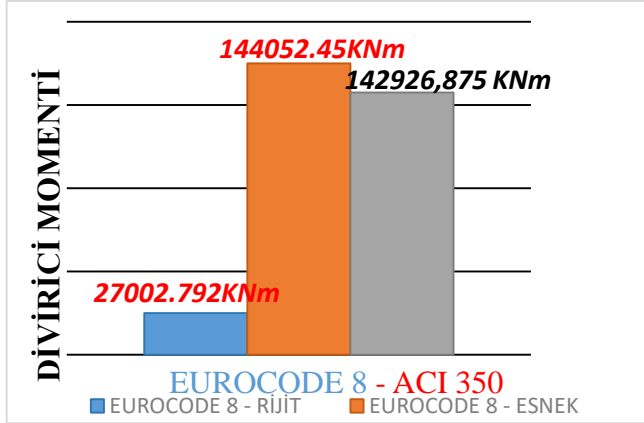
Gerçekleştirilen dinamik analizden ACI 350 ve EUROCODE 8 göre gerçekleştirilen çözümlerden hesaplanan kesme kuvvetinin karşılaştırılması Şekil 7 de, Eğilme momentinin karşılaştırılması Şekil 8 de, devirici momentin karşılaştırılması Şekil 9 da, dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması ise Şekil 10 da sunulmaktadır.



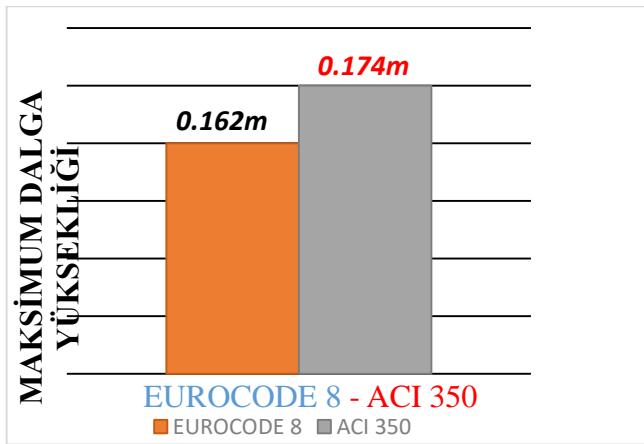
Şekil 7. Kesme kuvvetinin karşılaştırılması



Şekil 8. Eğilme momentinin karşılaştırılması



Şekil 9. Devirici momentin karşılaştırılması



Şekil 10. Maksimum dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması

7. SONUÇ

Çalışma kapsamında ACI 350 ve EUROCODE 8'de silindirik sıvı depoları için öngörülen bağıntılar karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Örnek bir silindirik depo seçilerek belirtilen iki koda göre depreme göre hesabı yapılarak dinamik parametreleri belirlenmiştir. Buna göre; Eurocode 8'e göre gerçekleştirilen rijit ve esnek çözümler arasında çok büyük farklar çıkmaktadır. Dolayısıyla depoyu rijit olarak kabul ederek gerçekleştirilen çözümler gerçekte elverişsiz durumda kalabilmektedir.

Elde edilen impuls ve salınım kütleleri ile bunların etkime yükseklikleri birbirine yakın olarak belirlenmiş aralarındaki maksimum fark %4 olmuştur.

Kesme kuvveti, eğilme momenti, sıvı deposunun devirici momenti ve deprem esnasında oluşacak maksimum dalga yüksekliğinin değerleri de birbirine yakın olarak belirlenmiştir. Maksimum fark %6 olmuştur.


KAYNAKÇA


- [1]. Eurocode 8, "Design of structures for earthquake resistance", Part 4: Silos, Tanks and Pipelines, Brussels, Belgium, no. prEN1988-4, pp. 44–81, 2006.
- [2]. Eurocode 8, "Design of structures for earthquake resistance", Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, Ground Conditions and Seismic Action, Brussels, Belgium, no. EN1988-1, pp. 33–44, 2004.
- [3]. ACI 350.3-06, "American concrete institute committee ", Seismic design of liquid containing concrete structures and Commentary, America, 1–63, 2006.
- [4]. P.K. Malhotra, T. Wenk, and M. Wieland, "Simple procedure for seismic of liquid storage tanks", Structural engineering international, 10 (3), 197-201, (2010).
- [5]. M. Faridkhouri and W.J. Elias, "Determination of hydrodynamic forces in rectangular storage tanks under seismic action ", International Journal of Scientific Research and Reviews, 4 (1), 50-67, (2015).
- [6]. V. Vukobratovic and D. Ladinovic, "A simplified seismic analysis of simplified seismic analysis of circular liquid storage tanks ", The 6th psu-uns international conference on engineering and technology, Novi sad, Serbia, 2013.
- [7]. F. Majid, M. Lahlou, M. El ghorba, and A. Hachim, "Réservoirs de stockage : Méthodologie de calcul et analyse sécuritaire", 22^{ème} congrès français de mécanique, Paris, France, 2015.
- [8]. K. Meskouris, B. Holschoppen, C. Butenweg, and J. Rosin, "Seismic analysis of liquid storage tanks", 2nd INQUA-IGCP-567 International Workshop on Active Tectonics, Earthquake Geology, Archaeology and Engineering, Corinth, Greece, 2011.
- [9]. A. Doğangün, "Betonarme sıvı depoları ve projelendirme ilkeleri", Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 1989.
- [10]. A. Doğangün, "Dikdörtgen kesitli su depolarının sonlu elemanlar yöntemiyle depo-Sıvı zemin etkileşimini dikkate alarak Analitik yöntemlerle karşılaştırmalı deprem analizi ", Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 1995.
- [11]. R. Livaoğlu, "Ayaklı depoların sıvı-yapı-zemin etkileşimleri dikkate alınarak deprem davranışlarının incelenmesi ", Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 2005.
- [12]. Y. Yıldız, "Betonarme sıvı depolarının farklı yönetmeliklere göre karşılaştırmalı deprem analizi ", Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, Türkiye, 2009.
- [13]. I. T. Avval, "Dyanic response of concrete rectangular liquid tanks in three-dimensional space", Ph. D. thesis, Ryerson University, Toronto, Canada, 2012.


Büro Binaları Acil Tahliye Senaryolarının Simülasyon Destekli Oluşturulması

*¹ Recai Aksoy, ² Gökhan Coşkun, ^{3,4} Hakan Serhad Soyhan

*¹ Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yangın Güvenliği ve Yanma EABD,

54150, Serdivan – Sakarya, recaiaksoy@gmail.com, 

² Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yangın Güvenliği ve Yanma EABD, 54150, Serdivan -Sakarya, gcoskun@sakarya.edu.tr, 

³ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yangın Güvenliği ve Yanma EABD, hsoyhan@sakarya.edu.tr, 54150, Serdivan –Sakarya, 

⁴ Team-San Ltd.Şti., Sakarya Üniversitesi, Teknokent, hsoyhan@teamsan.com.tr, 54150, Serdivan -Sakarya

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 09.11.2018

Kabul Tarihi: 26.07.2019

Öz

Son yıllarda, hızlı nüfus artışı ve ekonomik gelişmeler sonucunda ülkemizde büro binalarının sayısında önemli artışlar görülmektedir. İnşa edilen bu binalar oldukça büyük ve mimari açıdan karmaşık tasarıma sahip olmaktadır. Bu tip karmaşık yapılara sahip büro binalarının inşasından sonra hatalı projelendirilmenin değiştirilebilmesinin zorluğundan ve yüksek maliyetlerinden dolayı yangın tesisatı ve acil durumlarda binada bulunanların tahliye senaryoları, bina proje aşamasında iken planlanmalıdır. Büro binaları da bu planları dikkate alarak özenle inşa edilmelidir. Ayrıca bina içerisinde çalışanların sayısı ve yerleşimine göre belirli aralıklarla tahliye senaryoları geliştirmeleri ve tatbikatlar uygulanmalıdır. Tahliyenin önceden planlanmış senaryolara bağlı olarak başlamaması halinde, optik yoğunluk sonucu boğulma kaynaklı ölümlerle karşılaşma oranı azımsanmayacak kadar fazladır. Bu sebeple mutlaka güncel tahliye senaryoları hazırlanmalı, mümkün olduğu kadar tatbikatlar yapılmalı ve gelişen yazılım teknolojilerini kullanarak en efektif tahliye senaryosunun tespiti yapılmalıdır. Bu çalışmada, hem insani hem de yapısal tahliye unsurları ile ilgili olarak 6 farklı senaryo hazırlanmış ve bu senaryoların tatbikatı bilgisayar destekli simülasyonlar yardımıyla yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde en uygun tahliye senaryosu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yangın, Tahliye, Simülasyon, Tahliye Planları, Senaryo

Simulation for Office Buildings Emergency Evacuation Scenarios

*¹ Recai Aksoy, ² Gökhan Coşkun, ^{3,4} Hakan Serhad Soyhan

*¹ Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yangın Güvenliği ve Yanma EABD,

recaiaksoy@gmail.com, 54150, Serdivan -Sakarya

² Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yangın Güvenliği ve Yanma EABD, 54150, Serdivan -Sakarya, gcoskun@sakarya.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1485-4325

³ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yangın Güvenliği ve Yanma EABD, hsoyhan@sakarya.edu.tr, 54150, Serdivan -Sakarya

⁴ Team-San Ltd.Şti., Sakarya Üniversitesi, Teknokent, hsoyhan@teamsan.com.tr, 54150, Serdivan -Sakarya

Abstract

In recent years, because of population growth and economic developments, there has been a significant increase in the number of Office Buildings in our country. Due to the difficulties and high costs of changing the faulty project of these kind of complex buildings, the emergency case evacuation scenarios should plan while the building is in project phase. Office buildings should

*Sorumlu Yazar: Recai Aksoy, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yangın Güvenliği ve Yanma EABD, recaiaksoy@gmail.com, +90 505 204 3197

Bu çalışma ISHAD2018'de sunulan bildiriden türetilmiştir.

Doi: 10.21541/apjes.480926

also be carefully constructed considering these plans. In addition, evacuation scenarios should be develop and apply depending on locations and number of the occupant in the building. If the extraction does not start due to a pre-planned scenario, optical density may be associated with death from asphyxiation. For this reason, current evacuation scenarios should be prepared, fire drills should be made as much as possible and the most effective evacuation scenario should be determined by using developing software technology. In this study, six different scenarios were prepared for human and structural evacuation elements and simulated using an evacuation software. From the simulation results, the most appropriate evacuation scenario was determined.

Keywords: Fire, Evacuation, Simulation, Evacuation Plans, Scenarios

1. GİRİŞ

Günümüz büro binalarında farklı yaş gruplarında insanlar bulunmakta ve acil durumlarda hızlı bir şekilde yapılması gereken tahliye kişilerin hareket yeteneği, tahliye eğitimi alıp almamaları ve tahliye yönergelerinin yetersiz olması nedeniyle büyük oranda etkilenmektedir. Binadaki insanların tahliyesinde, acil kaçış noktaları etkin bir şekilde belirlenmeli ve tahliye için farklı senaryolar planlanarak en uygun senaryo seçilip aksiyon planına eklenmelidir.

Geçerli yönetmelik ve standartların belirlediği gereklilikler ve kurallara uyulması durumunda bile ortaya çıkacak sonuçlar tam olarak bilinmemektedir [1]. Yönetmeliklerdeki maddelerin ve kuralların birebir uygulandığı birçok değişik biçimde hallerde bile, bina boşaltım süresi veya acil çıkış genel durumlarını etkileyen değişkenler doğru olarak değerlendirilememektedir.

Bu sebeple, yönetmelikteki maddelerin birebir uygulanması ile yapılan bir tasarım aşamasında dahi, özellikle binayı işgal eden kullanıcıların tipinin antropometrik özelliklerden kaynaklanan farklılıklar nedeniyle beklenen tahliye sürelerinde ciddi tutarsızlıklar oluşmaktadır.

Bu durumda bina yapısı, mobilya yerleşimi, binayı kullanan kişilerin antropometrik özelliklerinin ve hatta yangın dumanının tahliye olan kişiler üzerindeki etkilerinin de modellenbildiği bilgisayar yazılımları sayesinde çok daha detaylı ve doğru tahliye süresi hesabı yapılabilir. Bu sayede acil tahliye koşullarını farklı senaryolar ile tatbikat yapmadan incelemek mümkün olmakta ve böylece tahliye simülasyonların yapılması önem kazanmaktadır.

Bu simülasyonların yapılmasındaki diğer önemli husus da büro binalarının sabit çalışanlar dışında dışarıdan gelen farklı özellikteki kullanıcıları da barındırmasıdır. Bu sebeple tahliyede risk faktörü artmakta ve olumsuz birçok etkisi görülmektedir [2].

Tüm bu risk etmenleri göz önünde bulundurulduğunda, farklı acil tahliye senaryolarının meydana getirilmesi hem acil tahliye yönünden hem de yaşam güvenliği önlemleri bakımından büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada binalar için hazırlanan acil durum yönetmelikleri yangından korunma ve tahliye açısından incelenmiştir. Ayrıca örnek bir büro binası için 6 farklı senaryo kullanılarak tahliye süreleri tespit edilmiştir ve elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.

2. Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelikler

2015 tarihli binaların yangından korunması hakkındaki yönetmelik (BKHY-2015) hızlı tahliye için uyulması gereken kuralları ve tahliyenin başlaması için kritik öneme sahip yangın uyarı sistemlerini kullanım koşullarını içermektedir. Detaylandırılmış bir yönetmelik olmasına karşın dinamik yapıya sahip büro binaları için, bina özeline inilerek daha detaylı planların yapılması gerektiği anlaşılmaktadır.

2.1. Madde 159 (1)

Binaların yangından korunması hakkında yönetmeliğin 159. maddesine göre büro binalarında en az 2 bağımsız kaçış merdiveni veya başka çıkışların sağlanması gerekir.

Ancak;

- Yapı yüksekliğinin 21.50 m'den az olması,
- Bir kattaki kullanıcı sayısının 50 kişiden az olması,
- Bütün katlarda en fazla kaçış uzaklığının Ek-14'teki uzaklıklara uygun olması,
- Yapımda yanmaz ürünler kullanılmış olması,
- İmalat ve depolamada kolay alevlenici ve parlayıcı maddeler kullanılmaması, şartlarının hepsinin birlikte gerçekleşmesi hâlinde tek kaçış merdiveni yeterlidir [3].

2.2. Madde 161 (1), Madde-75, Ek-7

5000 m²'yi geçen tüm büro binalarında algılama ve uyarı sistemi uygulanır [3].

Yönetmelik maddelerinde belirtilen tasarım kıstasları ile büro binalarındaki kullanıcıların acil durum anında hızlıca ve karmaşaya mahal vermeyecek şekilde akış oluştuğunu varsaymak, bu değerlerle acil çıkış yolu uzunluklarını ve bina boşaltım zamanlarını tespit etmek, yangın ve yaşam güvenliğini sağlayabilmek adına yeterli ve güvenilir neticeler vermemektedir.

Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik-2015 ile tayin edilen düşük yangın tehlikesine sahip mekanların kullanım alanları Tablo-1'de açıklanmıştır.

Tablo 1. Düşük tehlike kullanım alanları [3]

EK-1/A Düşük Tehlike Kullanım Alanları
Düşük yangın yüküne sahip, düşük yanabilirliği olan ve yangına karşı direnci en az 30 dakika olan 126 m ² 'den büyük bölümü olmayan mekânlar. Okullar ve diğer eğitim kurumları (belirli alanları*), bürolar (belirli alanları*), hapishaneler
* Kullanım alanları, Ek-1.b ve Ek-1.c kapsamına girmeyen alanlar.

Tablo 2'de görüldüğü gibi (BKHY-2015) ile belirlenen yangına dayanım (direnc) süreleri, binanın kullanım sınıflarına göre ayrılmaktadır.

Tablo 2. Bina kullanım sınıflarına göre yangına dayanım süreleri [3]

Ek-3/C Bina Kullanım Sınıflarına Göre Yangına Dayanım (Direnc) Süreleri						
Bina Kullanım Sınıfları	Yapı Elemanlarının Yangına Dayanım Süreleri (dk.)					
	Bodrum Katlar (üstündeki döşeme dahil)		Giriş veya Üst Katlar			
	Bodrum Katların Derinliği (m)		Bina Yüksekliği (m)			
	10 m' den	10 m' den az	5 m' den az	21,50 m' den	30,50 m' den	30,50 m' den
4. Büro Binaları						
*yağmurlama sistemi yok	90	60	30	60	90	İzin verilmez
*yağmurlama sistemli	60	60	30	30	60	120

BYKHY-2015 Ek5/A'da tanımlanan Büro Binalarında, konferans salonu, mutfaklar, resepsiyon alanları, bekleme alanları, atrium zemini için alınması gereken kullanıcı yükü katsayıları tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Kullanıcı yükü katsayıları [3]

Ek-5/A Kullanıcı Yükü Katsayısı Tablosu			
	Kullanım Alanı	M2/kişi	
1	Konferans salonu, çok amaçlı salonlar (balo vs), lokanta, kantin, bekleme salonları, konser salonları, sinema ve tiyatro salonları, topluma açık stüdyo, düğün salonu vb.	1.5	
2	Dans salonları, bar, gece kulüpleri ve benzeri yerler	Oturulan kısımları için	1.0
		Ayakta durulan kısımları için	0.5
3	Sergi alanları, stüdyolar (film, radyo, televizyon, kayıt)	1.5	
4	Terminallerin yolcu gelip gidip bekleme salonları	3	
5	Derslikler, bilgisayar odaları, seminer salonları	1.5	
6	Resepsiyon alanları, bekleme alanları, atrium zemini	3	

BYKHY-2015 Ek5/B'de tanımlanan Büro Binaları için tek yönde ve çift yönde tahliye noktalarına götüren en uzun tahliye noktası mesafeleri tablo 4'de görülmektedir

Tablo 4. Çıkışlara götüren en uzun kaçış uzaklıkları [3]

Ek-5/B Çıkışlara Götüren En Uzun Kaçış Uzaklıkları ve Birim Genişlikleri						
Kullanıcı Sınıfı	Tek yön en çok uzaklık(m)		İki yönde en çok uzaklık(m)		Birim genişlik için kişi sayısı	Çıkamaz koridor en çok uzaklık(m)
Büro Binaları	15	Yağmurlama sistemi yok	45	Yağmurlama sistemi yok	Kapı Açıklıklarında	Koridorlar
	30	Yağmurlama sistemli	75	Yağmurlama sistemli		
100	80	Dışarı çıkış	Dışarı çıkış	Diğer kapılar ve koridor kapıları	Kacıs merdivenlerinde	Yağmurlama sistemi yok
15						
20						

Tablo 5’de verildiği gibi BYKHY–2015 Ek5/B’de tanımlanan Büro Binaları için binalarda özellikle orta ve büyük kapasiteli endüstriyel tesisler ile kullanım alanı 5,000 m²’den fazla tüm Büro Tarzı Binalarda yangın algılama sistemi yapılması mecburidir.

Tablo 5. Otomatik algılama sistemi gereken binalar [3]

Ek-7 Otomatik Algılama Sistemi Gereken Binalar			
		Yapı Yüksekliği	Bina toplam kapalı alanı
1. Konutlar		>51,50	-
2. Konaklama Amaçlı Binalar		>6,50	>1000
3. Kurum Binaları	Eğitim Tesisleri	>21,50	>5000
	Yataklı Sağlık Tesisleri	>6,50	>1000
	Ayakta tedavi ve diğer sağlık tesisleri	>21,50	>2000
4. Büro Binaları		>30,50	>5000
5. Ticaret Amaçlı Binalar (1)		> 12,50	>2000
6. Endüstriyel Amaçlı Yapılar (2)		>21,50	>7500
7. Toplanma Amaçlı Binalar	Yeme içme	>12,50	>2000
	Eğlence	>12,50	>2000
	Müze ve sergi alanları	>6,50	>5000
	Terminaller	> 6,50	>5000
8. Depolar		>6,50	>5000
9. Yüksek Tehlikeli Yerler		>6,50	>1000
Not: Sebze ve meyve halleri, balık halleri, et borsaları, metal yedek parça bulunan yerler ile benzeri yangın riski olmayan yerler hariç.			

Bu tanımlamalar ile yönetmeliğin ana hatları belirlenmiş olup, büro binalarının dizaynı için kâfi kabul görülmüştür. Bu donelerin yeterliliği olağan koşullarda sadece acil durum lahzasında deney edilebilmektedir [4]. Farklı bina kullanıcılarının hep beraber olduğu ve planlanan tasarımın sonuçlarının tecrübe edilmesinin gerçekleştirilebilmesi ve neticelerinin değerlendirilmesi için, tüm kullanıcıların süratleri, duruş açıklıkları, yaşları gibi pek çok genel husus dikkate alınarak can ve yangın emniyeti imkanlarını imtihan eden Acil Tahliye Simülasyonları önemiyet kazanmaktadır.

2. DURUM ÇALIŞMASI

Acil hallerde binada bulunan tüm insanların, binadan ayrıldıkları gerçek zamanı hesap etmek, can, meta ve yangın emniyeti için alınan tedbirlerin kiyafetliğini sınamak için kullanılan metot olan simülasyon, tüm dünyada birçok uygulaması bulunan ve gittikçe daha fazla kullanılmaya başlanan bir metottur. Yapının dizaynı süresince kullanılarak yapılan küçük değişiklikler ile ciddi sorunlara yol açabilecek durumları engelleyebilecek önlemlerin alınmasında önemli seviyede katkıda bulunabilmektedir. Acil Tahliye Simülasyonları, doğru donelerle gerçek zamanlı bir dizayn yapmaya imkan temin ettiği gibi, yangın tahliye

tasarımlarında tolere edilebilen zaman unsuru, insanların toplumsal davranışları ve genel özellikleri tasarım değişkenlerine eklenebilmesini sağlayabilmektedir [5]. Binada bulunan insanların davranışları, binanın kullanım sınıfı tahliye planlarında doğrudan ilişkili olup, göz önünde bulundurulması gereken önemli bir husustur. Bir binanın yangın güvenliği yönetmeliği koşullarını sağlarken, binanın içinde bulunan insanları de binanın bir parçası olarak saymak, can, meta ve yangın emniyetini hesaba katarak tasarımı oluşturmak, acil durum anında karmaşayı azaltarak tahliye zamanını kısaltacaktır. Acil durumda insanlar toplu devinim halinde bulunurlar [6]. Toplu hareket neticesinde izdihamin en çok olduğu alanlar, tahliye simülasyonu ile belirlenerek, koridor genişlikleri ve kapı aralık mesafeleri arttırılmalıdır.

Bu çalışmada büro binasındaki acil tahliye durumu için toplamda 6 farklı senaryo düşünülerek Pathfinder [7] simülasyon programı ile tahliye simülasyonları yapılmıştır. Simülasyon süreleri boyunca tespit edilen, insan hareketleri, yığılmaları ve toplan tahliye süreleri simülasyondan elde edilen görseller ve tablolar yardımıyla verilmiştir. Tablo 6’da senaryoların detayları görülmektedir. Tahliye simülasyonu senaryolarında farklı çıkış kapıları seçilmiştir. Bunun nedeni bina içerisinde yangının çıktığı bölgeye göre bazı kapılardan tahliyenin mümkün olamayabileceğinin göz önüne alınmasıdır. Bu sebeple tahliye senaryolarında farklı kapılardan olan tahliye sürelerinin tespit edilmesi önemli olduğu düşünülmüştür. Ayrıca kaosun yaşandığı tahliye durumları, planlı ve düzenli tahliye durumları hatta binada engelli bireylerin bulunduğu ve onlara özel olarak hazırlanan tahliye operasyonu da senaryolara eklenmiştir.

Tablo 6. Farklı tahliye senaryoları

SENARYO	Açıklama
1	Kaotik ortamda sadece bina arka acil çıkış kapısının açık olduğu ve bu ortamda insanlar sürü psikolojisi ile hareket ettikleri durum.
2	Toplu, bilinçli ve düzenli tahliyenin olduğu ve bina tahliye ekiplerinin görev yaptığı durumda sadece bina ön normal çıkış kapısının tahliyede kullanılması.
3	Acil durum ekiplerinin yetersiz kaldığı durumdaki kaos sonucu insanların en yakındaki sağ ön acil çıkış kapısına gittikleri senaryo.
4	Kaotik ortam sonucu oluşan yığılmalardan dolayı ortamdaki insan optik yoğunluğu arttığı ve insanların birbirini ezme riskinin olduğu senaryo.
5	Günümüz dünyasında engelsiz hayatın farkındalığını arttırmak adına simülasyon çalışması yapılarak eksikliklerde göz önüne alınarak yapılan senaryo.
6	Acil durum ekiplerinin tam olarak görev yapması, acil çıkış kapılarının optimum düzeyde kullanıldığı senaryo.

2.1. Simülasyon Çalışmasında Acil Çıkış Yolu Belirleme Kısıtları

Simülasyonda, acil çıkış yollarının kifayetsizliği ve güvenliliği aşağıdaki kısıtlar istikametinde belirlenmektedir:

- İnsanların boşaltım oranı,
- Kaçış sırasında oluşan sıra dizisinin mahalleri ve teşekkül sebepleri,
- Sıralar ve kuyruklardaki insanların kullandığı alanlar,
- Yapılardaki dar geçişler ve boğazların yerleri ve ortaya çıkma sebepleri,
- Sıralar/kuyruklardaki insanların işgal ettiği yerler [8],
- Yangın merdivenlerinin kullanımındaki eksiklik ve hatalar,
- Yüksek sığalı yangın merdiveni gereksinimi ve bu merdivenlere tabiiyet,
- Bekleme ve düzenli olma zamanında güvenlik (Duman optik yoğunluğun yayılımının engellenmesi).

Yığılmaların olduğu yerlerde birbirini engellemeyen, akıcı gidiş geliş yol hareketinin sağlanmasında aşağıdaki mimari tespitlerden faydalanılabilir:

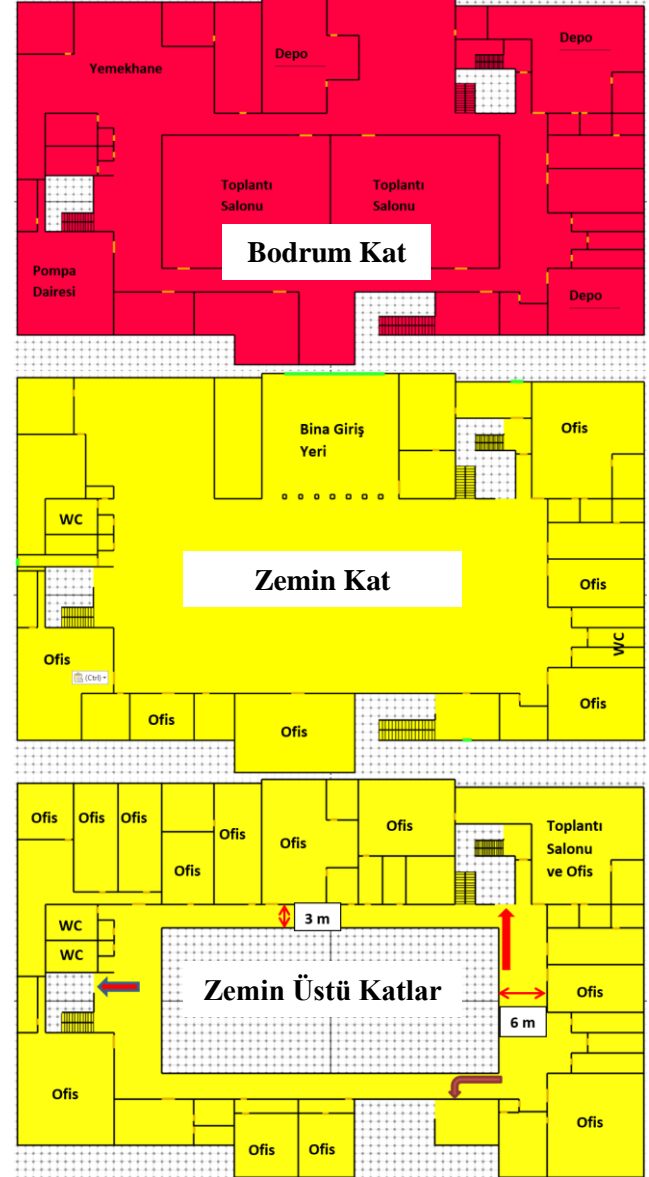
- Kolon, bölme duvar gibi mimari unsurlardan yararlanılarak, yayaların kargaşa oluşturmadan düzenli olarak tahliye çıkış kapılarına ulaşmasını temin etmek,
- Gerçek yönlendirmelerle acil çıkış imkanlarındaki tahliye niceliklerini eşitlemek,
- Kapı aydınlığı, koridorlar, basıncıklar vb. çıkış mahallerinin genişliklerini arttırmak,
- Basıncıklara sahanlık yapılarak kullanıcı davranışındaki duruşların tüm hareketi engellemesini önlemek.

2.2. Simülasyon Parametreleri ve Ofis Binasının Özellikleri

Kullanılan yazılımda insanlar Steering hareket modu [9] [10] ile tahliye davranışı göstermektedirler. Steering modunda insanlar daha düzenli bir şekilde çıkışa doğru ilerlemekte ve kapılar, geçişler ve çıkışlar önünde yığılmadan tahliye olmaktadır. Yapılan simülasyon çalışması ofis ortamında çalışan orta yaşlı yetişkin insan gurubu için tasarlanmıştır. Bu guruptaki insanların ortalama hızlı yürüyüş hızları 1.32 m/sn, ortalama omuz genişliği 47.3 cm ve ortalama adım genişlikleri 45.58 cm olarak tespit edilip modele eklenmiştir. Simülasyon başladığı anda insanlar hareketlerine başlayıp çıkışa doğru ilerlemektedirler, yani insanlara herhangi bir alarm sonrası bekleme süresi tanımlanmamıştır. Her bir simülasyon için, toplam tahliye sürelerinin sağlıklı bir şekilde karşılaştırılması amacıyla, binada toplam 743 adet insan tanımlanmıştır.

Şekil 1'de tahliye simülasyonunun uygulandığı bir ofis binasının detaylı kat planları, koridor genişlikleri ve kaçış yolları verilmiştir. Binada bodrum, zemin ve zemin üstüne 4

adet kat bulunmaktadır ve ortasında atrium boşluğu olacak şekilde tasarlanmıştır. Bodrum katta yemekhane mekanik sistemler, depolar ve toplantı odaları vardır. Zemin katta ofis odaları ve hizmet odaları bulunmaktadır. 1, 2 v 3. katlar genellikle ofis ve toplantı odalarından oluşmakta 4. kat ise üst yönetimin bulunduğu ofisleri barındırmaktadır. Ayrıca binanın uzunluğu 78 m, genişliği 50 m ve yüksekliği ise 20 m'dir.

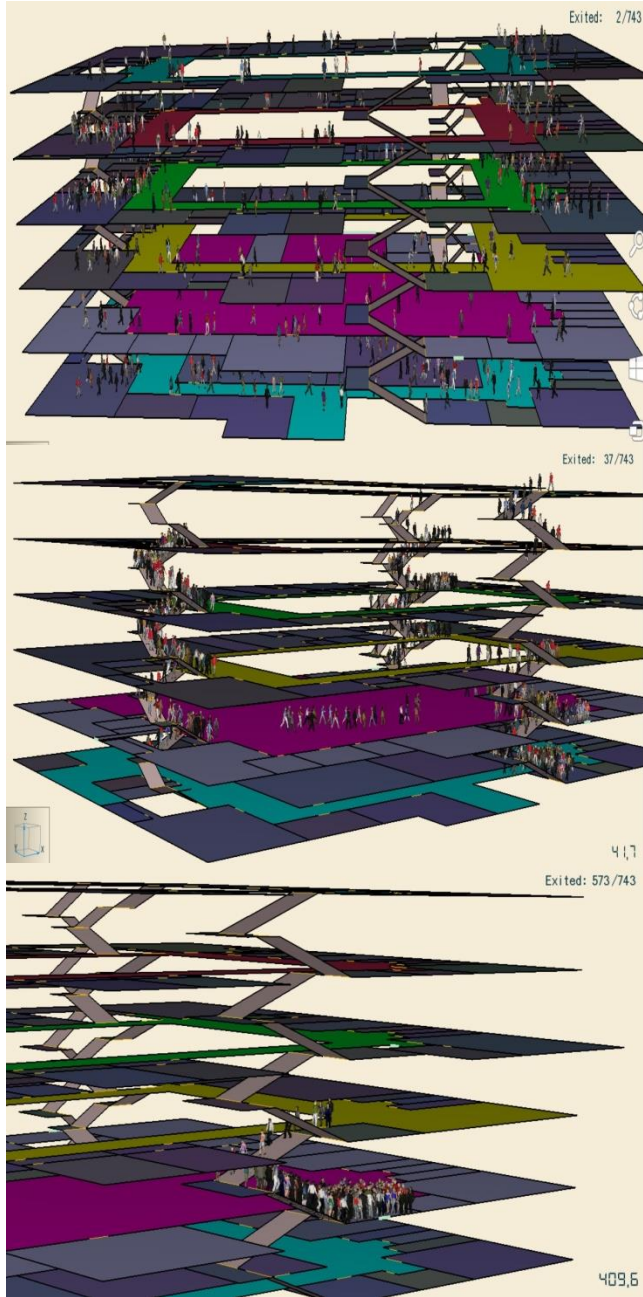


Şekil 1 Tahliye simülasyonu yapılan büro binasının detayları

2.3. Simülasyon Sonuçları

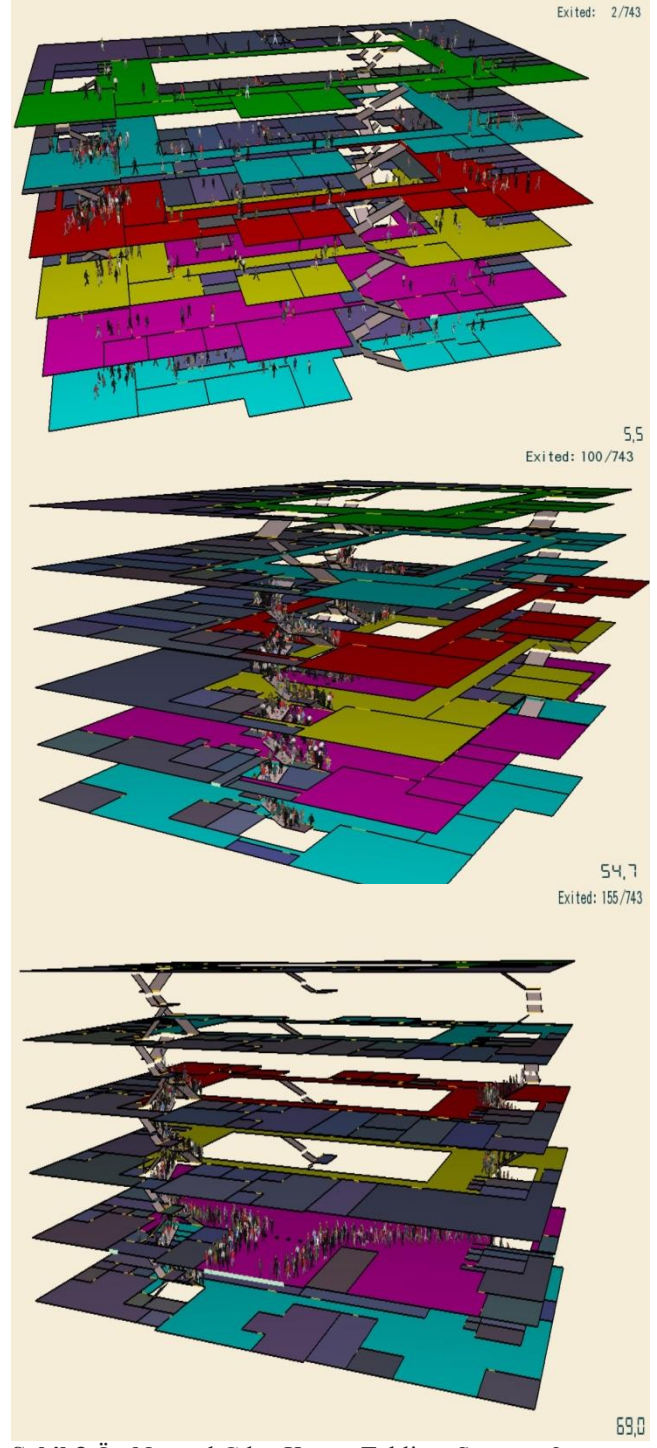
Şekil 2'de senaryo 1'e göre bina içerisinde farklı antropometrik özelliklere sahip kullanıcılar için kaotik ortamın simülasyonu yapıldığı senaryo görülmektedir. Acil çıkışın sadece arka acil çıkış kapısına yönlendirilerek yapıldığı fakat koridorlardaki ve arka acil çıkış kapısında acil durum tahliye ekiplerinin görevini tam olarak yerine getirmemesi sonucu ortaya çıkan kargaşa gözlemlenmiştir. Bu senaryoya göre tahliye süresinin uzun olması sonucu

dumandan etkilenmelerin yoğun olacağı öngörülmektedir. Ayrıca ekiplerin kargaşa ortamında serinkanlı olması gerektiği anlaşılmaktadır ve yüksek kapasiteli yangın basıncığı ihtiyacı gözlemlenmiştir.



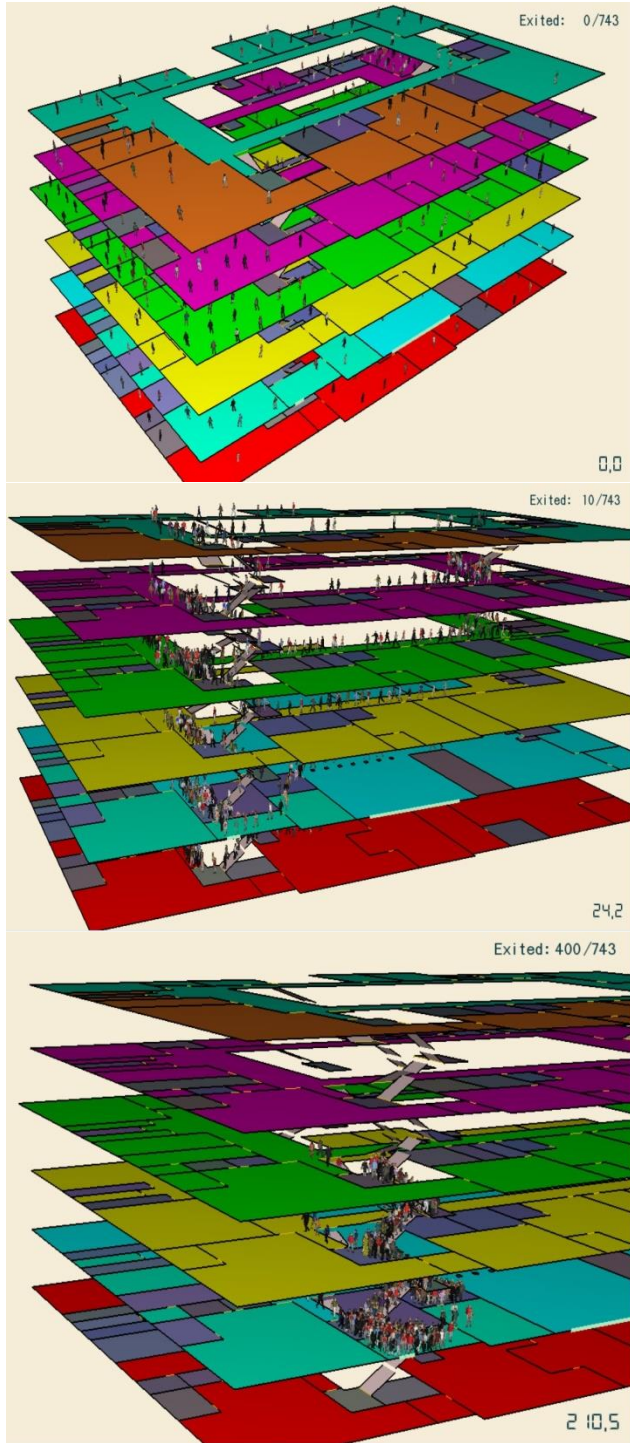
Şekil 2 Arka Acil Çıkıştan Tahliye, Senaryo 1.

Şekil 3 'de senaryo 2'ye göre bina içerisinde çalışanlar haricinde bina daimi kullanıcıları olmayan dışarıdan gelen insanların optik yoğunluğa etkisi sonucunda karmaşa görülmektedir. Tahliye ekiplerinin insanları başarılı bir şekilde yönlendirmesi ve bina içindeki acil çıkış yönlendirme panellerinin de etkisi herkesin Ön Normal Çıkış Kapısına yönlendirilmesi ile oluşan durum irdelenmiştir. Kapının genişliği sayesinde tahliye süresi olumlu yönde etkilenmiştir.



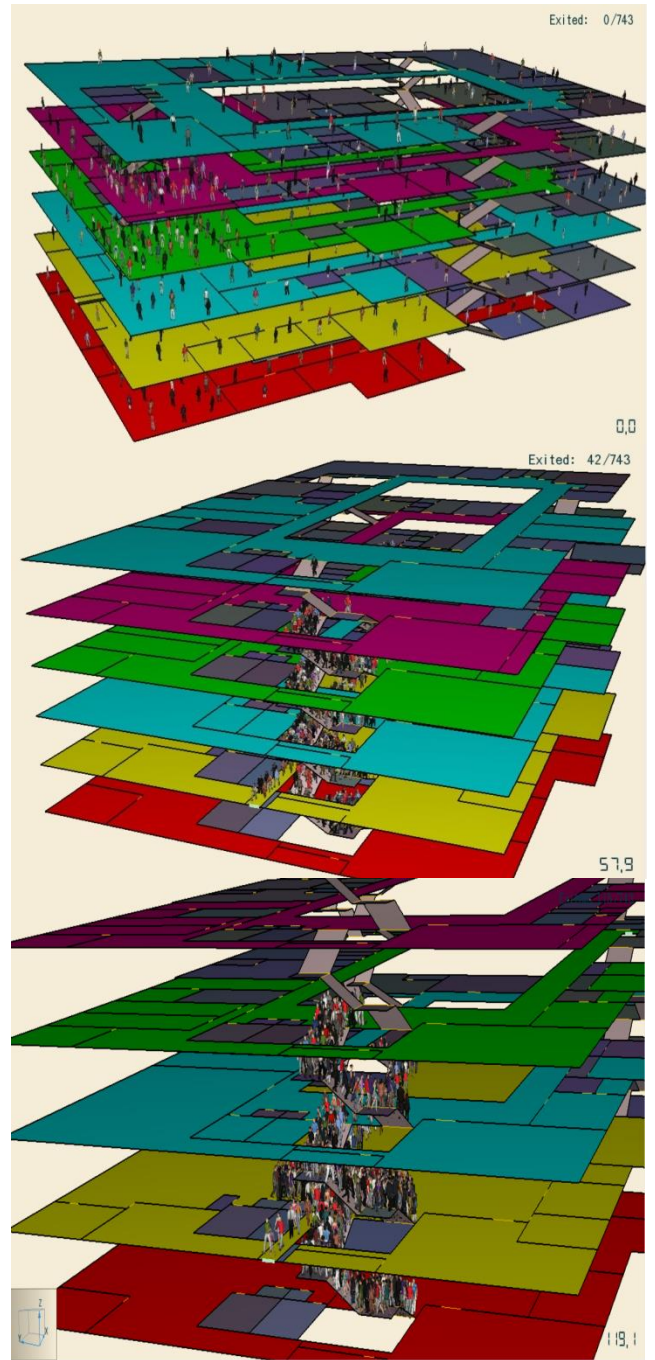
Şekil 3 Ön Normal Çıkış Kapısı Tahliye, Senaryo 2

Şekil 4'de senaryo 3'e göre kaos ortamında kullanıcıların psikolojisi, davranış biçimleri, toksisite, optik yoğunluk ve tahliye ekiplerinin yetersiz kalması gibi durumlar göz önüne alınarak simülasyonda insanları en yakındaki Sağ Ön Acil Çıkış Kapısına doğru yönelmeleri sağlanmıştır. Neticede sıkışıklık, yığılmalar ve dumana maruz kalmalar sonucu kullanıcıların hareketlerinde yavaşlamalar gözlemlenmiş, tahliye süresi 6 dakika 21 saniye ile optimum sürenin üzerinde çıkmıştır.



Şekil 4 Sağ Ön Acil Çıkış Kapısı Tahliye, Senaryo 3

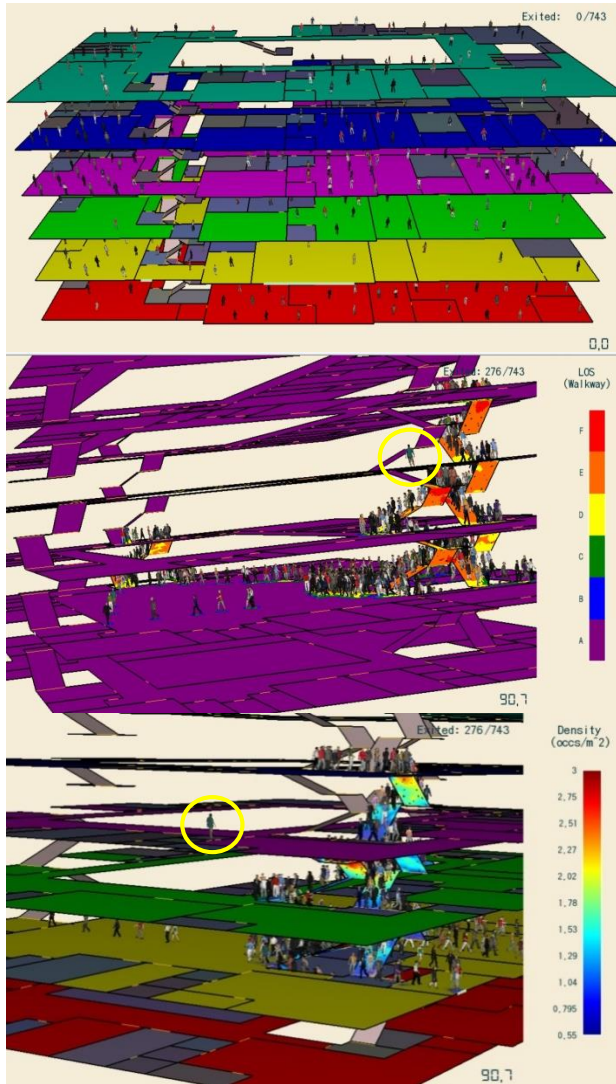
Şekil 5’de senaryo 4’e göre Sol Yan Acil Çıkış Kapısı Tahliyesinde kullanıcıların davranış seçimleri, duman içindeki görünebilirlik, kullanıcıların antropometrik özellikleri ve yığılmalar sonucu insanların birbirini sıkıştırdıkları tahliye süresini uzattıkları, bu da ortamdaki optik yoğunluğun insanların sağlığına zarar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca simülasyon, yangın tehdidi altında bulunana kişilerin tepkilerini ve davranışlarını etkileyen faktörlerin tutarlı bir şekilde anlaşılmasını, güvenilir metodolojilerin uygulanmasına olanak sağlayabilmektedir.



Şekil 5 Sol Yan Acil Çıkış Kapısı Tahliye, Senaryo 4.

Şekil 6’de senaryo 5’e göre günümüzde tahliyeler tasarlanırken daha fazla dikkat edilmeye başlanan dünyasında ENGELSİZ hayatın farkındalığı arttırmak adına ve dezavantajlı insanların hayatlarını kolaylaştırmak için bir simülasyon çalışması yapılmış ve eksiklikler gözlemlenerek tahliye engelsiz hayat durumu irdelenmiştir. Bu simülasyona göre sarı daire içine alınan dezavantaja sahip bir kişi bulunduğu kattaki yangına ve duman sızıntısına dayanıklı bir odaya giderek beklemektedir. Binadaki normal tahliye sona erince eğitilmiş ve yetkili bir ekip bu odaya giderek bu kişiyi binadan çıkartmaktadır. Bu

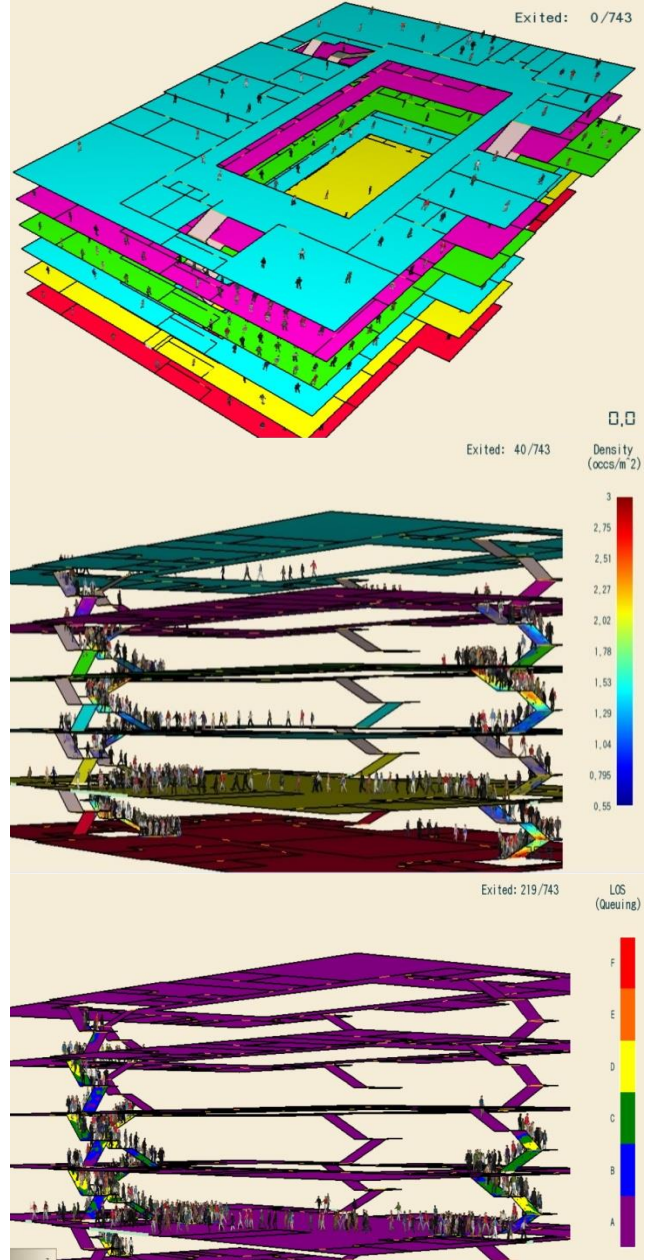
durumda toplam tahliye süresi 10 dakika 50 saniye olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6 Engelsiz Hayat Tahliye Simülasyonu, Senaryo 5.

Şekil 7’de senaryo 6’ya göre yapılan örnekte, BYKHY-2015 Madde 126 da belirtilen eğitilmiş tahliye ekiplerinin 4 farklı acil çıkış kapısına optimum yoğunluğu sağlayacak şekilde yönlendirmesi ile yoğunluk oluşumunu ve kaosu önledikleri görülmektedir. Neticede düzenli tahliye ile 3 dakikanın altında tahliye gerçekleştiği görülmüştür.

Tablo 7’de tüm senaryolar sonucunda ortaya çıkan toplam tahliye süreleri verilmiştir. Buna göre senaryo 4’te sadece tek bir acil çıkış kapısı tahliyesinde toplam süre 11 dakika 35 saniye iken, senaryo 6 de tüm acil çıkış kapılarının efektif kullanımı sonucu toplam süre 2 dakika 53 saniye gibi oldukça düşük bir süreye indirilebilmiştir. Engelsiz hayat senaryosunda süre fazla gözükse se süreyi arttıran nedenin engelli kişiyi bulunduğu güvenli odadan almak için yapılan operasyon olduğu belirtilmelidir.



Şekil 7 Tüm Çıkış Kapıları Tahliye, Senaryo 6.

Tablo 7. Senaryoların Tahliye Süreleri

SENARYO	Tahliye Süresi	ÇIKIŞ YERİ KAPISI
1	8 DK. 48 SN	ARKA ACİL ÇIKIŞ KAPISI
2	3 DK. 13 SN	ÖN GENİŞ ÇIKIŞ KAPISI
3	6 DK. 21 SN	ÖN ACİL ÇIKIŞ KAPISI
4	11 DK.35 SN	SOL YAN ÇIKIŞ KAPISI
5	10 DK.50 SN	ENGELSİZ HAYAT
6	2 DK. 53 SN	TÜM ÇIKIŞLAR

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada bir büro binası mimari tasarımı dikkate alınarak acil durum anında tahliyenin ne şekilde yapılacağını idrak etmek, kaçış yollarında kaçışa mani herhangi bir faktör

olup olmadığını denetlemek, kaçış yollarında iyileştirme tedbirlerinin gerekip gerekmediğine karar vermek için 6 adet farklı senaryo ile tahliye simülasyonları yapılmıştır. Simülasyonu yapılan senaryolardan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde değerlendirilmiştir.

- Tüm senaryo çalışmaları içerisinde tüm kapılardan tahliyenin gerçekleştiği 6. senaryoda kullanıcılar binayı en kısa sürede terk etmişlerdir. Fakat her hangi bir yangın anında kullanıcıların tüm kapılara ulaşabilmeleri mümkün olmayabileceği de dikkate alınmalıdır.
- Yangın anında kullanıcıların sadece bir acil çıkış kapısını kullandığı düşünülerek yapılan simülasyonlarda ön acil çıkış kapısından yapılacak tahliyenin diğerlerine göre daha kısa sürede gerçekleşeceği anlaşılmıştır.
- Binada en uzun tahliye arka acil çıkış kapısının kullanıldığı ve tahliyenin yaklaşık olarak 9 dakika sürdüğü senaryodur. Bu süre, yangın anındaki tahliyede kullanıcıların herhangi bir zarar görmeden binayı terk etmeleri için oldukça uzundur.
- Binada dezavantajlı bir bireyin olduğu varsayılarak yapılan senaryoda toplam tahliye süresi yaklaşık 11 dakika sürmüştür. Bu senaryoda dezavantajlı birey güvenli bir odada itfaiye personelini beklemiş ve daha sonra onunla birlikte binayı terk etmiştir. Bu tip binalarda engellilerin güvenli bir şekilde bekleyebileceği odaların hazırlanmasının önemi göz önüne alınmalıdır.

TEŞEKKÜR


Bu çalışma Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2017-01-06-026 nolu proje kapsamında yapılmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] L. Tan, M. Hu, and H. Lin, "Agent-based simulation of building evacuation: Combining human behavior with predictable spatial accessibility in a fire emergency," *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 295, no. C, pp. 53–66, Feb. 2015.
- [2] N. Wagner and V. Agrawal, "An agent-based simulation system for concert venue crowd evacuation modeling in the presence of a fire disaster," *Expert Syst. Appl.*, vol. 41, no. 6, pp. 2807–2815, May 2014.
- [3] "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik -(09/07/2015)-29411."
- [4] J. Joo et al., "Agent-based simulation of affordance-based human behaviors in emergency evacuation," *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 32, pp. 99–115, Mar. 2013.
- [5] R. AKSOY, G. COSKUN, and H. S. Soyhan, "Developing emergency escape scenarios by using fire simulation softwares," in 6 th International Conference on Renewable Fuels Combustion and Fire, 2017.
- [6] X. Zheng, T. Zhong, and M. Liu, "Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches," *Build. Environ.*, vol. 44, no. 3, pp. 437–445, Mar. 2009.
- [7] "Pathfinder." Thunderhead Engineering Consultants, Inc., 2018.
- [8] D. J. O et al., "SFPE Task Group on Human Behavior in Fire CHAIR."
- [9] C. W. Reynolds, "Steering Behaviors For Autonomous Characters."
- [10] H. Ben Amor, J. Murray, and O. Obst, "Fast, Neat and Under Control: Inverse Steering Behaviors for Physical Autonomous Agents."

The Effect of Own Weight on Dynamic Analysis of a Pre-Stretched Composite Plate-Strip Containing Twin Circular Inclusions Under Bending Using Finite Element Method

*Ulku Babuscu Yesil

Yildiz Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Mathematical Engineering, 34210, Istanbul, Turkey, ubabuscu@yildiz.edu.tr, 

Research Paper

Arrival Date: 27.11.2018

Accepted Date: 07.05.2019

Abstract

This manuscript describes how the weight of a simply supported composite plate-strip (containing twin circular inclusions) affects its dynamic behaviors when exposed to bending load as analyzed via the finite element method (FEM). The centers of the twin circular inclusions are on a line parallel to the free surface, and the materials of both inclusions are the same. First, the effects of body forces (the plate-strip's own weight) and surface forces (pre-stretching load) on the plate-strip (both are considered to be initial stresses) are identified using the classical linear theory of elasticity. Next, the consequences of these stressors (identified in the first step) under additional time harmonic bending load on the forced vibration around the inclusions are determined using the three-dimensional linearized theory of elasticity (TDLTE) under the plane-strain state. The data herein suggest that the plate-strip's weight can significantly effect dynamic characteristics of the considered plate-strip.

Keywords: initial stress, own weight, circular inclusions, forced vibration, fundamental frequency

1. INTRODUCTION

The presence of inhomogeneities or defects (e.g., inclusions and holes) in structures affects their mechanical and physical properties, resulting in unwanted strain or stress. It is very important, however, that these strains and stresses remain within defined limits for the structure's security. Several studies have been conducted on the stresses and strains caused by inclusions (Mura [1], Mura et al. [2] and Zhou et al. [3]). Hufenbach and Zhou [4] developed a solution method for the anisotropic elastic host; this was obtained via engineering mechanics with the boundary collocation technique. In this solution method, all of the stresses and displacements were calculated under the assumption that corresponding displacements and stresses of the constituents of the plate are equal on the contact surfaces, linear elasticity, and a plane strain state. Huang [5] utilized the Mori-Tanaka mean-field method to determine the effect of fiber aspect ratio on the effective elastic modulus of composites.

Detailed studies have reported the effect of initial stretching on a plate with twin inclusions on forced vibration analysis in Babuscu Yesil [6] and Akbarov [7]. However, these previous studies did not take into account the object's weight, and therefore, all structures (both heavy and light) were considered equal. However, in order to have a safe structure, the structure's weight must be taken into account. Some studies have identified the structure's weight as the 'dead

load.' Dead loads are modelled as loads that are unchanging, and are thought to play a key role in structural collapse [8-11]. Therefore, researchers must take into account the influence of dead loads in order to obtain better results and more stable structures. Previous studies [8-11] that performed dynamic analyses on plates and beams with an approximate closed-form solution of the structures took the influence of dead loads into account. The effect of the weight of a pre-stretched plate-strip containing a circle-shaped hole on static analysis were studied in Babuscu Yesil [12]. Other studies analyzed the effect of dead load on the dynamic behaviors of beams Zhou and Zhu [13] and plates Zhou [14] using the concept of load-induced stiffness matrix via the finite-element method.

The current study describes the effect of its own weight on a plate-strip containing twin circle shaped inclusions on dynamic analyses under uniformly distributed time harmonic bending forces. The plate-strip includes twin circular inclusions whose centers are on a line parallel to the free surface and made from the same materials. The harmonic bending forces were applied to the top of the pre-stretched plate-strip. The problem is modelled via TDLTE in the plane-strain state, and the problem is numerically solved via the FEM. Based on a literature search, this is the first attempt to introduce the effect of own weight of a structure containing inclusions on dynamic analysis.

*¹Corresponding Author: Yildiz Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Mathematical Engineering, Istanbul, Turkey, ubabuscu@yildiz.edu.tr, (+90) 212 383 4606

2. PROBLEM FORMULATION AND COMPUTATIONAL TECHNIQUE

Considering that the plate-strip’s own weight (intensity f) and uniaxial stretching forces (intensity q) act together, there were two forces being applied to the plate-strip in the reference (initial) state. The effect between the stretching force and the body force on the distribution of stresses, strains, and displacements of the plate-strip were determined with the classical linear theory of elasticity using the superposition principle.

The effect of the simply supported plate-strip’s own weight on the dynamic characteristics at its ends (i.e., $x_1 = 0$ and $x_1 = L$) was analyzed by the finite element method. Uniformly distributed normal stretching forces of intensity q act on the plate-strip’s ends, and body forces of intensity f act on the plate-strip in its initial state. Moreover, there is no force applied on the plate-strip inside the inclusions, and additional uniformly distributed dynamic (time harmonic) normal forces of amplitude p ($\ll q$ and $\ll f$) work on the top of the plate-strip (Fig. 1). The radius of the inclusions is denoted as ‘R,’ the width of the plate-strip as ‘L,’ and the height of the plate-strip as ‘H’.

The problem can be solved in two parts as follows: 1) the initial (reference) part, and 2) the perturbed part. In the initial part, the plate-strip’s displacement and stress distributions are analyzed using the effect between the uniformly distributed uniaxial stretching force and body force. These are initial values, and the quantities of the reference part will be denoted by the superscript (0). During the second (perturbed) part, the results of the first part will be considered, and then displacement and stress distributions will be determined for the pre-stressed plate-strip using uniformly distributed dynamic bending forces.

Fig. 1 reveals a sketch of the plate-strip containing twin circular inclusions and associate with this plate-strip the Cartesian coordinate system Ox_1x_2 ; the Ox_3 axis is directed normally along the Ox_1x_2 plane.

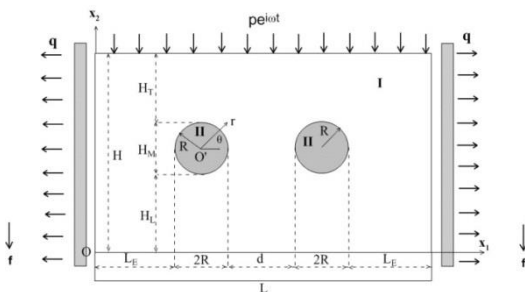


Fig. 1. Plate-strip containing twin circular inclusions. The mathematical formulations of the considered boundary value problems for both parts are given below:

For initial (Reference) Part:

$$\frac{\partial \sigma_{ij}^{(0),k}}{\partial x_j} + f_i = 0, f_i = \rho g \delta_2^i \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{11}^{(0),k} &= (\lambda_k + 2\mu_k)\epsilon_{11}^{(0),k} + \lambda_k \epsilon_{22}^{(0),k} \\ \sigma_{22}^{(0),k} &= \lambda_k \epsilon_{11}^{(0),k} + (\lambda_k + 2\mu_k)\epsilon_{22}^{(0),k} \\ \sigma_{12}^{(0),k} &= 2\mu_k \epsilon_{12}^{(0),k} \end{aligned} \tag{2}$$

$$\epsilon_{ij}^{(0),k} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i^{(0),k}}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j^{(0),k}}{\partial x_i} \right) \tag{3}$$

$$\begin{aligned} u_2^{(0),1} \Big|_{x_1=0;L} &= 0 \\ &_{x_2 \in [0,H]} \\ \sigma_{11}^{(0),1} \Big|_{x_1=0;L} &= q \delta_1^i \\ &_{x_2 \in [0,H]} \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{12}^{(0),1} \Big|_{x_1=0;L} &= 0 \\ &_{x_2 \in [0,H]} \\ \sigma_{i2}^{(0),1} \Big|_{x_2=0;H} &= 0 \\ &_{x_1 \in [0,L]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_i^{(0),1} \Big|_{I_L} &= u_i^{(0),2} \Big|_{I_L} \\ u_i^{(0),1} \Big|_{I_R} &= u_i^{(0),2} \Big|_{I_R} \\ \sigma_{ji}^{(0),1} n_j \Big|_{I_L} &= \sigma_{ji}^{(0),2} n_j \Big|_{I_L} = 0 \\ \sigma_{ji}^{(0),1} n_j \Big|_{I_R} &= \sigma_{ji}^{(0),2} n_j \Big|_{I_R} = 0 \end{aligned} \tag{5}$$

For Perturbed Part:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\sigma_{ji}^k + \sigma_{in}^{(0),k} \frac{\partial u_i^k}{\partial x_n} \right) = \rho \frac{\partial^2 u_i^k}{\partial t^2} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{11}^k &= (\lambda_k + 2\mu_k)\epsilon_{11}^k + \lambda_k \epsilon_{22}^k, \\ \sigma_{22}^k &= \lambda_k \epsilon_{11}^k + (\lambda_k + 2\mu_k)\epsilon_{22}^k, \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{12}^k &= 2\mu_k \epsilon_{12}^k \\ \epsilon_{ij}^k &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i^k}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j^k}{\partial x_i} \right) \end{aligned} \tag{8}$$

$$u_2^1 \Big|_{x_1=0;L} = 0 \tag{9}$$

$$\left(\sigma_{j1}^1 + \sigma_{in}^{(0),1} \frac{\partial u_i^1}{\partial x_n} \right) n_j \Big|_{x_1=0;L} = 0 \tag{9}$$

$$\left(\sigma_{j1}^1 + \sigma_{in}^{(0),1} \frac{\partial u_i^1}{\partial x_n} \right) n_j \Big|_{x_2=H} = p e^{i\omega t} \delta_2^j \tag{9}$$

$$\left(\sigma_{j1}^1 + \sigma_{in}^{(0),1} \frac{\partial u_i^1}{\partial x_n} \right) n_j \Big|_{x_2=0} = 0 \tag{9}$$

$$u_i^1 \Big|_{I_L} = u_i^2 \Big|_{I_L}$$

$$u_i^1 \Big|_{I_R} = u_i^2 \Big|_{I_R}$$

$$\left(\sigma_{j1}^1 + \sigma_{in}^{(0),1} \frac{\partial u_i^1}{\partial x_n} \right) n_j \Big|_{I_L} = \left(\sigma_{j1}^2 + \sigma_{in}^{(0),2} \frac{\partial u_i^2}{\partial x_n} \right) n_j \Big|_{I_L} = 0 \tag{10}$$

$$\left(\sigma_{j1}^1 + \sigma_{in}^{(0),1} \frac{\partial u_i^1}{\partial x_n} \right) n_j \Big|_{I_R} = \left(\sigma_{j1}^2 + \sigma_{in}^{(0),2} \frac{\partial u_i^2}{\partial x_n} \right) n_j \Big|_{I_R} = 0$$

All of the recurring indices (i,j,k=1,2) are added up throughout their ranges utilizing the following code: σ_{ij} - stress, ϵ_{ij} - strain and u_i - displacement tensors. $k=1$ ($k=2$)

denotes the related values of the matrix's (inclusions') materials, f_i - refers to the constituent of the density of the body force, ρ refers to the mass density of the material in the plate-strip, g refers to the gravitational acceleration and δ_{ij} - refers to the Kronecker symbol. $I_L(I_R)$ - denotes the contour of the left (right) inclusion determined by Eq. (11), the Lamé constants are denoted by λ_k and μ_k , t indicates time, and n_j refers to the constituents of the unit normal vector that is applied to the outline of the inclusions.

$$I_L = \{x_1, x_2 | (x_1 - (L_E + R))^2 + (x_2 - (H_L + R))^2 = R^2\}$$

$$I_R = \{x_1, x_2 | (x_1 - (L - (L_E + R)))^2 + (x_2 - (H_L + R))^2 = R^2\} \quad (11)$$

In the forced vibration problem, inhomogeneous part of the boundary condition at $x_2 = H$ is $pe^{i\omega t}$ and here p is constant. The perturbed part solution is formulated by Eqs. (6)-(10), and the solutions are determined by the following:

$$\{\sigma_{ij}, \epsilon_{ij}, u_i\} = \{\bar{\sigma}_{ij}, \bar{\epsilon}_{ij}, \bar{u}_i\} \exp(i\omega t) \quad (12)$$

where $\bar{\sigma}_{ij}$, $\bar{\epsilon}_{ij}$ and \bar{u}_i indicate amplitudes. Eq. (12) can be applied to the motion Eq. (6), and after some manipulations, the equation below was developed in order to relate amplitudes:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\bar{\sigma}_{ji}^k + \sigma_{in}^{(0),k} \frac{\partial \bar{u}_i^k}{\partial x_n} \right) + \rho \omega^2 \bar{u}_i^k = 0 \quad (13)$$

Eqs. (7)-(8) as well as the boundary and contact conditions (with the exception of $x_2 = H$) are similarly fulfilled for the matching amplitudes. However, the $x_2 = H$ conditions need to be replaced as shown below:

$$\left(\bar{\sigma}_{ji}^1 + \sigma_{in}^{(0),1} \frac{\partial \bar{u}_i^1}{\partial x_n} \right) n_j \Big|_{\substack{x_2=H \\ x_1 \in [0,L]}} = p \delta_2^j \quad (14)$$

Lastly, the perturbed part of the boundary value problem is represented with the Eqs. (13), (7-10), and (14).

3. PROCESS OF ARRIVING AT A SOLUTION

The numerical solution to the above problems will be determined using the FEM method. For this purpose, according to Akbarov (2013), Guz (1999) and (2004), the following functional will be used;

For the initial part of the boundary value problem:

$$\Pi^{(0)} = \frac{1}{2} \iint_{V'} \sigma_{ij}^{(0),1} \epsilon_{ij}^{(0),1} dx_1 dx_2 +$$

$$\frac{1}{2} \iint_{V_L} \sigma_{ij}^{(0),2} \epsilon_{ij}^{(0),2} dx_1 dx_2 + \frac{1}{2} \iint_{V_R} \sigma_{ij}^{(0),2} \epsilon_{ij}^{(0),2} dx_1 dx_2 - \quad (15)$$

$$\iint_V u_2^T dx_1 dx_2 - \int_0^H q u_1^{(0),1} \Big|_{x_1=0} dx_2 + \int_0^H q u_1^{(0),1} \Big|_{x_1=L} dx_2$$

and for the perturbed part of the boundary value problem:

$$\Pi = \frac{1}{2} \iint_{V'} \left(T_{ij}^1 \frac{\partial \bar{u}_j^1}{\partial x_i} + \rho \omega^2 \bar{u}_i^1 \bar{u}_j^1 \right) dx_1 dx_2 +$$

$$\frac{1}{2} \iint_{V_L} \left(T_{ij}^2 \frac{\partial \bar{u}_j^2}{\partial x_i} + \rho \omega^2 \bar{u}_i^2 \bar{u}_j^2 \right) dx_1 dx_2 +$$

$$\frac{1}{2} \iint_{V_R} \left(T_{ij}^2 \frac{\partial \bar{u}_j^2}{\partial x_i} + \rho \omega^2 \bar{u}_i^2 \bar{u}_j^2 \right) dx_1 dx_2 - \quad (16)$$

$$\int_0^L p \bar{u}_2^1 \Big|_{x_2=H} dx_1$$

where

$$T_{ij}^k = \bar{\sigma}_{ij}^k + \sigma_{in}^{(0),k} \frac{\partial \bar{u}_i^k}{\partial x_n}, \quad n; k; i; j = 1, 2 \quad (17)$$

and V', V_L and V_R show the domains of solutions specified by Eqs.18

$$V' = V / (V_L \cup V_R)$$

$$V = V' \cup V_L \cup V_R = \{0 \leq x_1 \leq L, 0 \leq x_2 \leq H, -\infty \leq x_3 \leq \infty\}$$

$$V_L = \{x_1, x_2 | (x_1 - (L_E + R))^2 + (x_2 - (H_L + R))^2 \leq R^2\}$$

$$V_R = \{x_1, x_2 | (x_1 - (L - (L_E + R)))^2 + (x_2 - (H_L + R))^2 \leq R^2\} \quad (18)$$

In Eq. (17), $\sigma_{ij}^{(0)}$ is defined as the constituents of the initial stresses that were calculated from the boundary value problem of the initial part. Modeling via FEM for the initial part (perturbed part) of the boundary value problem is performed using the following equation:

Plate-strip's geometry and boundary conditions with respect to the planes $x_1 = L/2$, only the subdomain $V = \{0 \leq x_1 \leq L/2, 0 \leq x_2 \leq H\}$ which has been divided into a finite number of elements is taken into consideration, i.e., domain V is presented as $V = \bigcup_{n=1}^M V_n$ and V_n represents the area of the n^{th} finite element and selected as curved triangular finite elements with 6 nodes (including the surrounding area of the inclusions and the inclusions domains) and biquadratic quadrilateral Lagrangian elements with 9 nodes (the domain not included with the triangular elements) (Figs. 2a and 2b) [6], [18].

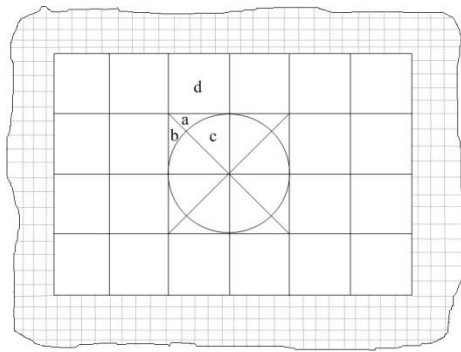


Fig. 2. (a) Finite Element Mesh

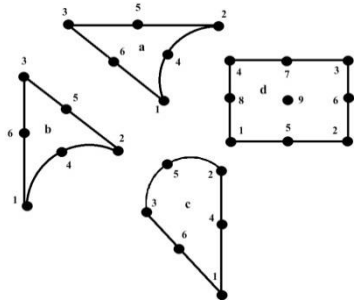


Fig. 2. (b) The configuration of various rectangular and triangular defined nodal elements.

The displacement-based formulation is used for the FEM modeling. The displacements in the defined elements' selected nodes are determined by employing the standard Ritz technique, which has been detailed in many references [17]. n^{th} FE displacement functions were chosen as follows:

For the initial part:

$$\mathbf{u}^{(0),k,n} \approx \mathbf{N}^{k,n} \mathbf{a}^{(0),k,n} \tag{19}$$

For the perturbed part:

$$\mathbf{u}^{k,n} \approx \mathbf{N}^{k,n} \mathbf{a}^{k,n} \tag{20}$$

In Eqs. (19) and (20),

$$(\mathbf{a}^{(0),k,n})^T = \{u_{11}^{(0),k,n}, u_{21}^{(0),k,n}, \dots, u_{1s}^{(0),k,n}, u_{2s}^{(0),k,n}\} \tag{21}$$

$$(\mathbf{a}^{k,n})^T = \{u_{11}^{k,n}, u_{21}^{k,n}, \dots, u_{1s}^{k,n}, u_{2s}^{k,n}\} \tag{22}$$

$$\mathbf{N}^{k,n} = \begin{cases} N_1^{k,n} & 0 & \dots & N_s^{k,n} & 0 \\ 0 & N_1^{k,n} & \dots & 0 & N_s^{k,n} \end{cases} \quad n = 1, 2, \dots, M, \tag{23}$$

$k = 1, 2$

In Eqs. (21)-(23), the subscript s is taken 6 (9) for a triangular (rectangular) finite element; the superscript 'n' indicates defined elements V_n ; while $\mathbf{N}^{k,n}$ are the shape functions defined at the nodes as biquadratic polynomial Lagrange shape functions for a quadrilateral defined element and second order polynomials for a triangular finite element whose unknown coefficients were determined using the following equation [17]:

$$N_i(x_{1j}, x_{2j}) = \delta_{ij} \tag{24}$$

Substituting Eqs. (19) and (20) in the functionals (15) and (16) respectively, gives an algebraic equation system as given below:

For initial part,

$$\mathbf{K}^{(0)} \mathbf{a}^{(0)} = \mathbf{r}^{(0)} \tag{25}$$

For perturbed part,

$$([\mathbf{K}] - \omega^2 [\mathbf{M}]) \mathbf{a} = \mathbf{r} \tag{26}$$

\mathbf{K} and $\mathbf{K}^{(0)}$ indicate the matrices of stiffness, \mathbf{M} indicates the mass matrix, \mathbf{a} and $\mathbf{a}^{(0)}$ indicate unknown nodal displacements, and \mathbf{r} and $\mathbf{r}^{(0)}$ indicate the force vectors. The algebraic equations given in Eqs. (25) and (26) are solved to determine the displacement values at each node. Solving the equation for the perturbed part requires the distribution values of the stresses from the initial part, because Eq. (26) includes the initial part's stress values. They are obtained by solving Eq. (25) and then by using Hooke's Law.

Eq. (25) allows the determination of the displacement values at the nodes of the plate that subjected a static initial forces. Eq. (26) allows for the determination of the amplitudes of the displacement values at the nodes of the plate that was subjected to forced vibration; these values result from time-harmonic forces that act on the top of the plate-strip. On the other hand, the fundamental frequencies can be calculated from the following equation:

$$\det[\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}] = 0 \tag{27}$$

For this study, it is important to note that the study's author composed all of the computer programs used for the numerical calculations (using package FTN77). For both of the boundary value problems, the arrangements and meshing of finite elements are similar. To calculate the values for the definite integrals, the Gauss Quadrature method was employed, and included 10 sample points. For ease, and so that the numerical values around the circular inclusions could be better understood, the cylindrical coordinate system ($Or\theta x_3$) was used to determine the stress values [12].

4. NUMERICAL RESULTS

All of the numerical calculations in this study consider the fact that the plate-strip is composed of two isotropic materials (i.e., those making up the inclusions and the

matrix). The ideal contact conditions on the boundaries of these materials were satisfied. Lower index 1 refers to the matrix materials, while lower index 2 refers to the inclusion materials.

The number of finite elements from the numerical results' convergence conditions was determined. To test the mesh sensitivity, Tables 1-2 were used. The parameters N_1 and N_2 indicate the number of quadrilateral finite elements along axes Ox_1 and Ox_2 , respectively.

Tables 1-2 show the first fundamental frequencies (i.e., $\omega_{cr,1}^2$) for several N_1 and N_2 , respectively, under the following

Table 1. Fundamental frequencies ($\omega_{cr,1}^2$) calculated with various values of N_1 for $N_2 = 12$.

N_1	40	50	60	70	80	85	90	100
$\omega_{cr,1}^2$	0.0333	0.0337	0.0339	0.0339	0.0340	0.0340	0.0340	0.0340

Table 2. Fundamental frequencies ($\omega_{cr,1}^2$) calculated with various values of N_2 for $N_1=80$.

N_2	6	8	10	12	14	16
$\omega_{cr,1}^2$	0.0337	0.0338	0.0339	0.0340	0.0340	0.0340

To verify the validation of the current results, the plate-strip with two inclusions can be considered as a whole plate-strip by taking the elastic constants $E_2/E_1 = 1$. The results for the stresses on the upper face of the plate-strip for 4 separate states were compared.

State 1: The plate-strip undergoes only its own weight (density f),

State 2: The plate-strip undergoes an uniformly distributed dynamic bending load (intensity correlates with the plate-strip's own weight) that is applied on the top of the plate-strip,

State 3: The modified case of State 2

The modified case is obtained by taking $p = \rho gh$ in State 2 (Timoshenko and Goodier (1970)) and adding the stresses $\sigma_{11} = 0, \sigma_{22} = \rho gy, \tau_{12} = 0$.

State 4: Analytical solution for a plate-strip without any defects [19].

FEM was used to calculate the solutions of the first three states.

The graphs in Figs. 3 and 4 show σ_{11}/p and σ_{22}/p on the top of the plate-strip for all four states. These graphs indicate that the four solutions converge in the appropriate cases, and the results of the present work are consistent with those of the analytical solution [19].

conditions: $R/L = 0.00625, f = 0.04, E_2/E_1 = 1, q/E_1 = 0$ and $H/L = 0.075$. Tables 1-2 reveal that the first fundamental frequencies increase with increasing values of parameters N_1 and N_2 ; however, it should be noted that these values only increase until they reach a certain limit. The results indicate that the mesh sensitivity used to determine the numerical solution is reliable. For the current model, the numerical results utilized 956 rectangular finite elements, with $N_1 = 80$ and $N_2 = 12$. FEM modeling was used, and the numerical results utilized 956 quadrilateral finite elements, 16 curvilinear triangular finite elements, 4041 nodes and 8032 number degrees of freedom NDOFs (Fig. 2).

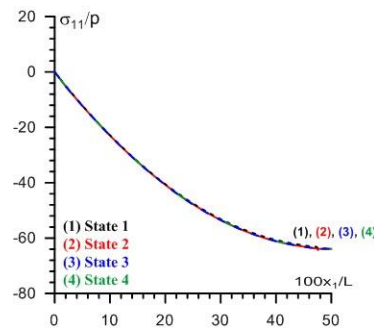


Fig. 3. Comparing σ_{11}/p at $x_2 = H$ obtained for all four states for the whole plate-strip.

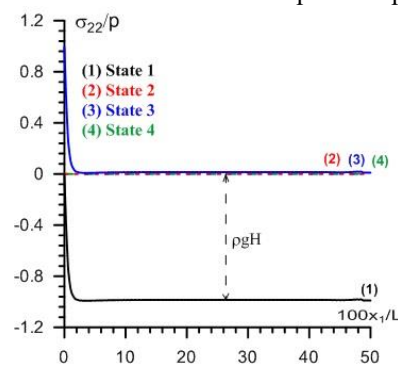


Fig. 4. Comparing σ_{22}/p at $x_2 = H$ obtained for all four states for the whole plate-strip.

Table 3 shows the first fundamental frequencies of a plate-strip that does not have inclusions for several f and q/E_1 . As f decreases, the fundamental frequencies increase significantly. The first fundamental frequencies are close to the asymptotic values obtained for the plate-strip with neglected own weight. This approximation indicates that the programs and algorithms proposed by the author of the

current study are valid.

Table 3. The values of fundamental frequencies ($\omega_{cr,1}^2$) for several values of f and q/E_1 under $E_2/E_1 = 1$.

f	q/E ₁					
	-0.003	-0.001	0	0.001	0.003	0.005
0.04	0.0116	0.0265	0.0340	0.0415	0.0564	0.0714
0.03	0.0128	0.0277	0.0352	0.0427	0.0576	0.0726
0.02	0.0136	0.0286	0.0361	0.0436	0.0585	0.0735
0.01	0.0142	0.0291	0.0366	0.0441	0.0590	0.0740
0	0.0144	0.0293	0.0368	0.0443	0.0592	0.0742
[6]	-	-	0.0368	0.0443	0.0592	0.0742

Table 4 indicates $|q_{cr}|/E_1$ at several f and $\bar{\omega}^2$ under $E_2/E_1 = 5$ and $d/R=6$. The values of $|q_{cr}|/E_1$ are calculated with the initial imperfection criterion as follows:

$$\left| u_2' \Big|_{\substack{x_1=L/2 \\ x_2=H}} \right| \rightarrow \infty \text{ as } q \rightarrow q_{cr}.$$

The critical values of compressive force $|q_{cr}|/E_1$ decrease with increasing values of f and $\bar{\omega}^2$.

Table 4. The values of $|q_{cr}|/E_1$ at several f and $\bar{\omega}^2$ under $E_2/E_1 = 5$ and $d/R=6$.

f	$\bar{\omega}^2$	$ q_{cr} /E_1$
0	0	0.00492
	0.01	0.00360
	0.02	0.00225
0.01	0	0.00489
	0.01	0.00356
	0.02	0.00222
0.02	0	0.00482
	0.01	0.00349
	0.02	0.00215
0.04	0	0.00454
	0.01	0.00321
	0.02	0.00187

Table 5 indicate interactions between inclusions (i.e., d/R) using the values of $\sigma_{\theta\theta}/p$ for $\bar{\omega}^2 = 0.02$ where $\bar{\omega}^2$ introduces the dimensionless frequency $\bar{\omega}^2 = \omega^2 \rho L / A_{22}$ ($< \omega_{cr,1}^2$) ($A_{22} = \lambda_k + 2\mu_k$). The values of the upper number (lower number) of the ratios indicates the values of the stresses under $f=0$ ($f=0.04$). To obtain numerical results, it is assumed that $\nu^{(1)} = \nu^{(2)} = 0.3$, $R/L = 0.00625$ and $H/L =$

0.075 , unless otherwise noted. The numerical results shown in Table 5 indicate that the absolute values of the stresses decline with q/E_1 , and when the effect of the plate-strip's own weight is taken into consideration, the values of the stresses are more significantly affected by the change in d/R .

Table 5. The values of stresses $\sigma_{\theta\theta}/p$ ($\sigma_{\theta\theta}/p|_{f=0}/\sigma_{\theta\theta}/p|_{f=0.04}$) are calculated for several d/R and q/E_1 values in defined angles around the circular inclusion under $E_2/E_1 = 5$ and $\bar{\omega}^2 = 0.02$.

q/E_1	θ	d/R					
		36	20	12	6	2	1
0	0	-8.2393	-8.4748	-8.5254	-8.5246	-8.4944	-8.5420
		-589.2347	-187.9667	-172.4904	-167.9380	-155.5693	-155.4949
	$\pi/4$	21.1525	27.2975	29.2177	30.1335	30.1929	29.4676
		-254.1220	-73.4935	-66.1381	-63.4337	-55.1924	-56.0394
$\pi/2$	-30.4678	-35.3926	-36.8151	-37.4120	-37.5110	-37.1173	
	-127.0534	-71.4854	-71.0687	-71.6472	-73.1866	-74.5316	
$3\pi/4$	49.2407	59.7899	62.8024	64.0405	64.0202	63.0882	
	160.4307	28.4763	6.9557	-7.3569	-6.6766	-3.6923	
0.005	0	-7.0307	-7.0890	-7.1008	-7.0929	-7.0847	-7.1345
		-47.8312	-48.4199	-49.0550	-48.8506	-45.8201	-46.0348
	$\pi/4$	2.5702	4.2471	4.7545	4.9969	4.9960	4.7518
		-23.0730	-21.4255	-21.1950	-20.8336	-18.6968	-19.2549
$\pi/2$	-13.0105	-14.3296	-14.6993	-14.8530	-14.8811	-14.7684	
	-14.3101	-20.4768	-22.1351	-22.7564	-23.2693	-23.6297	
$3\pi/4$	11.1749	14.0129	14.8001	15.1232	15.1108	14.8244	
	4.6482	1.5025	-2.5472	-5.9610	-5.8166	-5.3257	

The effect of the plate-strip's own weight, i.e., f , on the stresses (a) σ_{rr}/p , (b) $\tau_{r\theta}/p$ and (c) $\sigma_{\theta\theta}/p$ around the inclusions (in Fig. 5) and displacements (a) u_r/L and (b) u_θ/L around the inclusions (in Fig. 6) and displacements (a) u_1/L and (b) u_2/L on the plate-strip's upper face (in Fig. 7) are presented in Figs. 5-6 and 7, respectively for which $E_2/E_1 = 5$, $\bar{\omega}^2 = 0.02$ and $d/R=6$. In these figures, not only are the graphs presented related to the case where the value of the dimensionless pre-stretching load differ from zero, i.e., $q/E_1 = 0.005$ (solid lines), but the graphs are also related to the case where the value of the dimensionless pre-stretching load is equal to zero, i.e., $q/E_1 = 0$ (dashed lines).

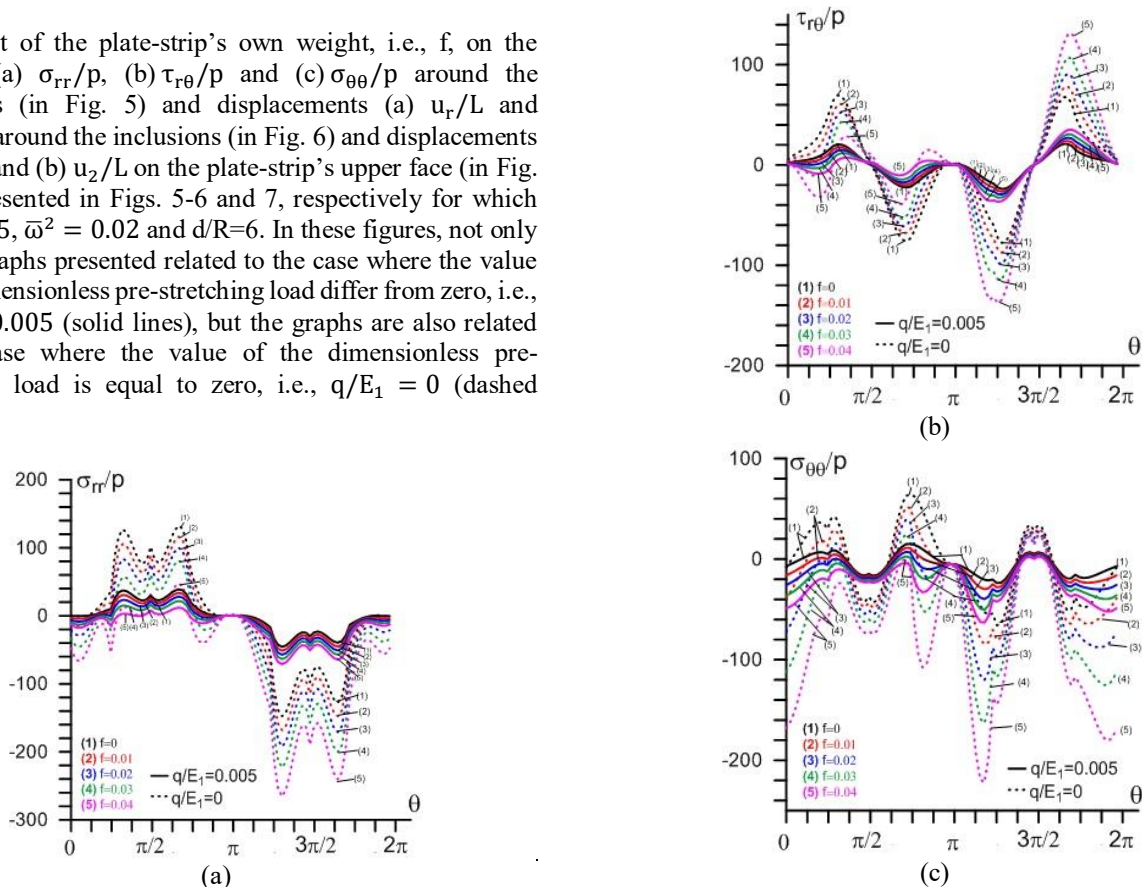


Fig. 5. Effect of f on (a) σ_{rr}/p , (b) $\tau_{r\theta}/p$ and (c) $\sigma_{\theta\theta}/p$ around the inclusions at $r=R$.

Figs. 5 indicate that the absolute values of stresses $\sigma_{\theta\theta}/p$ increase with density of own weight f , while the absolute values of stresses σ_{rr}/p and $\tau_{r\theta}/p$ decrease with density of own weight at $\theta \in (0, \pi)$, but increase at $\theta \in (\pi, 2\pi)$ around the inclusions. Figs. 6 indicate that the absolute values of the displacements u_r/L and u_θ/L increase with density of own weight at $\theta \in (0, \pi)$, but decrease at $\theta \in (\pi, 2\pi)$ around the inclusions. $\theta \in (0, \pi)$ and $\theta \in (\pi, 2\pi)$ represent the areas closer to the inclusions upper and lower plane, respectively. Results for all the stresses and displacements achieved for pre-stretching load i.e. $q/E_1 \neq 0$ are less than the values for $q/E_1 = 0$.

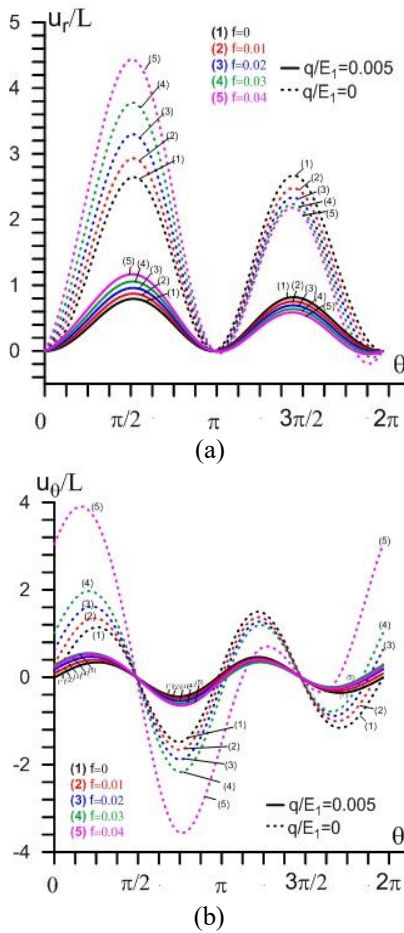


Fig. 6. Effect of f on (a) u_r/L and (b) u_θ/L around the inclusions at $r=R$.

Fig. 7 indicate that the displacements' absolute values are higher monotonically in cases of higher f on the plate-strip's upper face.

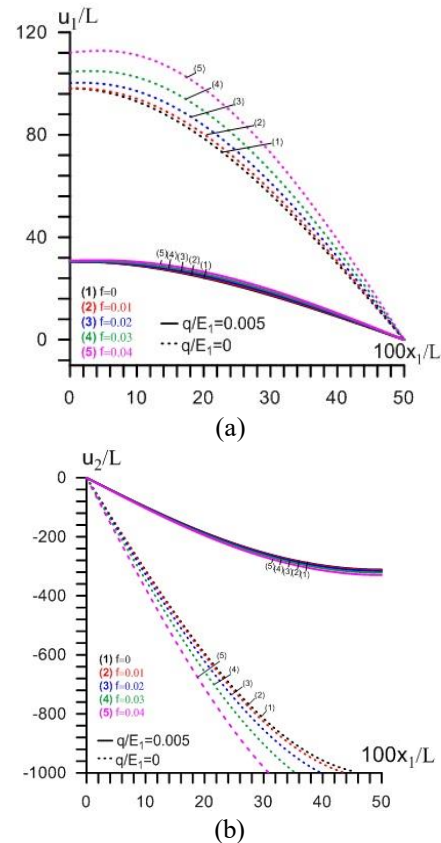


Fig. 7. Effect of f on (a) u_1/L and (b) u_2/L at $x_2 = H$ along the Ox_1 axis.

The following figures present graphs in which the plate-strip's own weight density is equal to 0.04 (solid lines), and those in which the plate-strip's own weight is neglected i.e., $f=0$ (dashed lines). The graphs presented in Figs. 8 and 9 examine the effect of dimensionless frequencies $\bar{\omega}^2$ on the stresses (a) σ_{rr}/p , (b) $\tau_{r\theta}/p$ and (c) $\sigma_{\theta\theta}/p$ (in Fig. 8) and displacements (a) u_r/L and (b) u_θ/L (in Fig. 9), respectively, around the inclusions at $r=R$, for which, $E_2/E_1 = 5$, $d/R=6$ and $q/E_1 = 0.005$. The graphs indicate that both the absolute values of stresses (in Fig. 8) and the displacements (in Fig. 9) around the inclusions increase with increasing $\bar{\omega}^2$. The stress and displacement values are not symmetrical with respect to π if the plate-strip's own weight is taken into account; however, they are symmetrical with respect to π if the plate-strip's own weight is neglected.

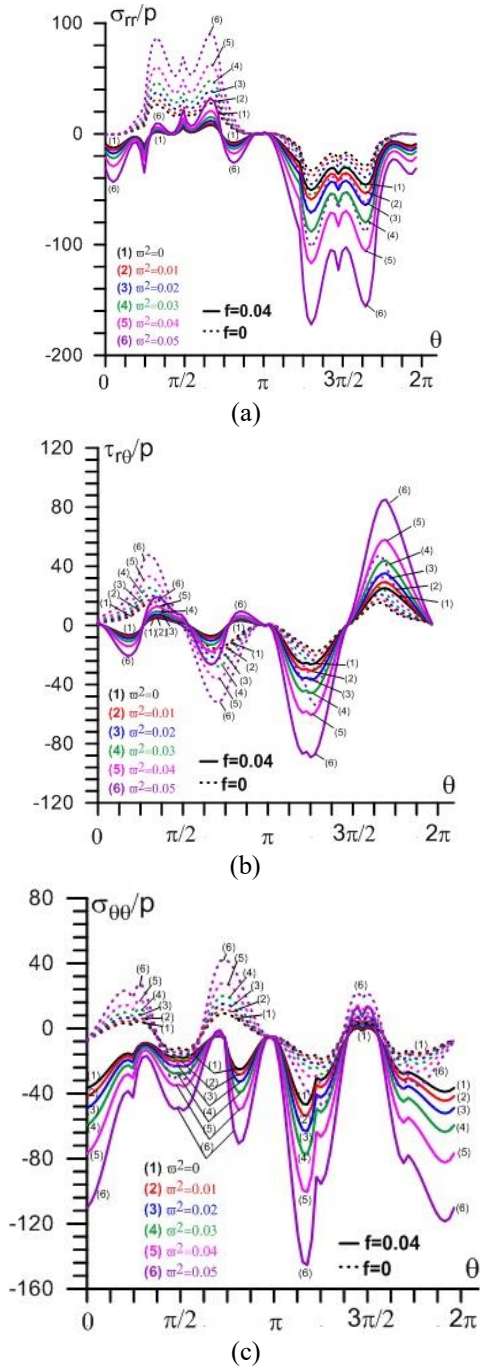


Fig. 8. Effect of $\bar{\omega}^2$ on (a) σ_{rr}/ρ , (b) $\tau_{r\theta}/\rho$ and (c) $\sigma_{\theta\theta}/\rho$ around inclusions at $r=R$.

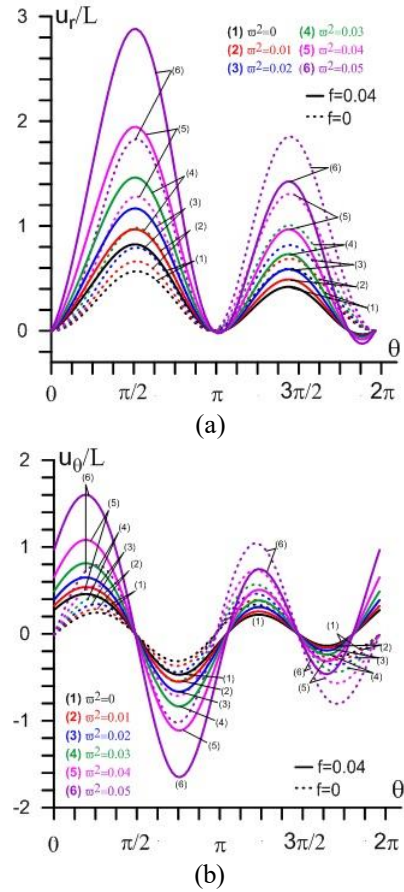


Fig. 9. Effect of $\bar{\omega}^2$ on (a) u_r/L and (b) u_θ/L around the inclusions at $r=R$.

The graphs presented in Fig. 10 can be used to examine the effect of dimensionless frequencies $\bar{\omega}^2$ on the values of (a) u_1/L and (b) u_2/L , respectively, on the plate-strip's upper face, for which, $E_2/E_1 = 5$, $d/R=6$ and $q/E_1 = 0.005$. The graphs indicate that the displacement's absolute values increase with increasing $\bar{\omega}^2$ and that the differences between the values obtained at $f=0$ and $f=0.04$ also increase with $\bar{\omega}^2$.

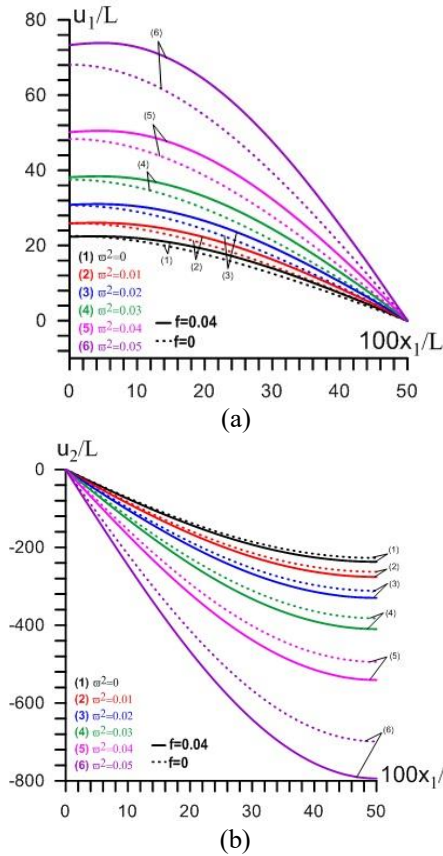


Fig. 10. Effect of $\bar{\omega}^2$ on (a) u_1/L and (b) u_2/L at $x_2 = H$ along the Ox_1 axis.

The graphs presented in Figs. 11 and 12 examine the effect of pre-stretching load q/E_1 on the stresses (a) σ_{rr}/p , (b) $\tau_{r\theta}/p$ and (c) $\sigma_{\theta\theta}/p$ (in Fig. 11) and displacements (a) u_r/L and (b) u_θ/L (in Fig. 12), respectively, for which $E_2/E_1 = 5$, $\bar{\omega}^2 = 0.02$ and $d/R=6$. Results indicate that the absolute values of displacements and stresses decrease significantly with pre-stretching load, i.e., q/E_1 and this effect is greater when considering the plate-strip's own weight.

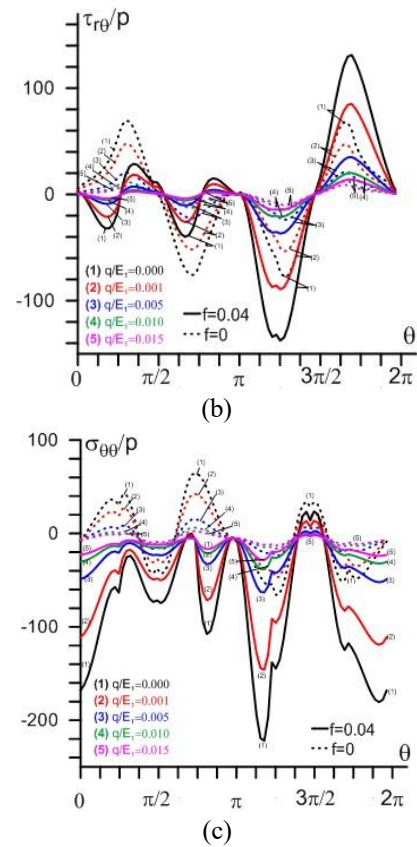


Fig. 11. Effect of q/E_1 on (a) σ_{rr}/p , (b) $\tau_{r\theta}/p$ and (c) $\sigma_{\theta\theta}/p$ around inclusions at $r=R$.

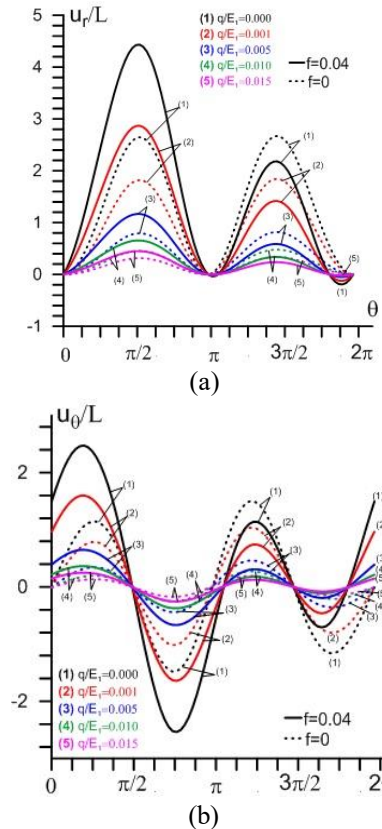
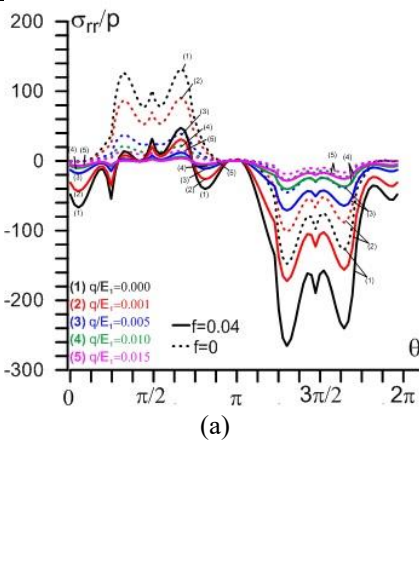


Fig. 12. Effect of q/E_1 on (a) u_r/L and (b) u_θ/L around inclusions at $r=R$.

The graphs presented in Fig. 13 examine the effect of q/E_1 on the displacements (a) u_1/L and (b) u_2/L , respectively, along the Ox_1 axes on the plate-strip's upper face, under the conditions $E_2/E_1 = 5$, $\bar{\omega}^2 = 0.02$ and $d/R=6$, for both cases of f . The graphs indicate that the absolute values of displacements u_1/L and u_2/L , decrease with q/E_1 , and the differences between the values obtained at $f=0$ and $f=0.04$ decrease with q/E_1 .

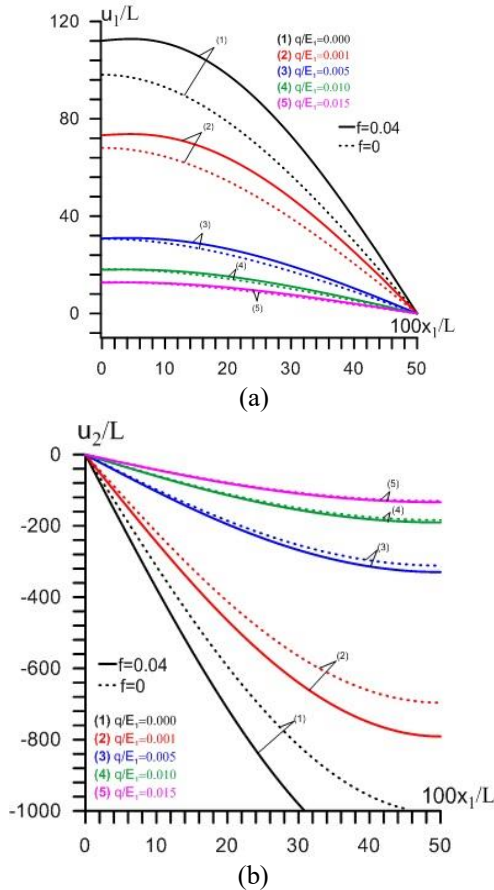


Fig. 13. Effect of q/E_1 on (a) u_1/L and (b) u_2/L at $x_2 = H$.

The graphs presented in Fig. 14 indicate the effect of E_2/E_1 on the stresses (a) σ_{rr}/p , (b) $\tau_{r\theta}/p$ and (c) $\sigma_{\theta\theta}/p$ for which $q/E_1 = 0.005$, $\bar{\omega}^2 = 0.02$ and $d/R=6$. Results indicate that change of E_2/E_1 affects the absolute values of the stresses around the inclusions significantly. The absolute values of all the stresses around the inclusion increase with E_2/E_1 . Although the absolute values of stresses obtained for $f = 0$ are greater than those obtained for $f = 0.04$ at $\theta \in (0, \pi)$, the values obtained for $f= 0.04$ are greater than those obtained for $f = 0$ at $\theta \in (\pi, 2\pi)$.

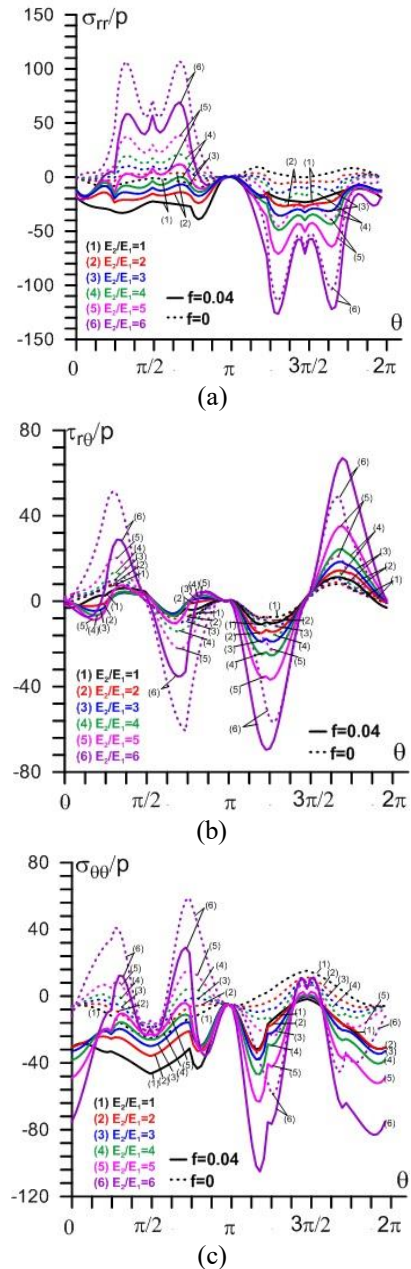


Fig. 14. Effect of E_2/E_1 on (a) σ_{rr}/p , (b) $\tau_{r\theta}/p$ and (c) $\sigma_{\theta\theta}/p$ around inclusions at $r=R$.

The graphs presented in Figs. 15 and 16 examine the effect of the varied upward replacement of the inclusions positions (i.e., effect of parameter H_T/R) on the stresses (a) σ_{rr}/p , (b) $\tau_{r\theta}/p$ and (c) $\sigma_{\theta\theta}/p$ (in Fig. 15) and displacements (a) u_r/L and (b) u_θ/L (in Fig. 16) respectively, for which $E_2/E_1 = 5$, $\bar{\omega}^2 = 0.02$, $d/R=6$ and $q/E_1 = 0.005$. Results indicate that the absolute values of displacements and stresses increase significantly with lower H_T/R for $f=0$ and $f=0.04$.

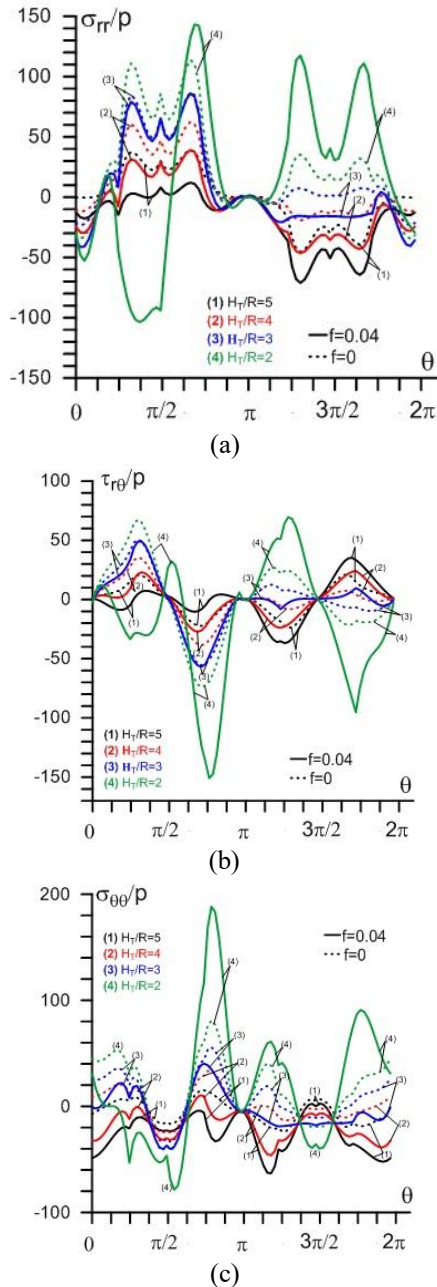


Fig. 15. Effect of H_T/R on (a) σ_{rr}/ρ , (b) $\tau_{r\theta}/\rho$ and (c) $\sigma_{\theta\theta}/\rho$ around inclusions at $r=R$.

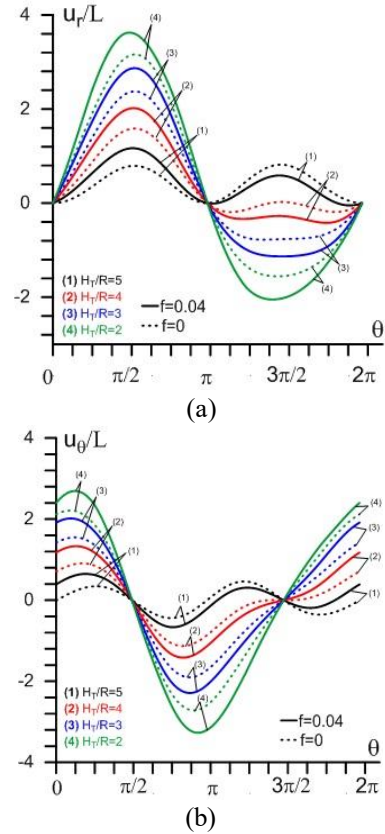


Fig. 16. Effect of H_T/R on (a) u_r/L and (b) u_{θ}/L around the inclusions at $r=R$.

5. CONCLUSIONS

This study aimed to identify the effects of own weight of a plate-strip containing twin circular inclusions to dynamic analyses under bending conditions. Centers of inclusions are on a line parallel to the free surface and made from the same materials. The effects of body forces (own weight) and surface forces (pre-stretching load) have been considered together as the initial stresses can be determined via the classical linear theory of elasticity. The effects of these initial stresses on dynamic analyses around the inclusions within a plate-strip under additional time harmonic bending load are studied via the TDLTE taking into account the state of the plane strain. Within this study the best way to determine the solution was analyzed, and an algorithm was designed to determine the numerical results. According to the study the following conclusions can be reached:

- First fundamental frequencies decrease with the plate-strip's own weight and increase with initial stretching force.
- When the effect of the plate-strip's own weight is taken into consideration, the values of the stresses are more significantly affected by the change in d/R (distance between two inclusions).
- The values of $|q_{cr}|/E_1$ decrease with f and $\bar{\omega}^2$ ($< \omega_{cr,1}^2$).
- The values of $|\sigma_{\theta\theta}/p|$, $|\sigma_{rr}/p|$, $|\tau_{r\theta}/p|$, $|u_r/L|$ and u_θ/L around the inclusions increase with dimensionless frequencies $\bar{\omega}^2$.
- The values of $|u_1/L|$ and $|u_2/L|$ on the plate-strip's upper face increase with dimensionless frequencies $\bar{\omega}^2$ and the differences between the values obtained at $f=0$ and $f=0.04$ increase with $\bar{\omega}^2$.
- The values of $|\sigma_{\theta\theta}/p|$ around the inclusions increase with increasing density of own weight f .
- The values of $|\sigma_{rr}/p|$, $|\tau_{r\theta}/p|$ around the inclusions decrease with density of own weight at $\theta \in (0, \pi)$, but increase at $\theta \in (\pi, 2\pi)$.
- The values of $|u_r/L|$ and $|u_\theta/L|$ around the inclusions increase when taking into account the density of own weight at $\theta \in (0, \pi)$, but decrease at $\theta \in (\pi, 2\pi)$.
- The values of $|u_1/L|$ and $|u_2/L|$ on the plate-strip's upper face increase with density of own weight and this effect is greater for the case $q/E_1 = 0$.
- The stresses' and displacements' absolute values around the inclusions are significantly decrease with pre-stretching force q/E_1 , and this effect is greater when considering plate-strip's own weight.
- The absolute values of stresses around the inclusions increase with E_2/E_1 .
- The stresses' absolute values obtained for $f=0$ are greater than those obtained for $f=0.04$ at $\theta \in (0, \pi)$, but the values obtained for $f=0.04$ are greater than those obtained for $f=0$ at $\theta \in (\pi, 2\pi)$.
- The stresses' and displacements' absolute values are significantly greater in cases where the upward replacement of the position of the inclusions, i.e., H_T/R , decrease for the cases $f=0$ and $f=0.04$.

ACKNOWLEDGEMENTS

It is a genuine pleasure to express my deep sense of thanks and gratitude to Prof. Dr. Surkay D. AKBAROV for guide and comments. And also I owe a deep sense of gratitude to Prof. Dr. Nazmiye YAHNIOGLU for keen interest during the research.

REFERENCES

[1] T. Mura, "Inclusion problems", Appl. Mech. Rev., vol.

41, no 1, pp. 15-20, 1988.

[2] T. Mura, H.M. Shodja and Y. Hirose, "Inclusion problems", Appl. Mech. Rev., vol. 49, no 10S, pp. 118-127, 1996.

[3] K. Zhou, H.J. Hoh, X. Wang, L.M. Keer, J.H.L. Pang, B. Song and Q.J. Wang, "A review of recent works on inclusions", Mech. Mater., vol. 60, pp. 144-158, 2013.

[4] W. Hufenbach and B. Zhou, "Solutions for an anisotropic finite plate with an elastic inclusion and a loaded boundary", Compos. Struct., vol. 52, no 2, pp. 161-166, 2001.

[5] J.H. Huang, "Vibration response of laminated plates containing spheroidal inclusions", Compos. Struct., vol. 50, no 3, pp. 269-277, 2000.

[6] U. Babuscu Yesil, "Forced vibration analysis of pre-stretched plates with twin circular inclusions", J. Eng. Mech., vol. 141, no 1, pp. 04014099-1-04014099-16, 2015.

[7] S.D. Akbarov, Dynamics of Pre-Strained Bi-Material Elastic Systems Linearized Three-Dimensional Approach, Springer-Heidelberg, New York, 2015.

[8] H. Takabatake, "Effects of dead loads in dynamic plates", J. Struct. Eng.-ASCE, vol. 118, no 1, pp. 34-51, 1992.

[9] H. Takabatake, "Effects of dead loads on dynamic analyses of beams subject to moving loads", Earthq. Struct., vol. 5, no 5, pp. 589-605, 2013.

[10] H. Takabatake, "Effect of dead loads on natural frequencies on beams", J. Struct. Eng.-ASCE, vol. 117, no 4, pp. 1039-1052, 1991.

[11] H. Takabatake, "Effects of dead loads on dynamic analyses of beams", Earthq. Struct., vol. 1, no 4, pp. 411-425, 2010.

[12] U. Babuscu Yesil, "The effect of own weight on the static analysis of a pre-stretched plate-strip with a circular hole in bending", Mech. Compos. Mater., vol. 53, no 2, pp. 243-252, 2017.

[13] S.J. Zhou and X. Zhu, "Analysis of effect of dead loads on natural frequencies of beams using finite-element techniques", J. Struct. Eng. -ASCE, vol. 122, no 5, pp. 512-516, 1996.

[14] S.J. Zhou, "Load-induced stiffness matrix of plates", Can. J. Civ. Eng., vol. 29, no 1, 181-184, 2002.

[15] S.D. Akbarov, Stability Loss and Buckling Delamination: Three-Dimensional Linearized Approach for Elastic and Viscoelastic Composites, Springer-Heidelberg, New York, 2013.

[16] A.N. Guz, Fundamentals of the Three-Dimensional Theory of Stability of Deformable Bodies, Springer-Verlag, Berlin, 1999.

[17] A.N. Guz, Elastic Waves in Bodies with Initial (Residual) Stresses [in Russian], Kiev, 2004.

[18] O.C. Zienkiewicz and R.L. Taylor, The Finite Element Methods: Basic Formulation and Linear Problems (Vol. 1, 4th Edition). Mc Graw-Hill Book Company, Oxford, 1989.

[19] S.P. Timoshenko and J.N. Goodier, Theory of Elasticity, Third Edition, McGraw-Hill International Editions, London, 1970.