



ACADEMIC
PLATFORM



ISSN: 2147-4575

APJES

Journal of Engineering and Science

Volume: 7

Issue : 1

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@sakarya.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@sakarya.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@sakarya.edu.tr



ISSN: 2147-4575

Contact



Academic Platform

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

Field Editors

Dr. Ali SARIBIYIK
alisaribiyik@sakarya.edu.tr

Dr. Metin YAMAN
myaman@sakarya.edu.tr

Dr. Beytullah EREN
beren@sakarya.edu.tr

Dr. Mustafa CAN
mustafacan@sakarya.edu.tr

Dr. Fatih ÇALIŞKAN
fcaliskan@sakarya.edu.tr

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

Dr. Fuat ŞİMŞİR
fuatsimsir@karabuk.edu.tr

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

Dr. Halil ARSLAN
harslan@sakarya.edu.tr

Dr. Süleyman KALELİ
skaleli@sakarya.edu.tr

Dr. Harun GÜL
harungul@duzce.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
aserdar@sakarya.edu.tr

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

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

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



ISSN: 2147-4575

Contact

Academic Platform



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

Contents

Utilization of Construction Demolition Waste in Soil Improvement (Research Paper)	1-6
Modelling and Performance Comparison of Siesmic Data with Different Statistical Distributions (Research Paper)	7-13
Assessing Industry 4.0 Tendency with IMPULS Criteria: A Fuzzy Cognitive Map Application (Research Paper)	14-23
Determination of Optimal Reading Conditions by Taguchi Method (Research Paper)	24-32
Some Types of Null Hypersurfaces (Research Paper)	33-38
Performance Evaluation of Two Analytical Discretization Methods for Implementation of Fractional Order Transfer Functions (Research Paper)	39-44
Investigation of the Usability of High Sulfur Coal in Activated Carbon Production (Research Paper)	45-51
Total Irregularity of Indu-Bala Product of Graphs (Research Paper)	52-55
Distribution of Extreme Wet and Dry Seasons (1967-2016) Along Mediterranean Coast, Turkey (Research Paper)	56-66
The Effect of Sunflower Oil Methyl Ester Blends on a DI Diesel Engine Performance and Emissions (Research Paper)	67-73
Biogas Potential from Animal Waste: A Case Study for Bitlis Province (Research Paper)	74-78
The Investigation of Temperature Distribution and Thermal Problems in DMLS Additive Manufacturing (Research Paper)	79-94
Effects of TiB₂ and La₂O₃ Particle Reinforcements on the Tungsten Matrix Composites Fabricated by Mechanical Alloying and Activated Sintering (Research Paper)	95-105
Shale Gas Extraction and Treatment of Shale Gas Wastewater (Research Paper)	106-114

Contents

Optimization of Cryogenic Treated Nickel-Based Superalloy in Terms of Electro-Erosion Processing Performance (Research Paper)	115-126
The Adsorptive Removal of Arsenic and Manganese from Aqueous Solution by Natural and Modified Sepiolite (Research Paper)	127-139
Comparative Performance Analysis of Ellipsoidal Support Vector Clustering on Biomedical Data Sets (Research Paper)	140-148
Notes on Bark and Ambrosia Beetles (Col.: Curculionidae: Scolytinae and Platypodinae) Determined By Red Winged Sticky Traps in Relict Oriental Beech (<i>Fagus orientalis</i> Lipsky) Forests of Kahramanmaraş-Andırın Province (Research Paper)	149-154
Estimation of Intrinsic Connectivity Networks by Multivariate Empirical Mode Decomposition (Research Paper)	155-161
Developing of the Mathematical Model to Calculate the Carrot Volume Using the Length and Diameter Data (Review Paper)	162-167
Design of a New Parallel-Plate Capacitor to Increase the Capacity Value (Research Paper)	168-173

İçindekiler

İnşaat Yıkıntı Atıklarının Zemin İyileştirmesinde Kullanılabilirliği (Araştırma Makalesi)	1-6
Farklı İstatistiksel Dağılımlar ile Deprem Verilerinin Modellenmesi ve Performans Karşılaştırması (Araştırma Makalesi)	7-13
IMPULS Kriterleri ile Endüstri 4.0 Eğiliminin Değerlendirilmesi: Bir Bulanık Bilişsel Harita Uygulaması (Araştırma Makalesi)	14-23
Determination of Optimal Reading Conditions by Taguchi Method (Araştırma Makalesi)	24-32
Some Types of Null Hypersurfaces (Araştırma Makalesi)	33-38
Performance Evaluation of Two Analytical Discretization Methods for Implementation of Fractional Order Transfer Functions (Araştırma Makalesi)	39-44
Aktif Karbon Üretiminde Yüksek Kükürtlü Kömürlerin Kullanılabilirliğinin Araştırılması (Araştırma Makalesi)	45-51
Total Irregularity of Indu-Bala Product of Graphs (Araştırma Makalesi)	52-55
Distribution of Extreme Wet and Dry Seasons (1967-2016) Along Mediterranean Coast, Turkey (Araştırma Makalesi)	56-66
Ayçiçek Yağı Metil Ester Karışımlarının DI Bir Dizel Motorunun Performans ve Emisyonlarına Etkisi (Araştırma Makalesi)	67-73
Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli: Bitlis Örneği (Araştırma Makalesi)	74-78
DMLS ile Eklemeli İmalatta Dengesiz Sıcaklık Dağılımı ve Parçaya Etkilerinin Araştırılması (Araştırma Makalesi)	79-94
TiB ₂ ve La ₂ O ₃ Partikül Takviyelerinin Mekanik Alaşımlama ve Aktifleştirilmiş Sinterleme ile Üretilen Volfram Matrisli Kompozitler Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi (Araştırma Makalesi)	95-105
Kaya Gazı Ekstraksiyonu ve Kaya Gazı Atıksuyunun Arıtımı (Araştırma Makalesi)	106-114

İçindekiler

Kriyojenik İşlem Görmüş Nikel Esaslı Süper Alaşımın Elektro-Erozyon İşleme Performansı Optimizasyonu (Araştırma Makalesi)	115-126
Doğal ve Modifiye Edilmiş Sepiyolit ile Sulu Çözeltilerden Arsenik ve Manganın Adsorpsiyonu ile Ayrımı (Araştırma Makalesi)	127-139
Elipsoit Destek Vektör Öbekleme Algoritmasının Biyomedikal Veri Setleri Üzerinde Karşılaştırmalı Performans Analizi (Araştırma Makalesi)	140-148
Kahramanmaraş-Andırın Yöresi Relikt Doğu Kayını (<i>Fagus orientalis</i> Lipsky) Ormanlarında Kırmızı Renkli Yapışkan Tuzaklarla Tespit Edilen Kabuk ve Ambrosya Böcekleri (Col.: Curculionidae: Scolytinae ve Platypodinae) Üzerine Notlar (Araştırma Makalesi)	149-154
Çokdeğişkenli Ampirik Mod Ayrıştırımı ile İçsel Bağlantı Ağları Kestirimi (Araştırma Makalesi)	155-161
Havucun Boy ve Çap Verileri Kullanılarak Hacminin Hesaplanması için Matematiksel Model Geliştirilmesi (Derleme Makalesi)	162-167
Design of a New Parallel-Plate Capacitor to Increase the Capacity Value (Research Paper)	168-173

İnşaat Yıkıntı Atıklarının Zemin İyileştirmesinde Kullanılabilirliği

İsa Vural

* Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Türkiye, ivural@sakarya.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 26.06.2018

Kabul Tarihi: 20.09.2018

Öz

Zeminlerin mühendislik özelliklerinin yetersiz olduğu durumlarda zemin iyileştirerek mühendislik özellikleri artırılabilir. Zemin iyileştirme çalışmalarında kireç, çimento, uçucu kül vb. birçok yöntem kullanılmaktadır. Zemin iyileştirmelerinde zeminin mevcut mühendislik özellikleri ve iyileştirme maliyetleri önemli parametrelerdir. Bu çalışmada, deprem bölgelerinde ciddi çevre sorunu haline gelen, şehirlerde görüntü kirliliği yaratan ve yaşam konforunu bozan deprem yıkıntı atıklarının zemin iyileştirmesinde kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Sakarya da 1999 yılı depremlerinde yıkılan binalara ait yıkıntı atıkları ile laboratuvar ortamında zemin iyileştirmesi yapılarak bu zeminlerin CBR değerleri belirlenmiştir. Çalışmada, inşaat yıkıntı atığı, kireç ve kaolin karıştırılarak bu karışımların 1, 7 ve 28 günlük CBR değerleri ölçülmüştür. İyileştirilecek zemin örneği olarak şişme potansiyeli en yüksek olan kaolen kili kullanılmıştır. Karışımlarda kireç oranı %0 referans, %5 ve %8 seçilirken, inşaat atığı oranı %0 referans ile %23 arasında, kaolin ise %0 referans ve %72 ile %100 arasında seçilmiştir. Karışımlarda birinci, yedinci ve yirmi sekizinci gün için en düşük CBR değerleri sırasıyla 26.3, 28.65 ve 33.13 olarak %3 Yıkıntı atığı, %5 Kireç ve %92 Kaolin kullanıldığında, en yüksek CBR değeri ise 33.52, 34.70 ve 34.95 ile %23 yıkıntı atığı, %5 kireç ve %72 kaolin kullanıldığında elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İnşaat yıkıntı atığı, Zemin mekaniği, Zeminleri iyileştirilmesi

Utilization of Construction Demolition Waste in Soil Improvement

İsa Vural

* Sakarya University, Faculty of Technology, Department Of Civil Engineering, Turkey, ivural@sakarya.edu.tr

Abstract

In the cases when the engineering properties of the soils are insufficient, engineering properties can be increased by improving the soil. In the soil improvement studies, various methods such as lime, cement, fly-ash etc., are employed. The available engineering properties and the cost of improvement are important parameters in the soil improvement. In this study, it was aimed to utilise earthquake construction waste, which has become a serious environmental problem in the earthquake zones, causes visual pollution in the cities and ruins the living comfort, in soil improvement. For this purpose, the CBR values of these soils were determined by carrying out soil improvements with the construction waste of the buildings collapsed in the 1999 earthquake in Sakarya in the laboratory environment. In the study, the CBR values of 1, 7, and 28 days of these mixtures were measured by mixing the construction waste, lime and kaolin. As the sample of the soil to be improved, kaolin clay which has the highest potential to swell was used. While the lime ratio in the mixtures was selected as 0% reference, 5% and 8%, the construction waste ratio was selected between 0% reference and 23%, and kaolin was selected as 0% reference and between 72% and 100%. When 3% Construction waste, 5% Lime and 92% Kaolin were used in the mixtures, the lowest CBR values were obtained as 26.3, 28.65 and 33.13 for the first, seventh and twenty-eighth days, respectively, and when 23% construction waste, 5% lime and 72% kaolin were used, the highest CBR values were obtained as 33.52, 34.70 and 34.95, respectively.

Keywords: Construction demolition waste, Soil mechanics, Soil stabilization.

1. GİRİŞ

Kaynaklarımızın sınırlı olduğu dünyada enerji tüketiminin azaltılması inşaat sektöründe de önemli bir amaçtır. Atık ürünlerin depolanması veya doğaya terk edilmesi diğer alanlarda olduğu gibi inşaat sektöründe de önemli sorunlara neden olmakta, çevreyi ve insan sağlığını tehdit eden

sorunlara dönüşmektedir. Tüm sektörlerde olduğu gibi inşaat sektöründe de bu sorunları azaltabilmek için atık malzeme ve yan ürünlerinin kullanımını artırıp kısıtlı olan doğal malzemelerin kullanımını azaltmak en önemli amaçlardan biri haline gelmiştir. Diğer taraftan, atık ürünlerin uygun şartlarda depolanması çevresel problemleri de azaltacaktır. Atık malzemeler ile oluşan çevre kirliliği de günümüzün

önemli sorunlarından birini oluşturmaktadır. Bu nedenle inşaat sektörü açısından atık malzemelerin oluşturacağı kirliliği azaltmak amacı ile bu malzemelerin farklı alanlarda kullanılabilirliği ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Yapılan araştırmalarda, atık asfalt (reclaimed asphalt pavement (RAP) aggregate), çimento tozu (CBPD), cüruf, eski araba lastiği, uçucu kül gibi atık malzemelerin zeminlerin iyileştirilmesinde katkı malzemesi olarak kullanılması durumunda zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirilebileceği görülmüştür. Ancak, kayma mukavemetini arttırmak, geçirimsizlik ve suya isteği azaltmak, hacim değişimini en aza indirmek gibi amaçlarla yapılan çalışmalarda kullanılan atık maddelerin endüstri yan ürünleri olması ve jeolojik ortamın kirlenmesine yol açması bu atık endüstri ürünlerinin kullanılabilirliğini olumsuz etkilediği görülmüştür. Yapılan çalışmalarda, incelenen birçok malzeme ve atıklardan sadece birkaçının zemin iyileştirilmesinde kullanılabileceği belirtilmektedir. Bunlar zeminin iyileştirilmesindeki etkinlikleri yanında, ucuz olmaları ve ihtiyaç duyulduğunda kolayca bulunabilme özelliğine göre çimento, bitüm, kireç, fosforik asit, kalsiyum bileşikler, reçine ve polimerler ile çok değerlikli iyon içeren maddelerdir [1]. Zemin stabilizasyon yöntemleri arasında katkı maddeleri ile stabilizasyon en çok uygulanan yöntemlerinden biridir. Stabilizasyonda katkı maddeleri ile iyileştirme, problemlili zemin yapısına bir veya daha fazla bileşiğin katılmasıyla ilgilidir. Çimento, cüruf, uçucu kül, kireç veya geri dönüştürülmüş katkı maddeleri zeminlerin stabilizasyonu için etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Zemin stabilizasyonunda amaçlar, tane boyutunun artırılması, mukavemetin artırılması, plastisite indeksinin düşürülmesi ve büzülme-şişme potansiyelinin azaltılması olarak hedeflenmektedir [2-8].

Türkiyede özellikle şehirlerdeki gece konu alanları, depremde yıkılmış binlardan oluşan alanlar ile ağır hasar görmüş binların olduğu alanlarda kentsel dönüşüm yasası (6303 sayılı yasa) ile birlikte mevcut yapıların yıkılması ve çeşitli mimari çalışmaların modernizasyonu gibi etkenler büyük miktarda inşaat yıkıntı atığı oluşumuna neden olmaktadır. Çok büyük miktarlara ulaşan ve özellikle çevre kirliliği, görüntü kirliliği vb. şehir dokusuna zarar veren yıkıntı atıkları büyük bir soruna dönüşmüştür. İnşaat alanlarında dolgu yapmak için bu atıklardan düşük miktarlarda kullanılmakta, ancak açıkta kalan milyonlarca ton atık yetersiz depolama alanlarına yığılmaya çalışılmaktadır. Ancak büyük miktarlardaki bu inşaat yıkıntı atıkları çevreye büyük zarar vermektedir. Diğer taraftan iyileştirme amacı ile doğal kaynakların kullanılması da olumsuz bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır [9]. Dünyada birçok ülkede, yüksek fırın cürufu gibi endüstriyel yan ürünlerin yasadışı veya çevresel açıdan güvensiz bir şekilde elden çıkarılması çevre sağlığı açısından dünyada giderek artan bir endişe oluşturmakta ve araştırmacıları bu sorunlara sürdürülebilir çözümler bulmaya itmektedir. Bu nedenle araştırmacılar, zemin stabilizasyonu için alternatif malzemelerin kullanımı ile ilgili olarak çalışmalarına devam etmektedir [10-12]. Yapılan araştırmalara göre yıkıntı atıklarının karbon salınımını arttırarak çevreye zarar

vermeside bir başka problem olarak ortaya çıkmaktadır [13]. Bu nedenle Avrupa'daki bazı gelişmiş ülkelerde karbon ayak izini azaltmak ve zeminlerin taşıma kapasitesini arttırmak amacı ile yıkıntı atıklarının tekrar kullanımına yönelik çalışmalar artmış olup ayrıca teşvik edilmektedir [14-18].Avustralya gibi gelişmiş ülkelerde işlenmiş ve yeniden kullanılabilir şekilde sınıflandırılmış inşaat atıkları ton başına 8-10 AUD'a mal olmaktadır. Avrupa Birliği'nin bu ürünlerin yeniden kullanımı gibi çevreci inşaat uygulamaları için teşvikleri bulunmaktadır. [19]. Zeminlerin stabilizasyonunda stabilizör seçimi için, zemin cinsi, stabilizasyonun amacı (stabilite artışı, kaplama kalınlığının azalması, vb.), zeminin hangi özelliğinin iyileştirileceği, maliyeti ve elde edilme kolaylığı gibi hususlar göz önünde tutulmaktadır. Bu nedenle literatürde bölgesel şartlar altında kullanım yerlerine göre stabilizatöre bağlı olarak değişen birçok zemin iyileştirme yöntemi mevcuttur. Bu yöntemler genel olarak;

- Kireçle Stabilizasyon
- Çimento ile Stabilizasyon
- Bitümle Stabilizasyon
- Kireç- Baca Külü ile Stabilizasyon
- Cüruf Katkısı
- Uçucu Kül Katkısı
- Eski Kamyon Lastiği Katkısı
- Uçucu Kül ve Çimento Katkısı
- Kireç ve Çimento Katkısı'dır.

Bu yöntemlerden, kireç ve çimento katkısı ile zeminlerin stabilizasyonunu amacıyla (Tüdeş, 1996) Doğu Karadeniz bölgesi zeminlerin fiziksel özelliklerini laboratuvar deneyleri ile, mineralojik özelliklerini Differential Thermal Analysis (DTA) ve X ışını (XRD) deneyleri ile belirlemiştir. Seçilen zeminler değişik oranlarda çimento ve kireç ilave edildikten sonra standart bir enerji ile sıkıştırılmış ve kayma direnci parametreleri belirlenmiştir. Çimento ve kireç ilave edilmeyen referans numunelerin kayma direnci değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, kireç ve çimentonun zeminin özellikle %5'i ile %15'i arasındaki katkı oranlarının optimum katkı maddesi oranı olduğu ve katkı oranı artışının her karışımda stabilizasyonu doğrusal olarak arttırmadığını göstermiştir [20].

Kentsel dönüşüm yasasıyla şehir içinde bulunan gece konu alanları, depremde yıkılmış, depremde ağır hasar görmüş vb. nitelikte olan binaların yıkılması ile oluşan inşaat atıklarının çevre kirliliği oluşturmaması yada bu etkinin minimize edilmesine katkı sağlamak amacıyla yapılan bu çalışmada; zemin stabilizasyonunda geri dönüştürülmüş inşaat yıkıntı atıklarının kullanılması deneysel olarak incelenmiş ve analizler yapılarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla, deneysel çalışmalarda doğal zemin numunesi olarak kabul edilen kaolen kiline değişik oranlarda inşaat yıkıntı atığı katılarak, farklı karışımlarda numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde CBR taşıma gücü analizleri yapılarak taşıma gücü zayıf zeminlerin inşaat yıkıntı atıkları ile iyileştirilebilirliği laboratuvar ortamında yapılan deneylerle incelenmiştir.

2. MALZEME VE METOD

2.1. MALZEME

Karışımlarda doğal zemin numunesi olarak kaolen kili kullanılmıştır. Kullanılan kaolen kili ve kireç'in kimyasal içeriği Tablo 1.'de verilmiştir. Deney aşamalarında kullanılan kil, kireç ve inşaat yıkıntı atığının ortalama özgül ağırlık değerleride Tablo 2.'de verilmiştir [21].

Tablo1. Malzemelerin kimyasal bileşimleri

Malzeme	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%TiO ₂	%CaO	%MgO	%Na ₂ O	%K ₂ O	%MnO	%SO ₃	%K.K.
Kaolen kili	45.65	37.63	0.73	0.13	0.3	0.27	0.62	2.4	-	-	11.91
Kireç	0.70	0.40	0.40	0.5	87	4.50	-	-	-	0.80	4

KK: Kayıp oranı

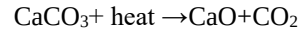
Tablo 2. Malzemelerin özgül ağırlıkları

Malzeme türü	İnşaat Yıkıntı Atığı	Kaolen Kili	Kireç
G _s	2.51	2.58	2.41

2.2. Method

Bu çalışmada, inşaat yıkıntı atıklarının zeminlerin stabilizasyonunda kullanılabileceği deneysel olarak gösterilmiştir. Çalışmada, 8 farklı karışım hazırlanarak inşaat yıkıntı atığının kompaksiyon özellikleri incelenmiş ve kompaksiyon için optimum su muhtevası belirlenmiştir TS1900-1 (2006) [21]. Optimum su muhtevalarında sıkıştırılan bu karışımların taşıma gücü değerlerinin belirlenmesi amacıyla CBR deneyleri yapılarak elde edilen sonuçlar referans numune sonuçları ile karşılaştırılmıştır TS1900-2 (2006) [22]. Diğer taraftan, katkı maddelerinin kür süresine bağlı olarak muhtemel puzolanik aktivitenin ortaya çıkaracağı iyileşmeyi görebilmek amacıyla da numuneler farklı kür sürelerine maruz bırakılmış ve bu numuneler üzerinde de CBR deneyleri yapılarak sonuçlar çok yönlü değerlendirilmiştir.

Çalışmada Kireçtaşı (kalsiyum karbonat) kalsinasyonlarında üretmek için kireç kullanılmaktadır. Bu reaksiyonun kimyasal denklemi;



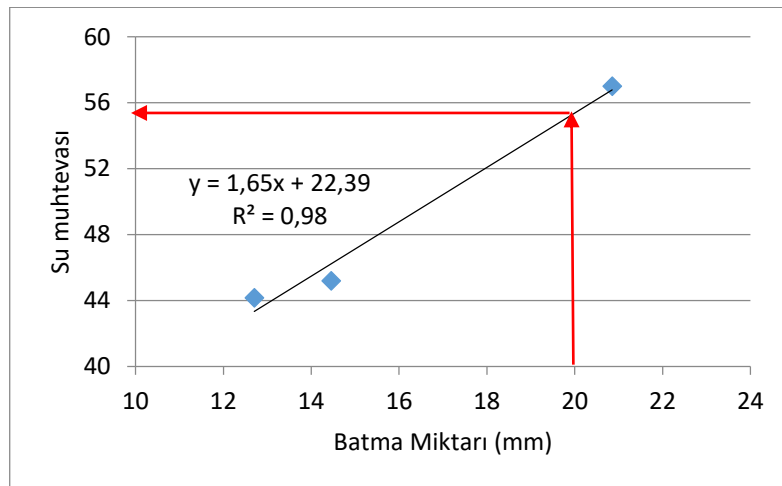
Bu reaksiyonda aşırı sıcaklıktan kaçınılır, aksi halde reaktif olamaya “sönmüş kireç” ortaya çıkar. Çalışmada kullanılan kirecin kimyasal içeriği Tablo 1.'de, özgül ağırlığı Tablo 2.'de verilmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

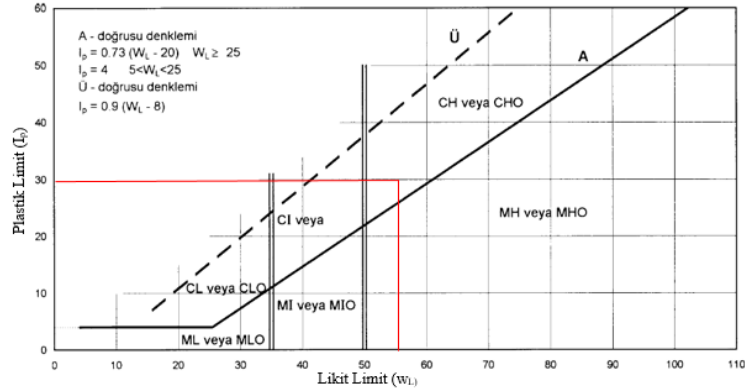
İnşaat yıkıntı atıklarının zemin stabilizasyonunda kullanılabilmesi amacıyla yapılan deneyler TS1500 (2000) [23], ASTM D4318 (2010) [24], TS1900-1 (2006) [21] ve TS1900-2 (2006) [22] standartlarına uygun olarak yapılmış ve elde edilen sonuçlar bu kapsamda değerlendirilmiştir.

3.1. İnşaat Yıkıntı Atığı ve Kaolen Kilinin Özellikleri

Deneylerde kullanılan malzemeler TS1500 (2000) [23] ve ASTM D4318 (2010) [24] göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma deneyleri TS1900-1 (2006) [21] standartlarına göre yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre Kaolen kilinin plastik limiti değeri 25.81, likit limit değeri 55.37 olarak belirlenmiş ve kaolin kilinin yüksek plastisiteli Kil (CH) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1 ve Şekil 2).



Şekil 1. Kaolen kili için Koni Penetrasyon deney sonucu



Şekil 2. Kilin sınıflandırılması.

3.2. Standard Proktor Deneyi

Standart proktor deneyi, bir zemin örneğinin maksimumu kuru birim hacim ağırlığa ulaştığı andaki optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerini deneysel olarak belirleyen bir laboratuvar yöntemidir. [21]. Deney sonucu elde edilen veriler ile kuru birim hacim ağırlık ve su içeriğinin grafiksel ilişkisini ifade eden bir eğri elde edilir. Bu eğrinin tepe noktasına karşılık gelen su muhtevası optimum su içeriği ve birim hacim ağırlık değeride maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri olarak kabul edilir.

Bu çalışmada kompaksiyon deneyleri aşamasında kireç oranı %5 te sabit tutularak inşaat yıkıntı atık oranı değişken olarak belirlenmiştir. Karışımlarda inşaat yıkıntı atığı ağırlık olarak %3, %8, %13, %18 ve %23 oranında artırılarak

oluşturulmuştur. Karışımlardaki bu artış kuru birim hacim ağırlıkta yükselmeye neden olmuştur.

3.3. CBR Deneyleri

Karayolu alt dolgularında kullanılacak sıkıştırma malzemesinin taşıma kapasitesini belirlemek için California Taşıma Gücü (CBR) deneyi TS1900-2'ye (2006) uygun olarak gerçekleştirilmiştir [22]. Bu deney yol yapımında kullanılan ve çeşitli koşulları içeren evrensel bir standarttır. Bu çalışmada, numuneler CBR testi için Standart Proktor deneyinde elde edilen optimum su içeriğinde sıkıştırılmıştır. Daha sonra CBR testi için üç adet numune hazırlanmış ve bu numuneler 1, 7 ve 28 günlük kür işlemine tabi tutulmuştur. Kür işlemi sonrası CBR deneyine tabi tutulan bu numunelere ait dedey sonuçları Tablo 3.de görülmektedir.

Tablo 3. CBR test sonuçları ve numune detayları.

Atık %	Kireç %	Kaolen Kili %	w %	ρ_k kN/m ³	CBR		
					1 gün	7 gün	28 Gün
3	5	92	5	10.67	26.3	28.65	33.13
8	5	87	16	11.35	28.65	29.75	34.25
13	5	82	13	10.68	29.75	32.32	34.68
18	8	77	13	10.68	31.525	32.83	34.93
23	5	72	14	11.12	33.525	34.7	34.95

Tablo 3. incelendiğinde inşaat yıkıntı atığının katkısı ile taşıma gücünde artış olduğu ve kür süresinde buna pozitif katkı yaptığı görülmektedir

4. DENEYSEL SONUÇLARININ ANALİZİ VE MODELLENMESİ

İnşaat yıkıntı atıklarının zeminin iyileştirilmesinde kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla yapılan bu çalışmada farklı kireç, kaolin ve yıkıntı atığı oranlarına göre zeminin CBR değerlerindeki değişimler incelenmiştir. CBR deneylerinin yapılabilmesi için laboratuvar ortamında standart kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Deneyler

sonucunda elde edilen verilerin anlamlılığını ve veriler arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi amacıyla istatistiksel analizler yapılmıştır.

Zeminin iyileştirilmesi için farklı oranlarda inşaat yıkıntı atığı, kireç ve kaolin karıştırılarak deney numuneleri hazırlanmıştır. Bu numuneler üzerinde kompaksiyon deneyleri yapılarak her bir karışımın su muhtevası, kuru birim hacim ağırlıkları ve bu su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlık değerleri için aynı numunelerin birinci, yedinci ve yirmi sekizinci günlerdeki CBR değerleri ölçülmüştür. Deney sonuçlarının birbiri ile ilişkisi olup olmadığı ve ilişki var ise hangi düzeyde ilişkiler olduğunu belirleyebilmek amacıyla korelasyon analizi yapılmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. Korelasyon Değerleri

	Atık	Kireç	Kaolen	Su muht.	Kuru bir.hac. ağır.	1.gün	7.gün	28.gün
Atık	1.00	0.35	-1.00**	0.21	0.18	0.99**	0.98**	0.90**
Kireç	0.35	1.00	-0.35	0.03	-0.03	0.32	0.27	0.40*
Kaolin	-1.00**	-0.35	1.00	-0.21	-0.18	-.99**	-0.98**	-0.90**
Su muhtevası	0.21	0.03	-0.21	1.00	0.79**	0.22	0.20	0.25
Kuru bir.hac. ağır.	0.18	-0.03	-0.18	0.79**	1.00	0.23	0.14	0.34
1.gün	0.99**	0.32	-0.99**	0.22	0.23	1.00	0.97**	0.91**
7.gün	0.98**	0.27	-0.98**	0.20	0.14	0.97**	1.00	0.89**
28.gün	0.90**	0.40*	-0.90**	0.25	0.34	0.91**	0.89**	1.00

** . Korelasyon 0.01 düzeyinde önemlidir. * . Korelasyon 0.05 düzeyinde önemlidir .

Tablo incelendiğinde, atık miktarı ile sırasıyla kireç miktarı, su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlık arasında 0.35, 0.21 ve 0.18 ile pozitif yönde zayıf ilişkiler olduğu buna karşın atık miktarı ile birinci, yedinci ve yirmi sekizinci günlerdeki CBR arasında sırasıyla 0.99, 0.98 ve 0.90 ile pozitif yönde çok yüksek düzeyde ilişkiler olduğu görülmektedir. Kaolin miktarı ile CBR değerleri arasında negatif yönde çok yüksek ilişkiler olduğu buna karşın kireç miktarı ile CBR değerleri arasında ise pozitif yönde zayıf ilişkiler olduğu görülmektedir. Thyagaraj T, Zodinanga [8] yaptığı araştırmada kireç katkısı ile stabilizasyon konusunu incelemiş ve elde ettiği sonuçlara göre bu konuda ki pozitif ilişkiyi çalışmalarında ifade etmişlerdir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnşaat yıkıntı atıklarının zemin iyileştirmede kullanılabilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada, Sakarya da 1999 yılı depremlerinde yıkılan inşaat atıkları ile laboratuvar ortamında CBR deneyleri yapılmıştır. Çalışmada, inşaat yıkıntı atığı, kireç ve kaolin karıştırılarak bu karışımların 1, 7 ve 28 günlük CBR değerleri ölçülmüştür. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda ifade edilmiştir. Bunlar;

- İyileştirilecek zemin örneği olarak şişme potansiyeli en yüksek olan kaolen kili kullanılmıştır.
- Karışımlarda kireç oranı %0 referans, %5 ve %8 seçilirken, inşaat atığı oranı %0 referans ile %23 arasında, kaolin ise %0 referans ve %72 ile %100 arasında seçilmiştir.
- Karışımlarda birinci, yedinci ve yirmi sekizinci gün için en düşük CBR değerleri sırasıyla 26.3, 28.65 ve 33.13 olarak %3 yıkıntı atığı, %5 Kireç ve %92 Kaolin kullanıldığında elde edilmiştir.
- En yüksek CBR değerinin ise 33.52, 34.70 ve 34.95 ile %23 yıkıntı atığı, %5 kireç ve %72 kaolin kullanıldığında elde edilmiştir.
- Kaolen kilinin plastik limiti değeri 25.81, likit limit değeri 55.37 olarak belirlenmiş ve kaolin kilinin yüksek plastisiteli Kil (CH) olduğu tespit edilmiştir.
- En yüksek kuru birim hacim ağırlık değerinin %14 su muhtevasına sahip %23 inşaat atığı, %5 lime ve %72 Kaolin karışımında 11,12 kN/m³olarak elde edilmiştir.

- En yüksek CBR değerlerinin de yine %14 su muhtevasına sahip %23 inşaat atığı, %5 lime ve %72 Kaolin karışımında elde edildiği tespit edilmiştir. Bu karışım için 1. günde CBR değerinin 33.525 olduğu, 7. günde CBR değerinin 34.7 olduğu ve 28. günde CBR değerinin de 34.95 olduğu tespit edilmiştir.
- Atık miktarı ile birinci, yedinci ve yirmi sekizinci günlerdeki CBR arasında sırasıyla 0.99, 0.98 ve 0.90 ile pozitif yönde çok yüksek düzeyde ilişkiler olduğu görülmüştür.
- Kaolin miktarı ile birinci, yedinci ve yirmi sekizinci günlerdeki CBR değerleri arasında -0.99, -0.98, -0.90 ile negatif yönde çok yüksek ilişkiler olduğu görülmüştür.
- Kireç miktarı ile birinci, yedinci ve yirmi sekizinci günlerdeki CBR değerleri arasında 0.32, 0.27 ve 0.40 ile pozitif yönde zayıf ilişkiler olduğu görülmüştür.

Elde edilen tüm sonuçlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde şehir ve çevre kirliliğine neden olan, depremde yıkılan, ağır hasar gören inşaat atıkları ile kentsel dönüşüm kapsamında yıkılan yapılara ait inşaat atıklarının zemin iyileştirmelerinde rahatlıkla kullanılabileceği tespit edilmiştir.

6. REFERENCES

- [1] A. Önalp, İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, Cilt 2, K.T.Ü, Trabzon,1983.
- [2] B. R. P. Kumar and R. S. Sharma, "Effect of Fly Ash on Engineering Properties of Expansive Soils," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 130, no. 7, pp. 764–767, 2004
- [3] A. A. Al-Rawas, A. Hago, and H. Al-Sarmi, "Effect of lime, cement and Sarooj (artificial pozzolan) on the swelling potential of an expansive soil from Oman," *Building and Environment*, vol. 40, no. 5, pp. 681–687, 2005.
- [4] Neeraja D, Rao Narsimha AV, "Use of certain admixtures in the construction of pavement on expansive clayey subgrade", *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, 2(11):6108–6114, 2010.

- [5] L. Yadu and R. Tripathi, "Effects of Granulated Blast Furnace Slag in the Engineering Behaviour of Stabilized Soft Soil," *Procedia Engineering*, vol. 51, pp. 125–131, 2013.
- [6] M. Khemissa and A. Mahamedi, "Cement and lime mixture stabilization of an expansive overconsolidated clay," *Applied Clay Science*, vol. 95, pp. 104–110, 2014.
- [7] V. Ortega-López, J. M. Manso, I. I. Cuesta, and J. J. González, "The long-term accelerated expansion of various ladle-furnace basic slags and their soil-stabilization applications," *Construction and Building Materials*, vol. 68, pp. 455–464, 2014.
- [8] T. Thyagaraj, S. M. Rao, P. S. Suresh, and U. Salini, "Laboratory Studies on Stabilization of an Expansive Soil by Lime Precipitation Technique," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 24, no. 8, pp. 1067–1075, 2012.
- [9] U. Hasan, A. Chegenizadeh, M. A. Budihardjo, and H. Nikraz, "Experimental Evaluation of Construction Waste and Ground Granulated Blast Furnace Slag as Alternative Soil Stabilisers," *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 34, no. 6, pp. 1707–1722, 2016.
- [10] M. H. Al-Malack, G. M. Abdullah, O. S. B. Al-Amoudi, and A. A. Bukhari, "Stabilization of indigenous Saudi Arabian soils using fuel oil flyash," *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, vol. 28, no. 2, pp. 165–173, 2016.
- [11] O. Amu, A. Fajobi, and S. Afekhuai, "Stabilizing Potential Of Cement-Fly Ash Mixture On Expansive Clay Soil," *Journal of Technology and Education in Nigeria*, vol. 12, no. 2, 2008.
- [12] M. J. McCarthy, L. J. Csetenyi, A. Sachdeva, and R. K. Dhir, "Engineering and durability properties of fly ash treated lime-stabilised sulphate-bearing soils," *Engineering Geology*, vol. 174, pp. 139–148, 2014.
- [13] M. Limbachiya, M. S. Meddah, and Y. Ouchagour, "Use of recycled concrete aggregate in fly-ash concrete," *Construction and Building Materials*, 2011.
- [14] Y. Kasai, "The Second International RILEM Symposium on demolition and reuse of concrete and masonry," *Materials and Structures*, vol. 22, no. 4, pp. 312–319, 1989.
- [15] T. C. Hansen, "Recycled aggregates and recycled aggregate concrete second state-of-the-art report developments 1945–1985," *Materials and Structures*, vol. 19, no. 3, pp. 201–246, 1986.
- [16] Khalaf F, DeVenny A, "Recycling of demolished masonry rubble as coarse aggregate in concrete: review", *J. Mater. Civ. Eng.*, 16(4):331–340, doi:10.1061/(ASCE)0899-1561,16:4(331), 2004.
- [17] C.-S. Poon and D. Chan, "The use of recycled aggregate in concrete in Hong Kong," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 50, no. 3, pp. 293–305, 2007.
- [18] M. C. Rao, S. K. Bhattacharyya, and S. V. Barai, "Influence of field recycled coarse aggregate on properties of concrete," *Materials and Structures*, vol. 44, no. 1, pp. 205–220, Jun. 2010.
- [19] <http://www.environment.gov.au/about-us>
- [20] Tüdeş E., "Zeminlerin Kireç ve Çimento Katkısı ile Çözümü", Karadeniz Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 161s, 1996.
- [21] TS 1900-1, "Methods of testing soils for civil engineering purposes in the laboratory part 1:determination of physica properties", *TSI*, Ankara, [in Turkish], 2006.
- [22] TS 1900-2, "Methods of testing soils for civil engineering purposes in the laboratory - Part 2: Determination of mechanical properties", *TSI*, Ankara, [in Turkish], 2006.
- [23] TS 1500, "Classification of Soil For Civil Engineering Purposes", *TSI*, Ankara, pp. 25-57, [in Turkish], 2000.
- [24] ASTM D4318, "Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils", 2008.



Farklı İstatistiksel Dağılımlar ile Deprem Verilerinin Modellenmesi ve Performans Karşılaştırması

*Hayriye Esra Akyüz

Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, Bitlis, Türkiye, heakyuz@beu.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 05.03.2018

Kabul Tarihi: 13.11.2018

Öz

Bu çalışmada, deprem verilerinin modellenmesinde daha önce kullanılmamış olan Nakagami dağılımının performansı, bilinen Genelleştirilmiş uç değer değer, Gumbel, Weibull dağılımları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma kriteri olarak belirleme katsayısı ve hata kareler ortalamasının karekökü ele alınmıştır. Deprem büyüklüğü verileri ayrı ayrı incelenerek her bir yıl için maksimum deprem büyüklükleri elde edilmiş ve blok maksima (yıllık maksimumlar) veri seti belirlenmiştir. Çalışmada uç değer teorisi ile kısa periyotlarda elde edilen veriler göz önünde bulundurularak, uzun periyotlarda deprem olma olasılıkları elde edilmiştir. Deprem verilerine uydurulan dağılımların parametre tahminleri ve bu parametre tahminlerinin varyans-kovaryans matrisleri belirlenmiştir. Belirleme katsayısı ve hata kareler ortalamasının karekökü değerlerine göre, deprem verilerinin modellenmesinde Nakagami dağılımının da bilinen diğer dağılımlar kadar başarılı olduğu görülmüştür. Diğer yandan; Gumbel dağılımının gözlenen deprem verilerine uyumu ortaya çıkarılarak bu dağılıma dayalı tekrarlama seviyeleri tahmin edilmiştir. Böylece, önümüzdeki 10 yıl içinde 5.1 şiddetinde deprem olma olasılığının % 10 olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Deprem şiddeti, uç değer teorisi, Nakagami dağılımı, tekrarlama seviyesi

Modelling and Performance Comparison of Siesmic Data with Different Statistical Distributions

*Hayriye Esra Akyüz

Bitlis Eren University, Faculty of Science and Arts, Department of Statistics, Bitlis, Turkey, heakyuz@beu.edu.tr

Abstract

In this study, the performance of Nakagami distribution which is previously not used in the model of siesmic data is compared with known Generalized extreme value, Gumbel, Weibull distributions. The comparison criterion is the coefficient of determination and root mean square error. The siesmic magnitude data are analyzed separately and maximum siesmic magnitudes are obtained for each year and also block maxima (annual maximums) data set is determined. Considering the data obtained in the short periods with extreme value theory in the study, long-term probability of an earthquake has been obtained. Parameter estimations of the distributions fitted to the siesmic data and the variance-covariance matrices of these parameter estimates were determined. According to the coefficient of determination and root mean square error, it is determined that Nakagami distribution is also as successful as other known distributions in the modelling of siesmic data. On the other hand; the fitting to the observed siesmic data of the Gumbel distribution is revealed and return levels based on this distribution is estimated. Thus, the probability of having an earthquake of 5.1 is determined as 10% in the next 10 years.

Keywords: Siesmic magnitude, extreme value theory, Nakagami distribution, return level

1. GİRİŞ

Ülkemiz deprem riskinin çok yüksek olduğu bir coğrafyada bulunmaktadır. Özellikle son yıllarda yaşanan depremlerin insan ve yerleşim yerlerinde oldukça büyük bir etkisi vardır. Bu durum, deprem verileri üzerinde doğru tahmin yapabilmenin önemini artırmaktadır.

Belirlenen bir zaman aralığında belirli bir büyüklüğün üzerinde deprem olma olasılığının, belli hata payı içerisinde tahmininin doğru yapılabilmesi önem arz etmektedir. Bu tahmin sürecinde genellikle uç değer teorisi kullanılmaktadır. Bu analizlerde maksimum değerler dikkate alınarak istatistiksel modellerden tahminler elde edilmektedir.

Literatürde deprem verilerinin analizi ve modellenmesi ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Bir çalışmada, deprem verileri için lineer regresyon analizi kullanarak, risk tahmini yapılmaya çalışılmıştır [1]. Deprem verileri uç değerler ile analiz edilmiş [2] ve başka bir çalışmada ise maksimum şiddetteki depremlerin oluşumunun istatistiksel tahminini yapılmıştır [3]. Kagan ve Jackson [4], depremlerin olasılıksal tahminlerini incelemişlerdir. Kagan ve Schoenberg [5], genelleştirilmiş pareto dağılımının deprem sayılarını modellemede çok sık kullanıldığını fakat kesme (cutoff) parametre tahminlerinin yanlış olduğunu göstermişlerdir. Bu parametreler için alternatif tahminler sunmuşlardır. Pisarenko ve Sornette [6], deprem büyüklüğünün 8.0 ve daha büyük olması durumunda Gutenberg-Richter (karakteristik deprem dağılımı) dağılımından sapmanın ve istatistiksel tespitinin üzerinde çalışmışlardır. Apostol [7], logaritmik dağılımı kullanarak sismik tahminler için bir model önermiştir. Lombardi ve Marzocchi [8], Dünya çapındaki büyük depremlerin zaman dağılımında durağan poisson süreci kullanmışlardır. Kagan [9], deprem sayılarının modellenmesi için bazı kesikli istatistiksel dağılımlar üzerinde çalışmıştır. Bu dağılımlar; Poisson, geometrik, logaritmik ve negatif binom dağılımlarıdır. Pisarenko vd. [10], maksimum şiddetteki depremlerin dağılımları üzerinde çalışmışlardır. Bu amaçla genelleştirilmiş pareto dağılımı ve genelleştirilmiş uç değer dağılımını kullanmışlardır. Akyol vd. [11], Batı Anadolu Bölgesi'ndeki depremler için büyüklük-frekans ilişkisinin istatistiksel analizini yapmıştır. Toyganözü ve Balcı [12] deprem verilerini uç değer teorisi kullanarak modellemişlerdir. Pisarenko vd. [13], deprem büyüklüklerinin kuyruk dağılımlarının istatistiksel tahmini üzerine çalışmışlardır. Belirli bir t süresinin ardışık zaman aralıklarında meydana gelen maksimum büyüklükler için uç değer teorisini kullanmışlardır. Köle [14], Çankırı ili için tahmini deprem olasılıkları ve dönüş periyotlarını elde etmiştir.

Bu çalışmada deprem verilerinin modellenmesinde daha önce hiç kullanılmayan Nakagami dağılımının performansı çeşitli istatistiksel kriterler ile değerlendirilmiştir. Çalışmada ele alınan diğer dağılımlar ise Genelleştirilmiş uç değer dağılımı, Gumbel ve Weibull dağılımlarıdır.

2. İSTATİSTİKSEL MODELLEME

İstatistiksel modellemenin ana amacı, yığının olasılık yapısı üzerine çıkarımlar yapmak için örnekten elde edilen bilgileri kullanmaktır. n hacimli rasgele örnek $X_1, X_2, \dots, X_n$ olsun. $X_1, X_2, \dots, X_n$ verilerinin olasılık yoğunluk fonksiyonunun bir ailesi, $F = f(X, \theta)$, $\theta \in \Theta$ biçiminde yazılır. θ_0 , θ parametresinin doğru değerini belirtir. Sonuç çıkarımı, θ parametre uzayı içinde θ_0 parametre değerinin tahminine indirgenir. θ parametresi skaler olabilir, tek bir değer alabileceği gibi bir vektör olarak ifade edilebilir.

$X_1, X_2, \dots, X_n$ bağımsız rasgele değişler olmak üzere uç değer teorisi için kullanılacak model aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$M_n = \max X_1, X_2, \dots, X_n \quad (1)$$

M_n , sürecin maksimum değerini gösterir. Eğer n , bir yıldaki gözlemlerin sayısı ise, M_n yıllık maksimumların bir z değerinden küçük olma olasılığı,

$$P(M_n \leq z) = (F(z))^n \quad (2)$$

olarak ifade edilir. F 'nin teorik dağılımının bilinmediği durumlarda, bu dağılım simülasyon yöntemleri ile örnek verilerinden tahmin edilmeye çalışılır [15].

2.1. Genelleştirilmiş Uç Değer Dağılımı

Eğer $a_n > 0$ ve b_n sabitlerinin bir dizisi mevcut ise F dağılım fonksiyonu olmak üzere $n \rightarrow \infty$ iken;

$$P\left\{\frac{M_n - b_n}{a_n} \leq z\right\} \rightarrow F(z) \quad (3)$$

olacak biçimde $F(z)$ aşağıdaki dağılım ailelerinden birine aittir:

$$(i) \quad F(z) = e^{\left\{-e^{\left(\frac{z-b}{a}\right)}\right\}}, \quad -\infty < z < \infty \quad (4)$$

$$(ii) \quad F(z) = \begin{cases} 0 & z \leq b \\ e^{\left\{-\left(\frac{z-b}{a}\right)^{-a}\right\}} & z > b \end{cases} \quad (5)$$

$$(iii) \quad F(z) = \begin{cases} \left\{ -\left[\left(\frac{z-b}{a} \right)^a \right] \right\} & z < b \\ 1 & z \geq b \end{cases} \quad (6)$$

$\frac{M_n - b_n}{a_n}$ yukarıdaki üç dağılım ailelerinden birine yakınsar

[16]. Bu üç dağılım ailesi uç değer dağılımı olarak bilinir. *i*, *ii* ve *iii* ve sırasıyla; *a* ölçek parametresi, *b* konum parametresi ve *a* şekil parametresi ile Gumbel, Frechet ve Weibull dağılım aileleridir [15]. Genelleştirilmiş uç değer dağılımı ise bu üç dağılımın tek bir aile olarak birleştirilmesi ile elde edilir ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$F(z) = e^{\left\{ -\left[1 + \zeta \left(\frac{z-\mu}{\sigma} \right) \right]^{\frac{1}{\zeta}} \right\}}; -\infty < \mu < \infty, -\infty < \zeta < \infty \quad (7)$$

$\zeta = 0$ ile Genelleştirilmiş uç değer dağılımının bir alt kümesi $\zeta \rightarrow 0$ iken Eşitlik 7'nin limiti Gumbel dağılımına yakınsar. Bu dağılımın ortalaması ve varyansı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\hat{\mu} = \begin{cases} \mu + \sigma \frac{\Gamma(1-\zeta) - 1}{\zeta} & \zeta \neq 0, \zeta < 1 \\ \mu + \sigma \gamma & \zeta = 0 \\ \infty & \zeta \geq 1 \end{cases} \quad (8)$$

$$\hat{\sigma} = \begin{cases} \sigma^2 (g_2 - g_1^2) / \zeta^2 & \zeta \neq 0, \zeta < \frac{1}{2} \\ \sigma^2 \frac{\pi^2}{6} & \zeta = 0 \\ \infty & \zeta \geq \frac{1}{2} \end{cases} \quad (9)$$

Burada γ Euler sabiti ve $g_k = \Gamma(1 - k\zeta)$ biçimindedir. $\Gamma(\cdot)$ ise Gamma fonksiyonunu ifade etmektedir.

2.2. Weibull Dağılımı

2- parametrelili Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$f(x) = \left(\frac{k}{c} \right) \left(\frac{x}{c} \right)^{k-1} e^{\left[-\left(\frac{x}{c} \right)^k \right]} \quad (10)$$

Burada $f(x)$ olasılık yoğunluk fonksiyonu, *c* ölçek parametresi *k* ise şekil parametresidir. Kümülatif dağılım fonksiyonu ise

$$F(x) = 1 - e^{\left[-\left(\frac{x}{c} \right)^k \right]} \quad (11)$$

biçiminde elde edilir. Bu dağılımın ortalaması ve varyansı sırasıyla aşağıdaki gibidir.

$$\hat{\mu} = c \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \quad (12)$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{c^2 \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{k} \right) - \left(\Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \right)^2 \right]} \quad (13)$$

Burada $\Gamma(\cdot)$ Gamma fonksiyonunu ifade etmektedir. Bu dağılım sağa çarpık bir dağılımdır [17].

2.3. Nakagami Dağılımı

Nakagami dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$f(x) = \frac{2k^k}{\Gamma(k)c^k} x^{2k-1} e^{\left(-\frac{kx^2}{c} \right)}, x > 0 \quad (14)$$

şeklindedir. Kümülatif dağılım fonksiyonu ise

$$F(x) = \frac{\gamma \left(k, \frac{kx^2}{c} \right)}{\Gamma(k)} \quad (15)$$

olarak ifade edilir. Burada γ Euler sabitidir. Weibull dağılımı gibi sağa çarpık bir dağılımdır. Bu dağılımın ortalaması ve varyansı ise;

$$\hat{\mu} = \frac{\Gamma \left(k + \frac{1}{2} \right)}{\Gamma(k)} \left(\frac{c}{k} \right)^{1/2} \quad (16)$$

$$\hat{\sigma} = c \left(1 - \frac{1}{k} \left(\frac{\Gamma\left(k + \frac{1}{2}\right)}{\Gamma(k)} \right)^2 \right) \quad (17)$$

şeklindedir [17].

2.4. Dağılımların İstatistiksel Analizi

Bu çalışmada verilerin Genelleştirilmiş uç değer, Weibull ve Nakagami dağılımlarına uygunluk gösterip göstermediğini incelemek için Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testi kullanılmıştır. Bu uyum iyiliği testine ait test istatistiği değeri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$KS = \max_{1 \leq i \leq n} (F(x_i) - (i-1)/n, i/n - F(x_i)) \quad (18)$$

En uygun dağılımı belirleyebilmek ve deprem verilerini modelleme için model seçim kriterleri olarak belirleme katsayısı (R^2) ve hata kareler ortalamasının karekökü tercih edilmiştir. Bu istatistiksel değerler

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \left(\hat{F}(X_{(i)}) - \frac{i}{n+1} \right)^2}{\sum_{i=1}^n \left(\hat{F}(X_i) - \bar{\hat{F}}(X_i) \right)^2} \quad (19)$$

ve

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\hat{F}(X_{(i)}) - \frac{i}{n+1} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (20)$$

olarak ifade edilir [18,19]. Burada n örnek hacmi, $\hat{F}$ kümülatif dağılım fonksiyonunun tahminidir ve $\bar{\hat{F}}$ ise aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\bar{\hat{F}} = (1/n) \sum_{i=1}^n \hat{F} \quad (21)$$

R^2 'si büyük, RMSE ve KS test istatistiği değeri küçük olan dağılımlar, verilerin modellenmesinde en uygun dağılım olarak seçilir.

2.5. Tekrarlama Periyotları

n hacimli gözlemlerin blok maksima verisi $M_{n,1}, M_{n,2}, \dots, M_{n,m}$ olsun. Bu değerler yıllık maksimum değerlerdir. Ekstrem değer modelini tekrarlama seviyeleri ve yüzdelikler açısından yorumlamak parametre değerleri açısından yorumlamaktan daha uygundur. Yıllık maksimum dağılımın ekstrem yüzdeliklerinin tahmini aşağıdaki gibidir [15].

$$z_p = \begin{cases} \mu - \frac{\sigma}{\zeta} \left[1 - \{-\log(1-p)\}^{-\zeta} \right], & \zeta \neq 0 \\ \mu - \sigma \log\{-\log(1-p)\}, & \zeta = 0 \end{cases} \quad (22)$$

Burada z_p tekrarlama aralığı $1/p$ olan tekrarlama seviyesidir. z_p seviyesinin her $1/p$ yılda ortalama bir kez aşılması beklenir.

3. VERİ ve YÖNTEM

Bu çalışmada, Bitlis ili merkezli (38Enlem, 42Boylam) 100 km. yarıçaplı bölge için 1907-2016 yılları arasındaki deprem büyüklüğü verileri kullanılmıştır. Bu 100 km. yarıçaplı bölge için bazı il ve ilçelere ait değerler ele alınmıştır. Elde edilen her yıl için veriler ayrı ayrı incelenerek her bir yıl için maksimum deprem büyüklüğü bulunmuştur. Bu bilgi ile yıllık maksimumlar oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan deprem büyüklüğü verileri Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsünün resmi web sitesinde bulunan deprem sorgulama sisteminden elde edilmiştir. Deprem verilerinin analizinde MATLAB'da yazılan program kullanılmıştır. MATLAB'da olasılık dağılımlarını oluşturabilmek için ProbDistUnivParam fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyona bağlı olarak Kolmogorov- Smirnov uyum iyiliği testi değerleri elde edilmiştir. Dağılımlara uydurulan (fitted) eğrilerin çiziminde Distribution Fitting Tool araç kutusu kullanılmıştır. Son olarak programda yazılan kodlar ile parametre tahmin değerleri, belirleme katsayıları ve hata kareler ortalamasının karekökü değerleri elde edilmiştir. Parametre tahminleri en çok olabilirlik yöntemi ile elde edilmiştir. Ayrıca dağılım parametrelerine bağlı olarak ortalama deprem şiddeti tahmin edilmiştir.

4. BULGULAR

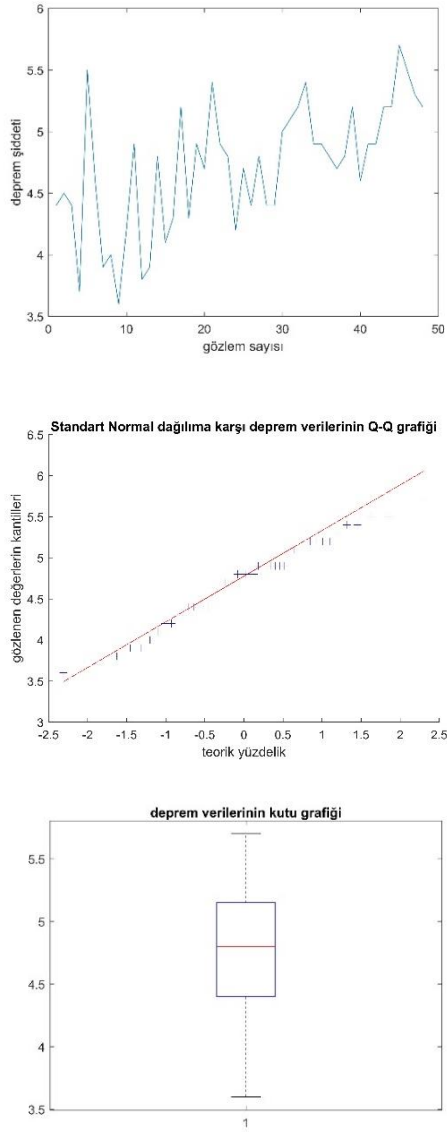
Çalışmada ilk olarak yıllık maksimum deprem verilerine ait tanımlayıcı istatistikler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara Tablo 1'de yer verilmiştir.

Tablo 1. Yıllık maksimum deprem verilerine ait bazı tanımlayıcı istatistikler

Tanımlayıcı istatistikler	Değeri
Örnek hacmi	48
Ortalama	4.7125
Standart sapma	0.5089
Varyans	0.2590
Basıklık	2.4152
Çarpıklık	-0.2928
Minumum değer	3.6000
Maksimum değer	5.7000

Tablo 1 incelendiğinde; 1907- 2016 yılları arasında yıllık maksimum deprem sayısının toplamda 48 olduğu görülmüştür. Ortalama deprem şiddetinin ise 4.7 olduğu belirlenmiştir. Bu yıllar arasında ortaya çıkan minumum

deprem şiddetinin 3.6, maksimum deprem şiddetinin ise 5.7 olduğu elde edilmiştir. Tablo 1'e ait sonuçları destekleyen grafikler Şekil 1'de sunulmuştur.

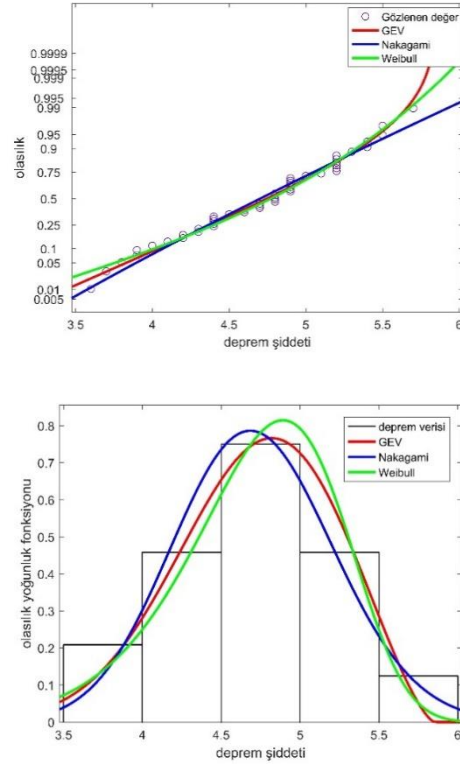


Şekil 1. Deprem şiddetinin dağılımı, Q-Q ve kutu grafiği

Elde edilen yıllık blok maksima deprem verilerinin dağılımı, bu verilerin Q-Q grafiği ve kutu grafiği Şekil 1'deki gibidir. Bu grafikler incelendiğinde yıllık blok maksima verilerinin herhangi bir uç değer içermediği ve ortalama etrafında dağıldığı görülmüştür.

Şekil 2'de yıllık maksimum deprem verilerinin olasılık grafiği (probability plot) ve deprem verilerine uydurulan (fitted) dağılımlara ait grafiğe yer verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde; verilerin deneysel dağılımının kabaca Genelleştirilmiş Uç Değer, Nakagami ve Weibull dağılımlarına uyum gösterdiği anlaşılmıştır.

Deprem verilerine uydurulan dağılımlar hakkında yalnızca grafiksel olarak karar vermek uygun değildir. Yine de bu uygunluk için istatistiksel bir uyum iyiliği testi kullanmak gereklidir. Verilerin bu dağılımlara uygunluk gösterip göstermediğini belirlemek için Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testi kullanılmıştır. Bu teste ait sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Deprem verilerine uydurulan (fitted) dağılımlar

Tablo 2. Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testi sonuçları

	GEV	Nakagami	Weibull
Kritik değer	0.0915	0.1172	0.1045
p-değeri	0.7829	0.4883	0.6330

Tablo 2'ye göre çalışmada kullanılan deprem verilerinin her üç dağılıma da uygunluk gösterdiği belirlenmiştir (p-değeri>0.05).

Tablo 3. Dağılımların karakteristikleri ve ortalama deprem şiddeti tahminleri

	GEV	Weibull	Nakagami
Şekil parametresi	-0.4131	10.8816	21.7336
Ölçek parametresi	0.5307	4.9347	22.4612
Konum parametresi	4.5664	-	-
Ortalama	4.7121	4.7110	4.7121
Standart Sapma	0.5017	0.5233	0.5068
Log-olabilirlik	-34.0616	-34.7094	-35.4400

Tablo 3'de dağılımlara ait parametre tahmin değerleri elde edilmiştir. Buna göre Genelleştirilmiş uç değer dağılımının şekil, ölçek ve konum parametrelerinin tahminlerinin

sırasıyla -0.4131, 0.5307 ve 4.5664 olduğu belirlenmiştir. Benzer biçimde Weibull ve Nakagami dağılımları için de şekil ve ölçek parametre tahminlerine yer verilmiştir. Bu dağılımlara ait ortalama değerler incelendiğinde ortalama deprem şiddetini tahmin etmede her üç dağılımında başarılı olduğu söylenebilir. Fakat Genelleştirilmiş uç değer dağılımı daha düşük standart sapma ile daha tutarlı bir sonuç vermiştir. Log-olabilirlik değeri bakımından ise en düşük değere sahip olması sebebiyle Nakagami dağılımının bu verileri modellemede kullanılabileceği söylenebilir.

Her bir dağılım için parametre tahminlerinin varyans-kovaryans matrisleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir. Genelleştirilmiş uç değer dağılımı için parametre tahminlerinin varyans-kovaryans matrisi;

$$\begin{bmatrix} 0.00821 & -0.00365 & -0.00289 \\ -0.00365 & 0.00379 & -0.00079 \\ -0.00289 & -0.00079 & 0.00699 \end{bmatrix}$$

Weibull dağılımı için parametre tahminlerinin varyans-kovaryans matrisi;

$$\begin{bmatrix} 0.00477 & 0.02699 \\ 0.02699 & 1.49191 \end{bmatrix}$$

Nakagami dağılımı için parametre tahminlerinin varyans-kovaryans matrisi;

$$\begin{bmatrix} 19.3841 & 1.64823e-07 \\ 1.64823e-07 & 0.48361 \end{bmatrix}$$

Tablo 4. Dağılımlar için R² ve RMSE değerleri

	Nakagami	Weibull	GEV	Gumbel
R2	0.9699	0.9566	0.9999	0.9998
RMSE	0.0927	0.1356	0.0021	0.0014

Tablo 4 incelendiğinde Nakagami, Weibull ve Genelleştirilmiş uç değer dağılımlarının deprem verilerini modellemede kullanılabileceği elde edilmiştir. Fakat en yüksek R² ve en düşük RMSE değerlerinin Genelleştirilmiş uç değer dağılımı için ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Genelleştirilmiş uç değer dağılımının parametre tahminleri $\hat{\mu} = 4.5664$, $\hat{\sigma} = 0.5307$ ve $\hat{\xi} = -0.4131$ olarak elde edilmişti (Tablo 3). Şekil parametresinin tahmini olan $\hat{\xi} > -0.5$ olduğundan maksimum olabilirlik tahminleri düzenlidir. Bu, verilerin Gumbel dağılımına (Genelleştirilmiş uç değer dağılımı-Tip I) indirgenerek modellenebileceği anlamına gelir. Gumbel dağılımı için $\hat{\mu} = 4.4541$ ve $\hat{\sigma} = 0.5067$ olarak elde edilmiştir. Deprem verilerinin Gumbel dağılımına uyumunun testinde yani modelin uygunluğunun testinde ise Kolmogorov-

Smirnov uyum iyiliği testine ait p-değeri=0.3936, KS test istatistiği=0.9750 olarak belirlenmiştir.

Tablo 5. Gumbel modeli için tekraralama seviyeleri

Yıl	Deprem şiddeti	Olasılık
2	4.6	% 50
10	5.1	% 10
20	5.9	% 5
100	6.7	% 1

Tablo 5'te, çalışmada ele alınan bölge için gelecekte deprem olma olasılıkları verilmiştir. Önümüzdeki 10 yıl içinde 5.1 şiddetinde deprem olma olasılığının % 10 olduğu belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR

Literatürde deprem verilerinin modellenmesinde en sık kullanılan dağılımlar Genelleştirilmiş uç değer ve Weibull dağılımlarıdır. Bu çalışmada ilk kez Nakagami dağılımının deprem verilerinin modellenmesi için kullanılabileceği ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte yapılan istatistiksel analizler sonucunda, GEV dağılımının diğer dağılımlardan daha yüksek R² ve daha düşük RMSE değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca şekil parametresinin değeri itibarı ile bu verilerin Gumbel dağılımı ile de modellenebileceği görülmüştür.

Sonuç olarak deprem verilerinin modellenmesinde Nakagami dağılımının da bilinen diğer dağılımlar kadar başarılı olduğu söylenir. Bununla birlikte çalışmada elde edilen sonuçlara göre, deprem verilerinin modellenmesinde Nakagami dağılımının Gumbel dağılımına bir alternatif olabileceği ortaya çıkmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] N. Duru, M. Canbay, Veri Madenciliği ile Deprem Verilerinin Analizi, Kocaeli, 2007.
- [2] L. Knopoff, Y. Kagan, "Analysis of the theory of extremes as applied to earthquake problems", J. Geophys. Res., 82(36), 5647-5657, 1977.
- [3] T.M. Yegulalp, J.T. Kuo, "Statistical prediction of the occurrence of maximum magnitude earthquakes", Bull. Seismol. Soc. Amer., 64, 393-414, 1974.
- [4] Y. Y. Kagan, D. D. Jackson, "Probabilistic forecasting of earthquakes", Geophys. J. Int., 143(2):438-453, 2000.
- [5] Y.Y. Kagan, F. Schoenberg, "Estimation of the upper cutoff parameter for the tapered Distribution", J. Appl. Probab. 38A:901-918, 2001.
- [6] V.F. Pisarenko, D.Sornette, "Statistical Detection and Characterization of a Deviation from the Gutenberg-Richter Distribution above Magnitude 8", Pure Appl. Geophys., 161: 839-864, 2004.
- [7] B. F. Apostol, "A model of seismic focus and related statistical distributions of earthquakes", Phys. Letters A, 357(6):462-466, 2006.
- [8] A. M. Lombardi, W. Marzocchi, "Evidence of clustering and nonstationarity in the time distribution of large worldwide earthquakes", J. Geophys. Res., 112:1-15, 2007.

- [9] Y.Y. Kagan, “Statistical distributions of earthquake numbers: consequence of branching process”, *Geophys. J. Int.*, 180(3):1313-1328, 2010.
- [10] V.F. Pisarenko, D. Sornette, M.V. Rodkin, “Distribution of maximum earthquake magnitudes in future time intervals: application to the seismicity of Japan (1923–2007)”, *Earth, Planets Space*, 62(7), 567-578, 2010.
- [11] N. Akyol, F. Palas, P. Sındırgı, “Türkiye batı Anadolu depremleri için büyüklük- frekans ilişkisinin istatistiksel analizi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), 39-54, 2012.
- [12] C. Toyganözü, Ç. Balcı, Ç, “Deprem verilerinin ekstrem değer teorisi ile istatistiksel analizi: göller bölgesi örneği”. *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 15(2), 105-112, 2014.
- [13] V. F. Pisarenko, A. Sornette, D. Sornette, & M.V. Rodkin, “Characterization of the tail of the distribution of earthquake magnitudes by combining the GEV and GPD descriptions of extreme value theory”, *Pure Appl. Geophys.*, 171(8):1599-1624, 2014.
- [14] M. M. Köle, “Çankırı İli için Deprem Olasılık Tahmini”, *Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(1):455-470, 2016.
- [15] S. Coles, *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*, Springer- Verlag, London, 2001.
- [16] R.A. Fisher, L.H.C. Tippett, “Limiting forms of the frequency distributions of the largest or smallest member of a sample”, *Math. Proc. Camb. Phil. Soc.*, 24(2), 180-190, 1928.
- [17] G. Casella, R.L. Berger, *Statistical Inference*, 2nd ed., Duxbury Thomson Learning, USA, 2001.
- [18] Y.M. Kantar, I. Usta, “Analysis of the upper-truncated weibull distribution for wind speed”, *Energ. Convers. Manag.*, 96:81–88, 2015.
- [19] F.G. Akgül, B. Şenoğlu, T. Arslan, “An alternative distribution to Weibull for modeling the wind speed data: inverse weibull distribution”, *Energ. Convers. Manag.*, 114:234-240, 2016.

IMPULS Kriterleri ile Endüstri 4.0 Eğiliminin Değerlendirilmesi: Bir Bulanık Bilişsel Harita Uygulaması

¹Alper Kiraz, ¹Onur Canpolat, ^{*1}Enes Furkan Erkan, ¹Özer Uygun

¹Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü

kiraz , onurcanpolat , eneserkan , ouygun@sakarya.edu.tr 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 03.08.2017

Kabul Tarihi: 31.05.2018

Öz

Küresel rekabet teknolojiye dayalı üretimi bir zorunluluk haline getirdiği için Endüstri 4.0'ın kavramsal ve pratikteki karşılığının doğru anlaşılması büyük önem arz etmektedir. Endüstri 4.0 geleneksel üretim yöntemlerine kıyasla daha esnek, daha verimli ve daha kaliteli bir üretimin gerçekleşmesine imkan sağlayan ve teknolojik gelişmelere dayalı üretim biçimindeki devrimsel gelişmeleri ifade eder. Ancak Endüstri 4.0 ile ilgili çalışmalar konunun anlaşılması açısından henüz yeterli açıklayıcılığa sahip değildir. Firmaların Endüstri 4.0 seviyelerini belirlemeye yönelik literatürde birkaç çalışma olmasına rağmen, gelecekte bu seviyenin nasıl bir seyir izleyeceği konusunda fikir veren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın amacı firmaların Endüstri 4.0 seviyelerini öngöreceği bir model oluşturulmasıdır. Çalışmada IMPULS modeli kriterleri ve Bulanık Bilişsel Haritalama(BBH) yöntemi kullanılarak Endüstri 4.0 seviyesini öngören bir model geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Bulanık Bilişsel Haritalar, Stratejik Yönetim

Assessing Industry 4.0 Tendency with IMPULS Criteria: A Fuzzy Cognitive Map Application

Abstract

The correct understanding of the conceptual and practical content of Industry 4.0 is of great importance since global competition necessitate technology based manufacturing. Industry 4.0 refers to revolutionary developments in the form of production based on technological developments that allow for more flexible, more efficient and higher quality production than conventional production methods. However, Industry 4.0 studies have not yet reached sufficient expositional level in regard to the context. Despite the fact that there are a few studies in the literature on how to determine the Industry 4.0 levels of companies, no study is found about suggesting how this level will change in the future. The aim of this study is to propose a model that will predict the companies' existing and anticipated Industry 4.0 levels. In the study, a model that predicts the Industry 4.0 level was developed using the IMPULS model criteria and the Fuzzy Cognitive Maps method.

Keywords: Industry 4.0, Fuzzy Cognitive Maps, Strategic Management

1.GİRİŞ

Endüstri 4.0, nesnelerin interneti, büyük veri, bulut bilişim, yapay zeka, siber fiziksel sistemler, yenilikçi sensörler, 3D yazıcılar, robot, otomasyon gibi gelişen teknolojiler sayesinde ağ üzerinden birbirine bağlanan insanlar, makineler, ekipmanlar ve veri alışverişine dayanan etkileşimli sistemleri ifade eder. Geleceğin fabrikaları olarak nitelendirilen “insansız” ya da “zeki” fabrikalar oluşturabilmek adına, özellikle imalat teknolojileri başta olmak üzere işletmelerin bütünüyle gözden geçirilmesi ve internet odaklı bilişim sistemlerini günümüz şartlarına uygun

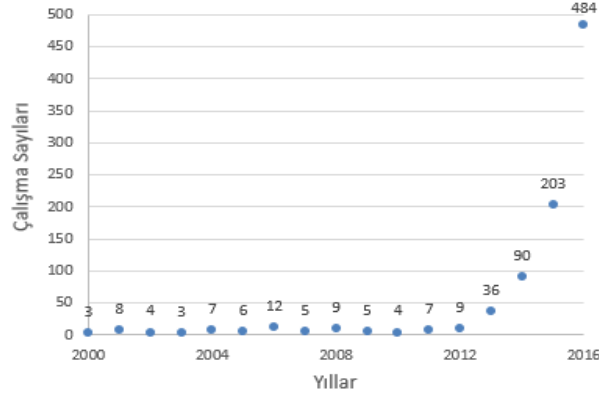
hale getirmesine odaklanan bir kavramdır. Endüstri 4.0 içerisinde bilgi ve iletişim teknolojileri ile gömülü sistemler, internet ve veri hizmetleri, geleceğin çözüm üretme süreçlerinin temel taşlarını oluşturmaktadır [1].

İşletmeler büyümeye devam ettikçe üretim ve tüketim miktarları artış gösterecektir. Bu artışı karşılayabilmek için daha düşük maliyetlere ve daha düşük işgücüne ihtiyaç duyulacaktır. Dolayısıyla, bu ihtiyaçları karşılayabilmek ve rekabet avantajı sağlayabilmek adına işletmelerin iş modelleri değişim gösterecektir. Bu noktada da, temelinde birbirleriyle anlık bağlantı ve iletişim halinde bulunan

*Sorumlu Yazar: Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, eneserkan@sakarya.edu.tr

yapıların sağladığı sürekli akış olan Endüstri 4.0 kavramı öne çıkmaktadır. Endüstri 4.0, esneklik, verimlilik, teknolojik ve kaliteli bir üretim gerçekleştirme hedefleriyle geleneksel üretim yöntemlerinin üzerinde büyük değişimler gerektiren bir olgudur.

Teknolojinin hayatımızdaki öneminin giderek artmasıyla birlikte bir zorunluluk olmaya başlayan teknolojiye dayalı üretim, işletmelere önemli ölçüde rekabet avantajı sağlayacaktır.



Şekil 1. Endüstri 4.0 konusunda yapılan akademik çalışma sayıları (Scopus Veritabanı, 01.08.2017)

Bu nedenle, artık geleneksel fabrika yerini akıllı fabrikaya, niteliksiz işgücü yerini, yüksek eğitim almış ve farklı becerilerle donatılmış vasıflı işgücüne, standart kitlesel üretim yerini ürün farklılaştırmasına ve Ar-Ge'ye, tek bir amaca hizmet eden üretim makineleri yerini, farklı işlevlere sahip ve esnek kullanım imkânı sunan geliştirilebilir akıllı makinalara, kısıtlı ve katı kontrol yerini, otomasyona dayalı sürekli izlenebilir esnek kontrol mekanizmalarına ve kısıtlı bilgiye dayalı üretim kararları yerini büyük veri setlerine dayanan simülasyonlar ve modelleme ile desteklenmiş geniş kapsamlı stratejilere bırakmaktadır. İşletmeler ve hatta ülkeler, bu yeni ve teknolojik dünyada hayatta kalabilmek için kendilerini bir takım değişimlere hazırlamak zorundadırlar. Bu değişimlere ayak uyduramayan dev firmalar, endüstriler ve hatta ülkeler mevcut avantajlı konumlarını yitirmektedirler. Endüstri 4.0 devrimi sonucu yaşanan gelişmelere ayak uyduramayan ülkeler düşük katma değerli üretim, işgücü ve ekosistem kalitesinde düşüş, sanayide işsizlik baskısı, pazar payı kaybı ve küresel

rekabette konumunu kaybetmek gibi bir kısır döngüyle karşı karşıya kalırlar.

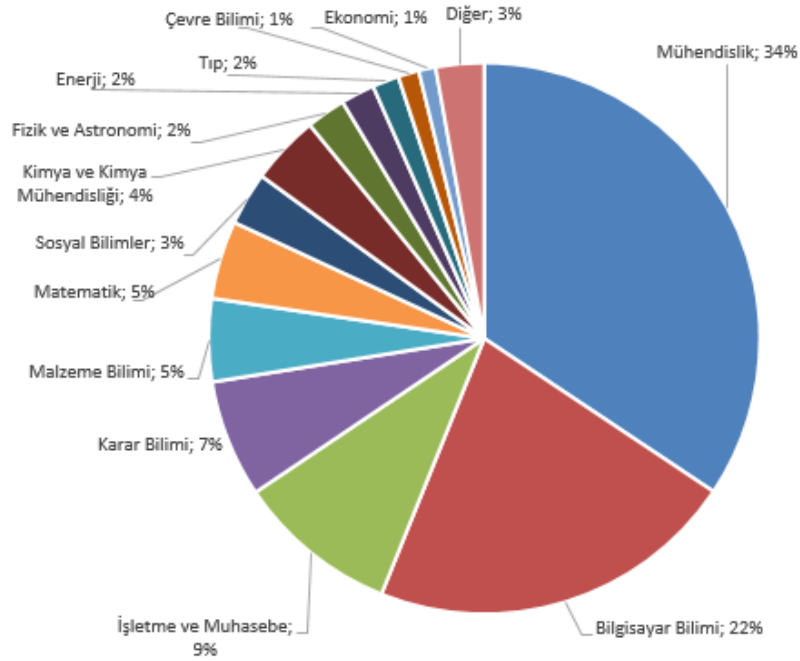
Endüstri 4.0 ile ilgili literatür incelendiğinde kavramın kendisiyle ilgili tam bir uzlaşma oluşmadığı söylenebilir. Bunun en önemli sebeplerinden birisi kavramın çok yakın bir tarihte ortaya çıkmış olmasıdır [2]. Endüstri 4.0, özellikle 2000'li yıllarda ivme kazanmaya başlayan bir kavramdır (Şekil 1).

Endüstri 4.0 kavramının, günümüzde farklı birçok disiplinde hem akademik çalışmalarda hem de sanayi uygulamalarında sıklıkla yer aldığı Şekil 2'de sunulmaktadır.

Kurumların Endüstri 4.0 olgunluk ya da yeterlilik seviyesini belirlemek amacıyla geliştirilmiş modeller Tablo 1'de gösterilmiştir [3].

Tablo 1. Endüstri 4.0 seviyesinin belirlenmesi konusunda var olan modeller

Modelin Adı	Kaynak	Değerlendirme Yaklaşımı
İmalat İşletmelerinin Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli (2016)	[3]	9 ana kriterden ve 62 alt kriterden oluşan bir değerlendirme modeli.
IMPULS (2015)	[4]	6 ana kriterden ve 18 alt kriterden oluşan bir değerlendirme modeli.
Endüstri 4.0 için Güçlenmiş Bir Uygulama Stratejisi (2016)	[5]	Endüstri 4.0 olgunluğunun bir süreç modelinin parçası olarak ele alınması ve hızlı bir şekilde kontrol edilmesi.
Endüstri 4.0 / Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme (2016)	[6]	6 kriter ışığında online öz değerlendirme sistemi.
Bağlantılı Kurumsal Olgunluk Modeli (2014)	[7]	Endüstri 4.0'ı gerçekleştirmek için 4 ana kriter altında 5 aşamalı teknolojiye dayalı bir değerlendirme yaklaşımı.
Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli (2015)	[8]	3 ana kriterden ve 13 alt kriterden oluşan bir değerlendirme modeli.
Endüstri 4.0: Dijital İşletmeyi Kurmak (2016)	[9]	Endüstri 4.0 dijitalliğine ulaşılması için işletmelerin yapması gerekenler.



Şekil 2. Endüstri 4.0 çalışmalarının farklı disiplinlerdeki dağılımının grafiği (Scopus Veritabanı, 01.08.2017)

Endüstri 4.0 şirket, ürün ve hizmet çeşitlerinde devrim yaratacak ve çoğunlukla da yıkıcı yeni iş modellerinin uygulanmasına yol açabilecek bir potansiyele sahiptir. Bu değişikliğin boyutu muhtemelen firmaların ve bunların iş yaptıkları ülkelerin ulusal sınırlarını aşacaktır. Yaptıkları işin tam olarak ne anlama geldiğini anlayan ve kendi rekabetçi konumlarını analiz edebilen firmalar ancak bu değişimleri göğüsleyebilecektir. Dolayısıyla firmalar açısından Endüstri 4.0 seviyelerini belirlemek; öz değerlendirme yaparak uygulayacakları aksiyonlar için ihtiyaçlarını belirleyebilmek, rakipleriyle kendilerini kıyaslayabilmek ve gelecek plan ve stratejilerini doğru belirleyebilmek için büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, firmaların Endüstri 4.0 eğilimlerinin belirlenmesi için yukarıda bahsedilen 7 modelden IMPULS modeli kriterleri kullanılarak bir model önerilmiştir [4]. Önerilen modelde bulanık bilişsel haritalama metodu kullanılmıştır. IMPULS modeli Endüstri 4.0 olgunluk düzeylerinin belirlenmesinde öncü bir model olmakla birlikte, literatürdeki diğer modeller ile kıyaslandığında daha sağlam temellere oturmakta, veri yapısı ve sonuçları hakkında daha açık ve aydınlatıcı bilgiler sunmaktadır. IMPULS modeli “Strateji ve Organizasyon”, “Akıllı Fabrika”, “Akıllı Operasyonlar”, “Akıllı Ürünler”, “Veriye Dayalı Hizmetler” ve “Çalışanlar” olmak üzere 6 ana kriteri esas alarak geliştirilmiştir. Çalışmanın temel hedefi, farklı kriterler açısından firmaların incelenmesi sonucunda Endüstri 4.0’ın neresinde oldukları hakkında bir öngörü sunmaktır.

2.METOT

2.1 Bulanık Bilişsel Haritalar

Bilişsel Haritalar; düğümlerle ifade edilen kavramsal değişkenler ile bu düğümler arasında çizilen ve yer aldığı iki

düğüm arasında nedensel bir ilişki olduğunu gösteren linklerden oluşan yöneltilmiş çizgilerdir [10].

Bulanık Bilişsel Haritalar ise 1986 yılında Bart Kosko tarafından ilk defa önerildiğinde konseptler arasındaki ilişkilerin bulanık olması gerektiğini belirterek bu alandaki gelişmeler başlatılmıştır [11].

Bulanık mantığın bilişsel haritalarda kullanılması bilişsel haritaların farklı alanlara daha kolay adapte edilmesini sağlamıştır. Kavramlar arası ilişkilerin sayısal ifadeler yerine bulanık kümelerle tanımlanması nitel bir model oluşturmada ve uzmanların hassas sayısal ifadelerden kaçınarak uzmanlık alanındaki dili çok daha basit bir şekilde sisteme aktarmasını sağlamaktadır. Metodu ön plana çıkaran özellikler; sistemin denklemler yerine grafiksel olarak temsil edilmesi, sistemin tanımlanmasında günlük konuşma dilinin kullanılmasıdır. Bu özellikler metoda yabancı uzmanların metodu daha kolay ve doğru anlamasını sağlamakta ve metodun farklı alanlara uygulanabilme yeteneğini artırmaktadır [12].

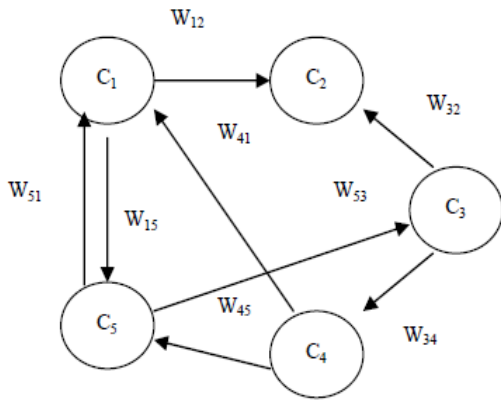
BBH, bulanık mantık ve bilişsel haritaların bir kombinasyonudur. Kompleks sistemler içindeki çoklu faktörler arasındaki nedenselliği belirten bir grafik yapısıdır. BBH, sistemi bir bütün olarak ifade edebilmektedirler. İlgili alandaki bilgi sahibi uzmanlardan görüşleri alınarak sistem haritası oluşturulur. Haritanın kapsamı etkileşimlerin gösterilmesidir. BBH’nın en büyük avantajı eksik bilgi ile çalışabilmesidir. Eğer koşullarda herhangi bir değişiklik olursa bu değişim kolayca sisteme yansıtılabilmektedir [13].

Bulanık Bilişsel Haritalar herhangi bir sistemi üç farklı özellik ile tanımlayabilmektedir;

- Nedensellik, pozitif ya da negatif ilişkileri gösterir.

- Nedensel ilişkilerin gücü, bulanık sayılarla ifade edilir.
- Nedensel ilişkiler dinamiktir. Bir düğümün etkisinin değişmesi diğer düğümleri de etkiler.

İlk özellik, sebep-sonuç ilişkisinin yönünü ve doğasını gösterir. İkinci özellik, bulanık bir sayı ya da sözel bir ifade atama yoluyla sebep-sonuç ilişkisinin gücünü ya da düğümler arasındaki bağlantının derecesini ifade eder. Üçüncü özelliğin sağladığı geribildirim mekanizması yardımıyla tüm düğümlerin dinamik ilişkileri izlenebilir ve böylece geçici ilişkiler de gözden kaçırılmamış olur [10].



Şekil 3. BBH yapısı

Şekil 3’de basit bir BBH yapısı gösterilmektedir. Oklar düğümler arasındaki nedenselliği göstermektedir. Okun ucundaki düğüm etkilenen faktörü göstermektedir. W, sistemdeki her faktör arasındaki ilişkinin ağırlığını göstermektedir. Ağırlık ile ilgili 3 durum olabilmektedir

- $W_{ij} > 0$; C_i ve C_j kavramsal değişkenleri arasında pozitif ilişki olduğunu gösterir, yani C_i düğümündeki artış/azalış C_j düğümünde de artış/azalışa neden olur.
- $W_{ij} < 0$; C_i ve C_j kavramsal değişkenleri arasında negatif ilişki olduğunu gösterir, yani C_i düğümündeki artış/azalış, C_j düğümünde zıt olarak azalış/artışa neden olur.
- $W_{ij} = 0$; C_i ve C_j kavramsal değişkenleri arasında ilişki olmadığını gösterir.

W_{ij} değeri, C_i kavramsal değişkeninin C_j kavramsal değişkenini ne kadar güçlü etkileyeceğini göstermektedir [14].

(Her C_i kavramsal değişkeni için A_i kavramsal değişken değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$A_i^{(k+1)} = f((2 \times A_i^{(k)} - 1) + \sum_{j=1, j \neq i}^N W_{ji} \times A_j^{(k)}) \quad (1)$$

Literatürde kullanımı yaygın olarak görülebilen 2 farklı dönüşüm veya diğer bir isimlendirilişi ile eşik fonksiyonu bulunmaktadır [11]. Bu fonksiyonlar BBH’da değerleri belirli aralıkta sabitlemek için kullanılırlar. Bunlar;

- $[0,1]$ değer aralığında çalışabilen ve λ parametresi ($\lambda > 0$) ile fonksiyon girişindeki değerin çıkışa hangi keskinlik ile verilebileceğinin ayarlanabildiği tek kutuplu sigmoid fonksiyonu:

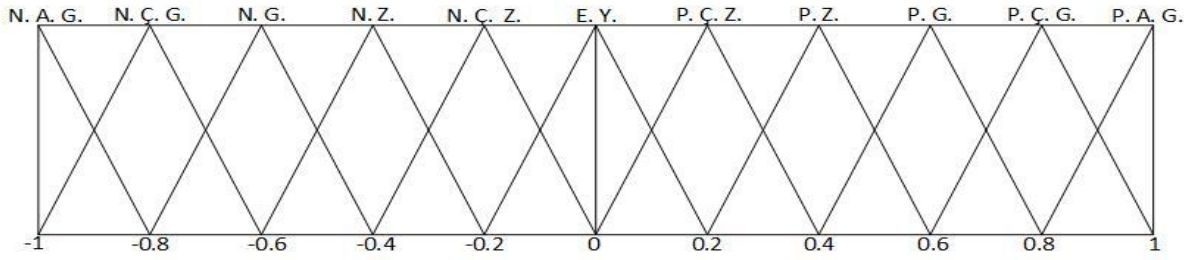
$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}} \quad (2)$$

- Kavramların alacağı değerlerin $[-1,1]$ aralığında olması yani kavram değerlerinin hem pozitif hem de negatif değerler alması istenirse $\tanh(x)$ fonksiyonu kullanılır hiperbolik tanjant fonksiyonu:

$$f(x) = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1} \quad (3)$$

Uzmanlar haritayı çizmeden önce, ilk olarak sistemi oluşturan bileşenleri yani kavramları belirler. Kavramlar karmaşık sistemlerin davranışını, amacını, olayların değerlerini gösterir. Kavram sayısı ve kavram adları uzmanların sistem üzerindeki deneyimlerini kullanması ile belirlenir. Her probleme özgü olarak kavramlar çıktı kavramları ve girdi kavramları olarak nitelenir. Çıktı kavramları, tüm sistemin durumunu yansıtan ana karakteristiği ve sistemin değerlendirildiği durumu temsil eder. Diğer kavramlar ise sistem aktivatörleri ya da sistemin iç kavramları olarak belirlenir [12].

İkinci olarak uzmanlar, kavramların değer olarak alacağı bulanık küme değerlerini ya da tam sayı değerlerini belirler. Uzmanlar sistem hakkında bilgi ve tecrübeye sahiptir ve sistemin elemanları arasındaki etkileşimi bilir. Uzmanlar kavramlar arasındaki nedensel ilişkinin varlığını belirledikten sonra bu etkinin pozitif mi negatif mi olduğunu ve bulanıklık derecesini belirler. Uzmanlar kavramlar arasındaki ilişkileri dilsel ifadelerle belirlemektedirler. Yani kavramlar arasındaki ağırlıklar bulanık yaklaşımı ile ortaya konulmaktadır [12]. BBH’da kavramlar arasındaki ağırlıkların dilsel değişkenlere dönüştürülmesinde bulanık üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır. Üyelik fonksiyonlarında, üçgensel ifadeler olabileceği gibi trapez, eğrisel vb. gibi fonksiyonlar da kullanılabilir. Kurulacak modelin hassasiyetine bağlı olarak üyelik fonksiyonlarındaki adımlarda daha küçük aralıklar kullanılabilmektedir [14]. Bu çalışmada, Endüstri 4.0 eğilimini değerlendirmek için dilsel değişkenler ile değerlendirme yapısına uyumlu BBH kullanılmıştır. İlgili alandaki her uzman kendi görüşünü şekil 4’teki dilsel değişkenler ile belirtmiştir. Bu çalışmada onbir üyelik fonksiyonunu temsil eden dilsel değişkenler kullanılmıştır. Dilsel değişkenler üçgensel üyelik fonksiyonları ile bulanıklaştırılmış olup, bulanıklaştırılan değerler “Negatif Aşırı Güçlü(NAG), Negatif Çok Güçlü (NÇG), Negatif Güçlü (NG), Negatif Zayıf (NZ), Negatif Çok Zayıf (NÇZ), Etkisi Yok(EY), Pozitif Çok Zayıf (PÇZ), Pozitif Zayıf (PZ), Pozitif Güçlü (PG), Pozitif Çok Güçlü (PÇG), Pozitif Aşırı Güçlü(PAG)” şeklinde dilsel ifadelere dönüştürülmüştür.



Şekil 4. Dilsel değişkenlerin yapısı

2.2 BBH Çıkarım Algoritması

Sistem yapısı oluşturulduktan sonra, BBH algoritması aşağıdaki gibi çalıştırılır;

Adım 1: Mevcut sistem durumunu gösteren $A^{(k)}$ vektörü tanımlanır.

Adım 2: (1) ve (2) formülleri uygulanarak $A^{(k+1)}$ elde edilir.

Adım 3: Elde edilen $A^{(k+1)}$, bir sonraki iterasyonun yeni $A^{(k)}$ vektörüdür.

Adım 4: Adım 2 ve 3 $A^{(k+1)} - A^{(k)} < 0,001$ eşitliği sağlanana kadar tekrar edilir.

Her $A^{(k+1)}$ daha önceden uzmanlar tarafından tanımlanmış

olan $(k+1)$ zamanındaki sistemin durumunu göstermektedir.

3. UYGULAMA

Endüstri 4.0 seviyesinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada firmalar için geleceğe yönelik öngörü amacıyla bulanık bilişsel haritalama yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla ilk olarak Endüstri 4.0 seviyesinin belirlenmesinde kullanılacak kriterler tespit edilmiştir. Kriterlerin tespit edilmesi aşamasında literatür taraması yapılmış ve ilgili kaynaklardan en geniş kapsamlı ve bilimsel anlamda en sağlam temele oturan çalışma olan (IMPULS Industrie 4.0 Readiness)'tan yararlanılmıştır.

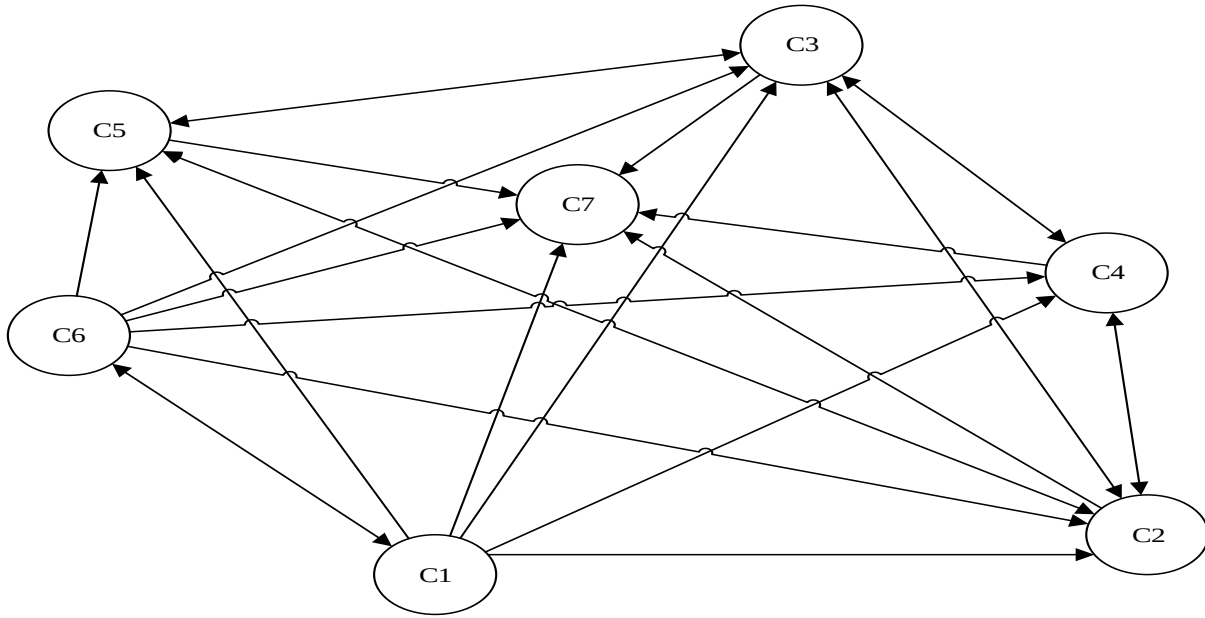
Tablo 2. Endüstri 4.0 eğilimi değerlendirme modeli konseptleri

Notasyon	Kriter İsmi	Açıklama
C1	Strateji ve Organizasyon	Endüstri 4.0 dönüşümünün gerçekleştirilmesi firmaların stratejileri ve organizasyon yapılarına bağlıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilecek yatırım faaliyetleri ile geliştirilecek ya da eklenecek teknoloji ve inovasyonlar hakkında alınacak kararlar için firmaların Endüstri 4.0 stratejisi geliştirmesi gerekmektedir. Firmaların mevcut organizasyon yapıları da bu stratejiyle uyumlu olmalıdır.
C2	Akıllı Fabrika	Üretim ve lojistik sistemlerinin büyük oranda insan müdahalesi olmadan kendini organize ettiği siber fiziksel sistemlere dayanan bir üretim ortamıdır. Firmaların Endüstri 4.0 ile ilişkili ekipman altyapısı, veri toplama ve kullanımı ile dijital modelleme faaliyetleri ve bilgi teknolojileri sistemleri akıllı fabrika sistemleri kapsamında değerlendirilir.
C3	Akıllı İşlemler	Kendini kontrol eden iş parçasını gerçekleştirmek için gerekli üretim ve üretim planlamasındaki teknik gereklilikler akıllı işlemler olarak bilinir. Firmaların bilgi paylaşımı ve bulut kullanımı faaliyetleri, bilgi teknolojilerinin güvenliği ile kullandıkları kendi kendine karar verebilen özerk süreçler akıllı işlemler kapsamında değerlendirilir.
C4	Akıllı Ürünler	RFID, sensör ve iletişim arabirimi gibi bilgi ve iletişim teknolojileri kullanarak kendisi ve çevresindeki durumlar hakkında veri toplarlar. Bu sayede ürünlerin durumunun izlenmesi ve ürünlerin optimize edilmesi mümkün hale gelir. Kendi kendini raporlama, entegrasyon, lokasyon belirleme, otomatik kimlik tespiti ve izleme gibi fonksiyonları içeren ürünlerin akıllı ürünler kapsamında değerlendirilir.
C5	Veriye Dayalı Hizmetler	Geleneksel anlayıştan farklı olarak firmaların ürettikleri ürünler için satış sonrası da geniş kapsamlı hizmetler sunması anlayışına dayanır. Bu amaçlar başta akıllı ürünlerin kendisi olmak üzere çeşitli kaynaklardan elde edilecek veriler hem ürünlerin geliştirilmesine hem de bu ürünlere ilişkin ek hizmetler sunulmasına imkan tanır.

C6	Çalışanlar	Firmaların Endüstri 4.0 hedefini yakalaması açısından gereken faktörlerden biridir. Firmaların gerçekleştirmesi gereken dönüşüm kapsamında çalışanların yeni beceriler ve nitelikler kazanmaları gerekmektedir. Bu amaçla yerinde uygulama ve sürekli eğitim faaliyetleri gerçekleştirilmelidir.
C7	Endüstri 4.0 Eğilimi	Kendisini etkileyen bütün kriterlerin sonucunda değişiminin analiz edileceği çıktı konseptidir.

Çıktı kriteri olarak Endüstri 4.0 eğilimi belirlenmiştir. Çıktı kriteri herhangi bir kriteri etkilemediği gibi sadece diğer kriterlerden etkilenmektedir. Giriş kriterleri ise etkilenmeye ve etkilemeye açık olan kriterlerdir. Kriterlerin birbirleri

arasındaki ilişki matrisi alanında uzman üç akademisyenin fikir birliği ile belirlenmiştir. Kriterler arası ilişki haritası Şekil 5'te sunulmaktadır.



Endüstri 4.0 ilişki haritası

Şekil 5.

İkinci aşamada kriterler arasındaki ağırlıklar belirlenmiştir. Uzmanlar kriterler arasındaki ilişkileri dilsel ifadelerle belirlemektedirler.

Dilsel değişkenlerin atanması ile kavramlar arasında bulunan etkiler uzman görüşlerinin değerlendirmeleri sonucunda ortaya konulmaktadır. Bu uygulamada kavramlar arasındaki ağırlıkların dilsel değişkenlere dönüştürülmesinde onbir değerli bulanık üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Dilsel değişkenler $[-1,1]$ aralığında değerler almıştır.

Kriterler arası ilişki haritası belirlendikten sonra aynı uzmanlar bireysel ve bağımsız olarak bu kriterlerin birbirleri arasındaki etkilerini dilsel değişkenler kullanarak If-Then kuralları ile belirtmiştir.

Birinci uzman "Strateji ve organizasyon" (C1) kriterindeki küçük bir değişim, kuruluşun "Endüstri 4.0 eğilimi"nde (C7) çok büyük ölçüde olumlu etkisi olduğunu belirtmiştir. Bu yorumdan strateji ve organizasyonun kurumsallaşma eğilimi üzerinde pozitif çok güçlü etkisi olduğu belirlenmiştir.

Örneğin 2. uzman "Strateji ve organizasyon" (C1) kriterindeki küçük bir değişim, kuruluşun "Endüstri 4.0 eğilimi"nde (C7) büyük ölçüde olumlu etkisi olduğunu belirtmiştir. Bu yorumdan Strateji ve Organizasyonun, Endüstri 4.0 eğiliminin üzerinde pozitif güçlü etkisi olduğu belirlenmiştir.

Örneğin 3. uzman "Strateji ve organizasyon" (C1) kriterindeki küçük bir değişim, kuruluşun "Endüstri 4.0 eğilimi"nde (C7) çok büyük ölçüde olumlu

etkisi olduğunu belirtmiştir. Bu yorumdan Strateji ve Organizasyonun Endüstri 4.0 eğiliminin üzerinde pozitif çok güçlü etkisi olduğu belirlenmiştir.

Uzmanların belirtmiş olduğu kurallardan hareketle kriterler arası etki matrisleri dilsel değişkenler kullanılarak Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5'de sunulmaktadır. Endüstri 4.0 eğilimi burada çıktı kriteri olarak düşünüldüğünden diğer kriterler üzerinde etkisi olmadığı varsayılmıştır. Uzman görüşlerinin hepsi eşit katkı değerine sahiptirler. Tüm uzman görüşlerine karşılık gelen üçgenel fonksiyonlar eşit katkılarla toplanır.

Daha sonra ağırlık merkezi yöntemiyle ortak bir ağırlık bulunur. Şekil 6'da kriter etkilerinin, uzman görüşlerine dayanarak ağırlık merkezi yöntemi ile hesaplanmasına ait bir gösterim sunulmaktadır.

Şekil 6'da görüldüğü üzere bulanık kural tabanında belirlenen uzman görüşlerine karşılık gelen üçgensel üyelik fonksiyonları bulanık toplam operatörü ile toplanmıştır. Sistemdeki kavramsal değişkenlerden C1'den C3'e olan etki

bulanık mantıkta kullanılan durulaştırma yöntemlerinden ağırlık merkezi metodu kullanılarak elde edilmiştir.

Uzman görüşlerindeki bu dilsel ifadeler Tablo 6'te sunulan dilsel değişkenlerin üçgensel bulanık değerleri karşılıklarından hareketle sayısallaştırılmış ve ağırlık merkezi metodu kullanılarak aşağıdaki etkileşim ağırlıkları matrisi elde edilmiştir

Tablo 3. Birinci uzmanın değerlendirmeleri

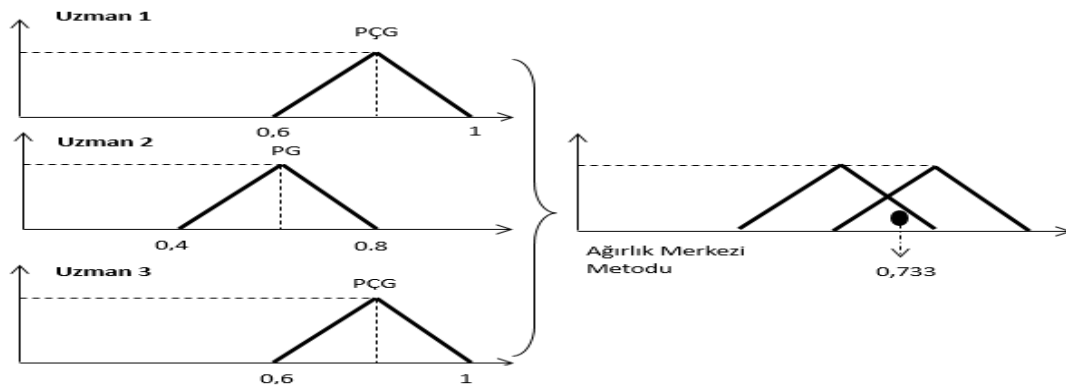
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	EY	PÇG	PÇG	PÇG	PÇG	PÇG	PÇG
C2	EY	EY	PG	PG	PG	EY	PG
C3	EY	PG	EY	PZ	PG	EY	PÇZ
C4	EY	PÇZ	PZ	EY	EY	EY	PG
C5	EY	PZ	PG	EY	EY	EY	PÇZ
C6	PZ	PÇZ	PG	PZ	PZ	EY	PZ
C7	EY	EY	EY	EY	EY	EY	EY

Tablo 4. İkinci uzmanın değerlendirmeleri

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	EY	PÇG	PG	PG	PG	PG	PG
C2	EY	EY	PG	PG	PG	EY	PG
C3	EY	PZ	EY	PÇZ	PG	EY	PÇZ
C4	EY	PÇZ	PZ	EY	EY	EY	PG
C5	EY	PZ	PZ	EY	EY	EY	PÇZ
C6	PG	PZ	PG	PZ	PZ	EY	PZ
C7	EY	EY	EY	EY	EY	EY	EY

Tablo 5. Üçüncü uzmanın değerlendirmeleri

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	EY	PÇG	PÇG	PÇG	PÇG	PÇG	PÇG
C2	EY	EY	PG	PG	PG	EY	PÇG
C3	EY	PG	EY	PZ	PZ	EY	PZ
C4	EY	PÇZ	PÇZ	EY	EY	EY	PZ
C5	EY	PZ	PG	EY	EY	EY	PZ
C6	PG	PÇZ	PG	PZ	PZ	EY	PG
C7	EY	EY	EY	EY	EY	EY	EY



Şekil 6. Ağırlık merkezi yöntemiyle dilsel değişkenlerin sayısal değere dönüşümü

Tablo 6. Ağırlık matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0	0,800	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733
C2	0	0	0,600	0,600	0,600	0	0,667
C3	0	0,533	0	0,333	0,533	0	0,267
C4	0	0,200	0,333	0	0	0	0,533
C5	0	0,400	0,533	0	0	0	0,267
C6	0,533	0,267	0,600	0,400	0,400	0	0,467
C7	0	0	0	0	0	0	0

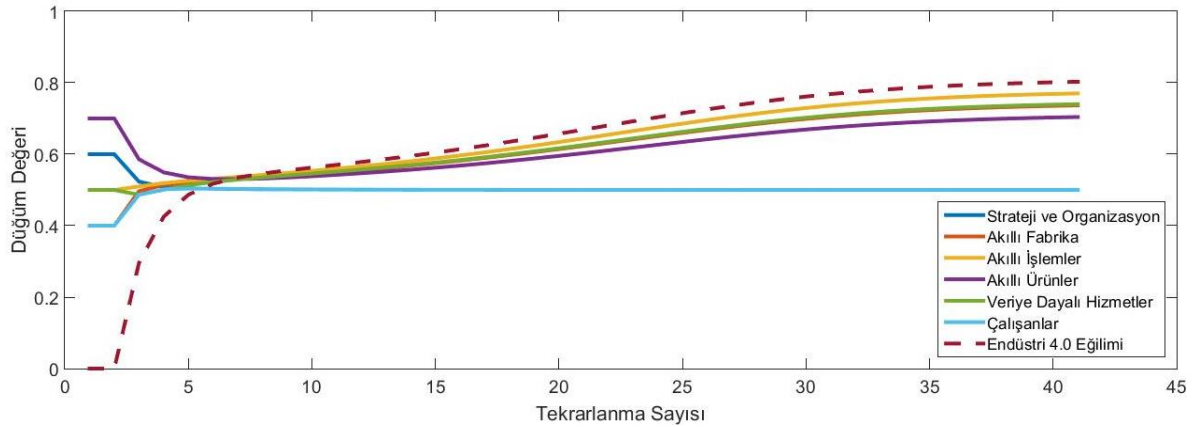
Bu etki matrisi göz önünde bulundurularak MATLAB'ta yazılan algoritma ile Bulanık Bilişsel Haritalar tekniği uygulanmış olup uzmanların oluşturduğu üç farklı senaryo ile Endüstri 4.0 eğilimi kriterine diğer kriterlerin etkisi ve sistemlerin durumları analiz edilmiştir. Endüstri 4.0 kriterine etkilerin daha iyi analiz edilebilmesi için bütün senaryolarda bu kriter 0 olarak alınmıştır. Birinci senaryo orta düzeyde iyi yönetilen bir organizasyon olarak düşünülmüştür. İkinci senaryoda strateji ve organizasyonun öneminin vurgulanması için birinci senaryonun aksine strateji ve organizasyon kriteri 0 olarak başlangıç vektörüne verilmiştir. Üçüncü senaryo ise bütün süreçleri ile çok kötü bir yönetime sahip bir organizasyon olarak düşünülmüştür.

Senaryo 1: Uzmanların değerlendirmesi sonucunda strateji ve organizasyonun ve akıllı ürünlerin ortalamasının üzerinde sırasıyla 0,6 ve 0,7 değerleri alarak iyi yönetildiği

düşünülmüştür. Bu senaryoda kriterler için orta düzeyde iyi yönetimin olduğu varsayıldığından değerler 0,5 ve 0,4 olarak ele alınmıştır. Birinci senaryoya ait A başlangıç vektörü aşağıdaki gibidir:

$$A_{(1)}^{Başlangıç}=[0,6 \ 0,4 \ 0,5 \ 0,7 \ 0,5 \ 0,4 \ 0]$$

Denklem (1) ve (2) uygulandıktan sonra birinci senaryo için elde edilen grafik şekil 7'deki gibidir. Endüstri 4.0 modeli kriterleri ile orta düzeyde iyi olduğu varsayılan bu senaryoda, grafik incelendiğinde kriterlerin Endüstri 4.0 eğilimini gelecekte iyi bir noktaya götürdüğü görülmektedir. Strateji ve Organizasyon (C1) ve Çalışanlar (C6) kriterleri incelendiğinde uzun dönemde 0.5 değerine sabitlendiği görülmektedir. Endüstri 4.0 eğiliminin ise diğer kriterlerin etkisiyle iyi seviyelere çıktığı görülmektedir.

**Şekil 7.** Senaryo 1'in Endüstri 4.0 modeli grafiği

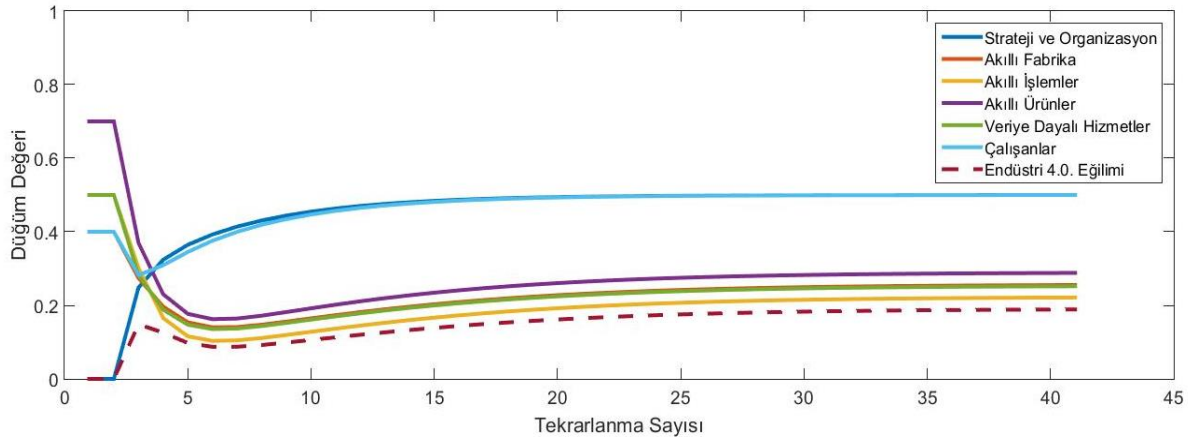
Senaryo 2: Bu senaryoda Senaryo 1'den farklı olarak strateji ve organizasyon (C1) kriteri 0 olarak düşünülmüştür. Endüstri 4.0 eğiliminin strateji ve organizasyon yapısıyla ilişkisinin görülmesi amaçlanan senaryoda diğer kriterlerin ise Senaryo 1'deki gibi orta seviyede iyi olarak yönetildiği varsayılmıştır. İkinci senaryoya ait A başlangıç vektörü aşağıdaki gibidir:

$$A_{(2)}^{Başlangıç}=[0 \ 0,4 \ 0,5 \ 0,7 \ 0,5 \ 0,4 \ 0]$$

A vektörü Denklem (1) ve (2)'ye sırasıyla verildikten sonra Şekil 8'deki grafik elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde Endüstri 4.0 eğiliminin düşük seviyede kaldığı görülmüştür.

Bunun nedeni strateji ve organizasyonun Endüstri 4.0 için önemli bir kriter olması ve başlangıç durumunda çok kötü değer olarak alınmasıdır.

Diğer kriterlerin orta düzeyde olması Senaryo 1'deki gibi Endüstri 4.0'ı başarıya götüremeyecektir. Strateji ve organizasyon yapısı düşük olan bir organizasyon, diğer süreçlerini iyi yönetemeyecektir. Bu senaryoda göz önünde bulundurulması gereken durum, teknoloji seviyesi iyi tabir edilebilecek bir organizasyona sahip olursa bile Endüstri 4.0'ı strateji ve organizasyonuna işleyemeyen kuruluş bu konuda başarısız olup istenilen seviyeyi yakalayamayacaktır.



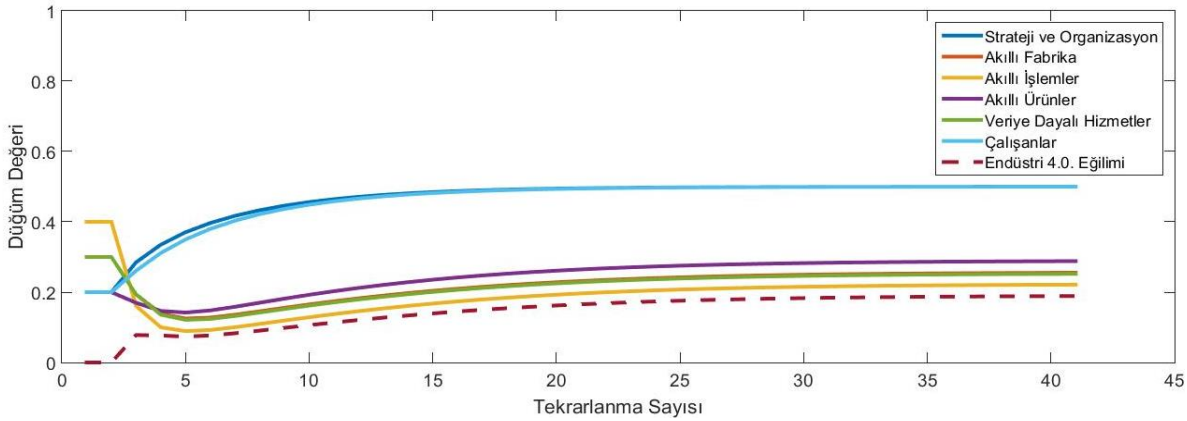
Şekil 8. Senaryo 2'nin Endüstri 4.0 modeli grafiği

Senaryo 3: Bu senaryoda organizasyonda Endüstri 4.0 modelinde yer alan bütün kriterlerinin kötü yönetildiği varsayılmıştır. Diğer iki senaryoya göre en kötü durum bu senaryodur. Organizasyon hiçbir sürecini Endüstri 4.0 yolunda ilerleyen bir organizasyon gibi yönetememektedir. 3. senaryoya ait A matrisi aşağıdaki gibidir.

$$A_{(3)}^{Başlangıç} = [0,2 \ 0,3 \ 0,4 \ 0,2 \ 0,3 \ 0,2 \ 0]$$

Bu değerler algoritmaya girildikten sonra aşağıdaki Şekil 9'daki grafik elde edilmiştir. Bu senaryoda elde edilen sonuçlara göre Endüstri 4.0 eğilimi diğer iki senaryonun gerisinde kalmaktadır.

Kriterlerin kötü yönetimi, mevcut konumda kötü durumdadır. Gelecekte öngörülen durumda gözlenen artış, bugünkü artan rekabet koşullarında yeterli gözükmemektedir. C1 ve C6 kriterleri başlangıçta diğer kriterlerin az miktar iyi durumda olmasıyla bir seviyeye kadar iyileşmiş fakat yeterli düzeye ulaşamamıştır.



Şekil 9. 3. Senaryonun Endüstri 4.0 modeli grafiği

4. ANALİZ

Bu çalışmada, Endüstri 4.0 yolunda en önemli kriterlerin belirlenmesi için DEMATEL yönteminde kullanılan etkileyen ve etkilenen kriterlerin belirlenmesi yaklaşımı bir yenilik olarak BBH yöntemine uyarlanmıştır.

Bu çalışmada kriterlerin önem derecelerinin tespiti, çalışmanın statik analiz kısmını oluşturmaktadır.

Senaryoların incelenmesi ise çalışmanın dinamik analiz kısmını oluşturmaktadır. DEMATEL yöntemindeki analiz kısmının kullanılmasının nedeni, yöntemin statik analiz ile uyumluluğu ve modeldeki etkileyen/etkilenen kriterlerin tespitinin yapılabilmesidir.

Tablo 7'de uzmanların dilsel değişkenler ile belirlediği ve daha sonra ağırlık merkezi yöntemi ile sayısallaştırılan ağırlıklar üzerinden hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 7. İlişki matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	D	D+R	D-R
C1	0	0,80	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	4,46	4,99	3,93
C2	0	0	0,60	0,60	0,60	0	0,66	2,46	4,66	0,26
C3	0	0,53	0	0,33	0,53	0	0,26	1,66	4,46	-1,13
C4	0	0,20	0,33	0	0	0	0,53	1,06	3,13	-1,00
C5	0	0,40	0,53	0	0	0	0,26	1,20	3,46	-1,06
C6	0,53	0,26	0,60	0,40	0,40	0	0,46	2,66	3,40	1,93
C7	0	0	0	0	0	0	0	0	2,93	-2,93
R	0,53	2,20	2,79	2,06	2,26	0,73	2,93			

Satırlar toplamı (D), bir kriterin diğer tüm kriterlere yaptığı toplam etkiyi göstermektedir. Sütunlar toplamı (R), bir kriterin diğer tüm kriterlerden aldığı toplam etkiyi ifade etmektedir. (D+R), kriterin önem derecesini göstermektedir. Tabloya bakıldığında en büyük (D+R) değerine sahip kriter Strateji ve Organizasyon (C1) kriteridir. Endüstri 4.0 yolunda iyileşme sağlamak isteyen organizasyonlar öncelikle strateji ve organizasyon yapısına önem vermelidir. Bu kriter başarıyla yönetilmeden Endüstri 4.0 açısından tam olarak başarı sağlanamayacaktır. (D-R), değerleri bir kriterin etki alan mı yoksa etki veren grupta mı yer aldığını belirtmektedir. C1, C2 ve C6 kriterleri pozitif değer aldığından bu kriterler etki eden grubu oluşturmuştur. C1 değeri en yüksek (D-R)'ye sahip olduğundan modeldeki en fazla etki eden kriterdir. Negatif değere sahip olan C3, C4, C5 ve C7 kriterleri ise en fazla etkilenen kriter grubunu oluşturmaktadır. Endüstri 4.0 Eğilimi (C7) modeldeki çıktı kriteri olduğu için en negatif değere sahiptir.

5. SONUÇ

Kurumlar kendilerini değişken koşullar altında sürekli güncel tutarak rekabette öne çıkabilmek için yoğun çaba sarf etmektedirler. Bunu gerçekleştirebilmek için ise kendi stratejilerini doğru belirlemeleri ve hayata geçirmeleri gerekmektedir. Değişimin son derece hızlı olduğu bir durumda firmaların kendilerini farklılaştıracak, yenileyecek ve bunun sonucunda daha tercih edilir bir işletme olmalarını sağlayacak kısa ya da uzun vadeli stratejiler ortaya koyabilmeleri için öncelikle mevcut durumlarını bilmeleri ve kurumu doğruan etkileyen belli kriterlerin gelecekte gerekmedir. Bu çalışmada, kurumların halihazırda Endüstri 4.0'ın neresinde olduklarının tespit edilmesi ve gelecekteki Endüstri 4.0 seviyeleri konusunda öngörü sağlanması amaçlanmıştır. Çalışmada IMPULS modeli kriterleri göz önünde bulundurularak bulanık bilişsel haritalama yöntemi ile Endüstri 4.0 seviyesini öngören bir model oluşturulmuştur. Model üç farklı senaryo ile çalıştırılmış ve Endüstri 4.0'a etki eden kriterler yapılan analizlerle yorumlanmıştır. Endüstri 4.0 seviyesine en çok etki eden kriterin Strateji ve Organizasyon olduğu belirlenmiştir. Bulanık bilişsel haritalama yöntemi kullanılarak Endüstri 4.0 seviyesinin tespit edilmesi ve geliştirilen modelin gelecekteki Endüstri 4.0 seviyeleri hakkında bilgi vermesi ve öngörü sunması, çalışmanın literatüre kazandırdığı önemli katkılardır.

6. KAYNAKÇA

- [1] M. Blachet, T. Rinn, G. V. Thaden, And G. Thieulloy, "Industrial 4.0: The New Industrial Revolution: How Europe Will Succeed," pp. 24, 2014.
- [2] M. Hermann, T. Pentek, And B. Otto, "Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios," 2016, pp. 3928–3937.
- [3] A. Schumacher, S. Erol, And W. Sihn, "A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity Of Manufacturing Enterprises," Procedia CIRP, Vol. 52, pp. 161–166, Jan. 2016.
- [4] K. Lichtblau, V. Stich, R. Bertenrath, M. Blum, M. Bleider, A. Millack, K. Schmitt, E. Schmitz, and M. Schröter, "IMPULS - Industrie 4.0- Readiness," Impuls-Stiftung des VDMA, Aachen-Köln, 2015.
- [5] "Befähigungs Und Einführungsstrategien Für Industrie 4 0 Vorstellung - Technische Informationsbibliothek", 2016.
- [6] PricewaterhouseCoopers, "The Industry 4.0: Digital Operations Self Assessment," 2016.
- [7] Rockwell Automation, "The Connected Enterprise Maturity Model," Rockwell Automation, 2014.
- [8] "Institut Für Intelligente Produktion," Fh - Oberösterreich, 2015.
- [9] "Industry 4.0: Building The Digital Enterprise," Pricewaterhousecoopers, 2016.
- [10] U. Asan, A. C. Kutlu, and C. Kadaifci, "Analysis of Critical Factors in Energy Service Contracting Using Fuzzy Cognitive Mapping," Proceedings of The 41st International Conference on Computers and Industrial Engineering, 2011.
- [11] A. Şahin, "Time Series Forecasting Via Computational Intelligence Methods," İstanbul Teknik Üniversitesi, 2016.
- [12] F. Z. Uslu, "Yumuşak Doku Sarkomlarının Sınıflandırılmasında Bulanık Bilişsel Haritaların Uygulanması - Ulusal Tez Ve Araştırma Merkezi - Akademik Tezler ve Araştırmalar," Erciyes Üniversitesi, 2011.
- [13] Ö. Uygun, E. F. Erkan, and B. Topçuoğlu, "Bulanık Bilişsel Haritalar Temelli Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi Değerlendirme Modeli," 3rd International Symposium Environment and Morality (ISEM2016) 4-6 Nov 2016 Alanya/Antalya-Turkey, 2016.
- [14] M. E. C. Bağdatlı, "Karayolu Projelerinin Fayda-Maliyet Analizleri İçin Risk Eklentili Yeni Bir Bulanık Bilişsel Harita Modeli," Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2016.

Optimal Okuma Şartlarının Taguchi Yöntemiyle Belirlenmesi

*¹Mustafa Yılmaz, ²Muhammed Emre Keskin

¹Atatürk Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, ERZURUM, mustafay@atauni.edu.tr, 

² Atatürk Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, ERZURUM, emre.keskin@atauni.edu.tr, 

Research Paper

Received Date: 03.02.2018

Accepted Date: 07.08.2018

Öz

Bilgisayarların günlük hayatın ve iş hayatının ayrılmaz bir parçası olduğu bilinmektedir. Birçok meslek grubunda insanlar bilgisayar ekranından metin okuyarak çalışmaktadır. Bu çalışmada, özellikle üniversitede çalışan akademisyenler için bilgisayar ekranından yapacakları okumalarda en iyi ortam şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, bilgisayardan yapılan okumaları etkileyen üç unsur ışık seviyesi, müzik seviyesi ve punto büyüklüğü olarak ele alınmış ve her unsur için dört farklı seviye belirlenmiştir. Unsurların okuma hızını en yüksek yapacak seviyelerini belirlemek için az sayıda deneyle en iyi unsur seviyelerini tespit eden Taguchi Yöntemi tercih edilmiştir. Çalışma esnasında $L_{16}(4^5)$ ortogonal deney tasarım planı kullanılmış ve okuma hızı performans ölçütü olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ekran ışık seviyesinin hafif, punto büyüklüğünün en fazla ve müzik seviyesinin hafif olduğu ortamın yapılacak okuma çalışması için ideal olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Taguchi metodu, Okuma şartları, Deney tasarımı

Determination of Optimal Reading Conditions by Taguchi Method

*¹ Mustafa Yılmaz, ² Muhammed Emre Keskin

¹ Industrial Engineering Department of Ataturk University, ERZURUM, mustafay@atauni.edu.tr

² Industrial Engineering Department of Ataturk University, ERZURUM, emre.keskin@atauni.edu.tr

Abstract

Computers are regarded as an indispensable part of daily and business life. In many occupations, people work by reading from computer screens. This study intends to identify the optimum environment conditions for reading on computer screens especially for academicians. To this end, light level, music level, and font size were accepted as the factors influencing reading, and four different levels were set for each. To identify the factor levels that maximize the reading speed, Taguchi method, which produces the optimal factor levels with minimum experiment, was used. $L_{16}(4^5)$ orthogonal experimental design was employed during the experimental studies, and the reading speed was selected as the performance measure. The results revealed that low light level, maximum font type size, and low music volume are the optimum reading conditions.

Keywords: Taguchi method, Reading conditions, Experiment design

1. INTRODUCTION

In today's world, access to information has become remarkably fast, and especially with internet becoming widespread, it has been very practical. Many people have now easy and reliable access to the required information and documents by means of reading on computer screens. For reading on computer screen, it is critical that such conditions as light, font size and noise are optimum to assure efficiency and eye health.

This study intends to identify the optimum environment conditions for reading on computer screens especially for academicians. Reading is of utmost importance for academic work. The academicians are obliged to read on the computer screen because there is often substantial material to read. As it is well known, reading speed is affected by the light level in the environment, the font size in the text and the noise level of the environment. There might be other factors affecting the reading speed apart from these three, yet they are thought to be related with the conditions in the reader's personal environment, rather than with general reading

conditions. Thus, the level of light in the environment, the font size and the noise level appear to be factors that have an impact on reading performance and eye health as to reading on the computer screen. Obviously, noise level in the environment affects the reading speed. Therefore, it should be taken as a factor that influences the reading speed. However, level of music listened from the computer was preferred in this study because, in experimental studies, it is impossible to fix the noise level in the environment. Hence, the factor name is taken as music volume throughout the text which is considered to indicate noise level of the environment.

In brief, the above mentioned three factors affecting reading were taken, and four different levels were determined for each factor. The experiment was designed based on the following values: low-medium-high-very high brightness for light level; 80%-120%-160%-200% of reading text for font size; low-medium-high-very high levels of music volume. The experiments were repeated three times, each time with a novel text taken from different parts of a pdf document.

An experiment design modifies the factors affecting a process to improve its performance, to monitor and interpret the variables on the outcome of the process. That is, it aims to collect information concerning the overall performance of a process, identify the factors that affect the quality characteristics of this process, and determine the optimal values of the components to improve the quality of the process ([1]). In the experiment design, the independent variable is called the factor, and the values the independent variable takes are called factor levels. Experimental design is important as it reveals the level of factors' effect on the dependent variable.

The following section presents a review of the related literature, followed by section 3, which explains the Taguchi Method. Part 4 presents the details of the experimental design and focuses on the results. The Conclusion part discusses the results and reveals the optimal reading conditions.

2. LITERATURE REVIEW

Many studies in the literature have experiment design employing the Taguchi method. The main reason for the widespread use of the method is that it can determine the optimal levels of the parameters that influence the experiment design with relatively fewer experimental cycles. Since there is a substantial number of related works, this part includes especially the studies conducted in the last 10 years and published in reputable magazines. In addition, studies employing the Taguchi method are naturally found in disciplines, such as chemistry and physics, where empirical experimental studies are performed in a laboratory environment.

The Taguchi method is often used to investigate the best operating conditions, especially for lathe and milling machines. For example, Zhang et al. ([2]) applied the

Taguchi method in their 2007 study to determine the optimal values of the factors affecting surface hardness in end milling work. The study regarded that three factors, feed rate, shaft rotation speed, and cut depth, affect the surface hardness. The orthogonal array $L_9(3^4)$ was chosen for the Taguchi test design, and whether the effect of each parameter on the surface was significant or not and the levels of the significant ones which produce the minimum surface hardness were identified. In the same year, Nalbant et al. ([3]) applied the Taguchi method to find the factors that affect surface hardness during turning on lathe machine, and different from Zhang et.al, they considered the approach angle of the cut tool as one of the factors affecting hardness, while ignoring the spindle speed because they did not use milling cutter but lathe cutter. Three levels were set for each factor, and experiments were conducted according to orthogonal array $L_9(3^4)$ experiment design. Based on these studies, Tzeng et al. [4] used the Taguchi method in 2009 to determine the optimal levels of conditions affecting CNC lathe turning. The average surface hardness, the maximum surface hardness, and surface roundness were selected as target functions, and depth of cut, cut speed, feed speed, and density of the cutting fluid were selected as the experiment parameters. Three levels were set for each experiment factor, thus experiment design $L_9(3^4)$ was applied. The results of the experiment revealed that, among all the factors, the depth of the cut has the greatest impact on the average surface hardness, and cut speed has the greatest impact on the maximum surface hardness and surface roundness. Another study using experimental design Taguchi method in CNC machines was carried out by Kilickap ([5]) in 2010, who aimed to investigate the optimal levels of the parameters of cut depth, cut speed, and cut angle for a particular composite material. Finally, the ideal working conditions of the lathe were investigated by Asiltürk and Neşeli ([6]) in 2012. Similarly, cut depth, cut speed, and feed speed were selected as significant factors, and the extent to which they affect the hardness of the target was analyzed. Experiments were performed according to orthogonal experimental design $L_9(3^3)$; in addition, the results obtained were consolidated by response surface method.

Determination of the factors that affect the test result by Taguchi method is also applied in other sectors. For example, Engin et al. ([7]) employed the Taguchi method in 2008 to determine the optimal values of factors affecting color removal from textile products. Intensity of chemical discoloration, rate of chemical feed, waste water flow rate, and the bed size studied were regarded as significant factors in the experiment. Four levels were set for two components, and two levels were set for the remaining two levels. $L_{16}(4^2 \times 2^2)$ orthogonal array was chosen as Taguchi experiment design, and ultimately optimum levels of significant factors were decided. Another example is Lin et al.'s ([8]) research in 2009. Performance of a particular conductive ceramic in machines that transmit voltage was tested. The parameters were set as machine polarity ratio, maximum and bypass current rates, and current pulse rate, and performance criteria were selected as material abrasion

rate, electrode deposition rate, and surface hardness. Experiments were run in L_{18} experiment design, and the optimal values of the significant factors were found. In his work [9] the same year (2009), Eşme applied the Taguchi method to determine the factors affecting the surface tension force produced during welding, as a result of which electrode force, welding current value, electrode radius, and welding time were selected. $L_{18}(3^4)$ orthogonal experiment design was chosen as each factor was assigned three levels, and the significant factors' optimal values that affect the experiment results were found out.

Kamaruddin et al. ([10]) applied the Taguchi method to determine the optimal levels of quality of a mold injection product in 2010. Shrinkage effect was taken as a performance indicator, and injection speed, melting temperature, injection pressure, holding pressure, holding time, and cooling time were accepted as the components that affect the experiment. The injection speed was assigned 2, and other factors were assigned 3 levels, and $L_{18}(2 \times 3^7)$ orthogonal experiment design was implemented. The last two columns in the experiment design was filled arbitrarily, not signifying any significant factor.

Kuo et al. ([11]) applied the Taguchi method to determine the optimal operating conditions for flat plate collectors, using collector tube material, inner plate material, number of collector tubes, and radius of the collector tube, absorption type, and thickness of the insulation material for the base as significant factors. Experiments were performed at two levels for the collector tube material, and at three levels for the other factors, wherein $L_{18}(2 \times 3^5)$ orthogonal experimental plan was administered. Sapakal and Telsang ([12]) also used Taguchi method to identify the optimal values of factors that influence welding. They selected welding quality, production amount, and welding cost as the performance criteria, and welding current rate, welding voltage, welding speed, and weld depth as the factors affecting these criteria. L_9 orthogonal experiment design was used to determine the levels of significant factors. Kotcioğlu et al. ([13]) researched into six components affecting the performance of a heat transformer. These components include ratio of pipe depth and surface length, ratio of flap and surface length, flap pitch, Reynolds number, flow rate, and pressure. The experiments were performed in $L_{25}(5^6)$ orthogonal array, with each factor having five levels. The factor levels allowing for an ideal experiment were calculated. Research carried out by Sivasakthivel et al. ([14]) was based on similar principles, analyzing the optimal working conditions of a heat pump. The heat pump inlet temperature, the outer surface temperature of the lens, the evaporator dryness rate, and the evaporator outer surface temperature were accepted to be factors affecting the heat pump process. Each factor had four levels.

On the other hand, Kumar et al. ([15]) applied the Taguchi method in a very interesting field. In their study, the factors affecting the rate of biodiesel production were selected as

methanol and oil ratio, reaction time, reaction temperature, and catalyst concentration. Three levels were set for each. Experiments were performed on the basis of the $L_9(3^4)$ orthogonal test plan and the parameter values that will enable the fastest biodiesel production were found. Similarly, Dhawane et al. ([16]) expanded Kumar and his colleagues' study by focusing on the factors affecting the rate of biodiesel production. The significant factors and the orthogonal test plan used are the same as those used in Kumar et al. The two studies differed as regards the organic material used as raw material in biodiesel manufacturing. Finally, Mousavi et al. ([17]) studied the problem of site location selection and inventory planning, and solved large-scale examples of the mathematical model they developed by meta-intuitive means. They used the Taguchi Method to explore the optimal values of the parameters that will influence the performance of the meta-intuition they used. $L_9(3^4)$ orthogonal array was used, and the optimum intuitive parameters were identified.

A summary of Taguchi experiment design studies of the literature mentioned below is provided in Table 1 with respect to authors' names, publication year, application area and the employed orthogonal array. There are not many studies in the literature focusing on the factors affecting the reading speed. The ones that do so have not approached the subject from the viewpoint of experimental design. For example, in their study dated 1932, Paterson and Tinker ([18]) investigated how the font style affects reading speed, but they did not perform an empirical, experiment based, study. Following these studies, very few studies were conducted to analyze the factors affecting the reading speed. Chung ([20]) investigated whether font size in the handwritten texts influences the reading speed. Finally, Baynal et al ([21]) used experimental design in 2011 to identify the optimal levels of the factors affecting the reading speed. Music level, reading aloud and silent reading, font size, gender, and use of glasses were selected as parameters affecting reading, and the number of words read in a fixed duration was selected as the performance indicator. This study is similar to the present study as regards content, yet it has certain limitations. First two levels were set for each of the significant factors. A parameter should have at least two levels when the performance is not affected by the degree of the parameter, e.g. when the music volume factor is involved. The research disregarded this.

On the other hand, full factorial experimental design was used; that is, experiments were conducted for any probable scenario. Before carrying out experiments for probable scenarios, the present study used Taguchi Experimental Design to identify the optimal levels of significant factors. In addition, it analyzed the effect of light level on reading speed. That is, the present study has significance as it focuses on a subject, on which there have been few studies, and it uses the right method to produce the optimal results with fewer experiments.

Table 1. Summary of Taguchi experiment design studies of the literature

Author(s)	Year	Application Area	Orthogonal Array
Zhang et al.	2007	Material processing technology	$L_9(3^4)$
Nalbant et al.	2007	Material processing technology	$L_9(3^4)$
Tzeng et al.	2009	Material processing technology	$L_9(3^4)$
Kilickap	2010	Drilling process	$L_{16}(4^5)$
Asiltürk and Neşeli	2012	Measurement system	$L_9(3^3)$
Engin et al.	2008	Textile sector	$L_{16}(4^2 \times 2^2)$
Lin et al.	2009	Manufacturing process	L_{18}
Eşme	2009	Welding process	$L_{18}(3^4)$
Kamaruddin et al.	2010	Plastic manufacturing	$L_{18}(2 \times 3^7)$
Kuo et al.	2011	Solar energy collector manufacturing	$L_{18}(2 \times 3^5)$
Sapakal and Telsang	2012	MIG welding	L_9
Kotcioğlu et al.	2013	Heat transfer	$L_{25}(5^6)$
Sivasakthivel et al.	2014	Heating and cooling system	$L_9(3^4)$
Kumar et al.	2015	Biodiesel production	$L_9(3^4)$
Dhawane et al.	2016	Biodiesel production	L_9
Mousavi et al.	2017	Inventory control system	$L_9(3^4)$

3. TAGUCHI METHOD

Taguchi Method is one of the most effective methods used in the literature to determine the effects of different levels of factors affecting a process. In other words, although Taguchi and full factorial experiment methods are identical in terms of the results they produce, the Taguchi methods reach the same results by doing far less experimentation, and thus with far less effort. For example, the number of runs in Taguchi $L_{16}(4^5)$ orthogonal experiment design wherein each parameter has 4 levels is one fourth of the number of full factorial experimental runs. This technique is an effective alternative developed to lower the cost in optimization and parametric analysis studies, reach the results more efficiently, and identify the effects of parameters on the outcome. In the Taguchi method, factors affecting the product or process can be classified into two as controllable and uncontrollable. Orthogonal arrays particularly developed according to the number and values of parameters to determine the optimal values of control factors are used ([22]). Orthogonal arrays act an important role in decreasing the required number of experiments. In the experimental details section given below, we first present the orthogonal array used in the experiments.

A loss function is used to indicate the difference between the desired value and the result obtained from the experiment. The values coming from the experiments are transformed to signal-to-noise (S/N) ratios. In the next section, after the orthogonal design we give the details of the S/N ratio alternatives and the one that is appropriate for our experiment, which is the higher is better.

In general, an analysis of variance (ANOVA) is provided in order to determine which factor has significant impact on the response values and which factor is insignificant. Moreover, the general success of the experiment can be extracted from

the success of the factors in explaining the total variability observed in the experimental data, i.e., the R^2 value. We provide the details of our ANOVA in the next section after S/N subsection.

Finally, we first give the details of the effects of the factors and then the validation part. In the validation part, a confidence interval for the mean response value at optimal conditions are to be constructed in order to validate and verify the optimal factor levels found by the Taguchi.

4. QUANTITATIVE RESULTS AND DISCUSSION

In this section, the use of the Taguchi method to determine the process parameters in reading is reported step-by-step. Parameters affecting the reading speed are determined and verified.

4.1. Orthogonal Array Experiment

3×4^3 different experiment alternatives emerge in the reading experiment conducted by the present study because there are three factors, each with four levels, and each experiment is repeated three times. Put differently, if Full Factorial Experimental Design had been used, it would have been necessary to perform 3×4^3 different experiments. However, with the Taguchi method, the effectiveness and the optimal levels of the components under focus can be figured out by performing fewer experiments, namely we just need only 16 experiments. Taguchi method offers a variety of experiment plans. The significant factors and their levels need to be identified to decide on the experiment design. The number of factors and factor levels can be increased for an experiment on reading. However, increasing the number of components was not preferred in this study as it would involve the personal characteristics of the reader.

Similarly increasing the level of factors would decrease the significance level between the levels. $L_{16}(4^5)$ orthogonal experiment design plan was used to determine the optimal design conditions, yet totally three factors affecting the reading speed were considered, so the fourth and fifth factor

columns were left blank. Table 2 presents the $L_{16}(4^5)$ orthogonal experiment design used and the results of the two-minute reading experiments performed in three runs under constant conditions.

Table 2. $L_{16}(4^5)$ Experiment Plan

$L_{16}(4^5)$	Light Level	Font Size	Music Volume	-	-	Number of Words Read			Mean of the trials	S/N Ratio (mean)
						1	2	3		
1	1	1	1	1	1	132	128	145	135	42,61
2	1	2	2	2	2	141	162	150	151	43,58
3	1	3	3	3	3	136	143	132	137	42,73
4	1	4	4	4	4	130	123	124	126	41,98
5	2	1	2	3	4	151	158	167	159	44,01
6	2	2	1	4	3	172	184	178	178	45,01
7	2	3	4	1	2	148	153	137	146	43,29
8	2	4	3	2	1	139	130	126	132	42,39
9	3	1	3	4	2	147	156	151	151	43,60
10	3	2	4	3	1	142	136	131	136	42,69
11	3	3	1	2	4	168	161	176	168	44,52
12	3	4	2	1	3	172	168	178	173	44,74
13	4	1	4	2	3	132	125	120	126	41,98
14	4	2	3	1	4	135	129	122	129	42,19
15	4	3	2	4	1	142	154	148	148	43,41
16	4	4	1	3	2	155	148	151	151	43,60

4.2. Overall Loss Function and its S/N ratio

The reading experiment in this study focuses on especially the reading study done by academicians on the computer screen. The three parameters considered in the two-minute reading experiments and the four levels of each parameter are explained in further detail below.

- 1. Light Level:** Since academicians usually read directly from the computer screen without printout, the screen brightness was set in the range of 0 - 33 - 66 - 100 under constant environment light.
- 2. Font size:** The font sizes of the texts to be read were regarded as 80% - 120% - 160% - 200% of the original size of the text.
- 3. Music Level:** The level of music in the environment during reading referred to the volume levels of 0 - 10 - 20 - 30 of a music piece played on the computer.

Taguchi method identifies the optimal conditions in three categories: smaller-the-better, larger-the-better, and nominal-the-better ([23]). The mathematical denotations belonging to these approaches are as follows:

$$\text{Nominal is the best: } S/N_T = 10 \log \left(\frac{\bar{y}}{S_y^2} \right) \quad (1)$$

$$\text{Larger is better: } S/N_L = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2)$$

$$\text{Smaller is better: } S/N_S = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3)$$

where $\bar{y}$ denotes the mean of all observation values, S_y^2 denotes the variance for y , n the number of experiments, and y_i observation values. The study preferred the S/N_L ratio because the number of words read by academicians on the computer screen was requested to be as great as possible.

4.3. Analysis of Variance (ANOVA)

Ultimate aim during ANOVA analysis is to investigate and indicate the design parameters which have significant impact on the output parameters. Variances and the sum of squares are calculated and f-test values at 95 % confidence level is incorporated to determine the factor which are significant on the output parameter, which is the reading speed. The ANOVA analysis for reading speed is shown in Table 3.

As can be seen from ANOVA table the chosen factors are all significant at 99% confidence level, and they are sufficient in explaining the variability of the data as the R^2 value is above 90%. Moreover, it can also be seen that the light level is responsible from 34,12%, the font size is responsible from 3,36% and the music volume is responsible from 55,78% of the variability, respectively.

Table 3. Results of Anova for Reading Speed

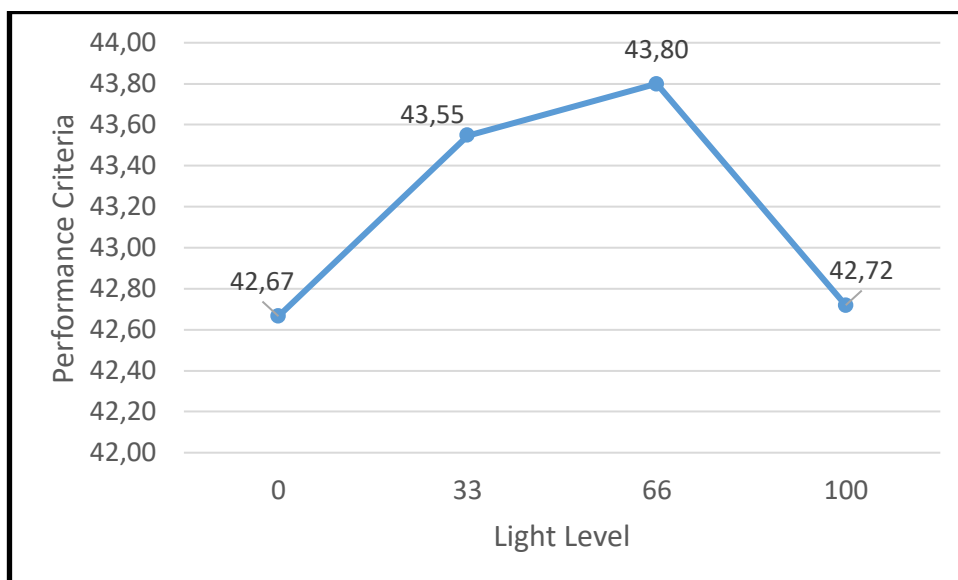
Parameters	Sum of Square	Degree of Freedom	Variance	F	Contribution Percentage(%)
Light	3796,50	3	1265,50	64,09*	34,12
Font	373,67	3	124,56	6,31*	3,36
Music	6206,50	3	2068,83	104,77*	55,78
Error	750,337	38	19,75		6,74
Total	11127	47			

R-Sq=93,26% * Significant at 99% confidence

4.4. Effects of the Factors

Performance criteria were computed by means of evaluating the results obtained from experiments, by fitting each level of every parameter into equation (2). The computed results referring to y-axis, and the values of parameters referring to x-axis, Figures 1, 2, and 3 were created. Figure 1 shows the correlation between the light parameter and reading speed. Figure 2 and 3 demonstrate how font size and music volume affect reading speed, respectively. The first plot in Figure 1 corresponds to when the light level is zero. It should be noted that 0 light level does not mean that there is no light in the environment, but that the brightness of the computer screen is fixed to 0 under stable ceiling light.

While calculating the performance criteria for this plot, results of experiments 1, 2, 3, and 4, where the light level was 0, were fitted into equation (2). Similarly, the second plot on the graph corresponds to when the light level was 33. The performance criteria were obtained by using the results of experiments 5, 6, 7, and 8, where the light level of music volume was 33. The other plots on the graph were calculated with the same ratio based on the other values of the music volume. Similarly, the performance values in Graphs 2 and 3 were calculated according to equation (2) based on the parameters of font size and music volume. For example, the third plot on Figure 2 corresponds to level 3, where font size is 160. To compute the performance criterion value for this plot, results of experiments 3, 7, 11, and 15, where font size is 160, were used.

**Figure 1:** Effect of Light Level

Since the S / N_L ratio is taken into account in each figure, the plot where the performance measure gains the highest value indicates the best level of the parameter concerned. This reveals that the highest reading speed is reached at level 3, where the light parameter is 66. This result can be attributed to that too bright screen tires the eyes, thus decreases the

reading speed. The fact that the performance is relatively low, especially at the plot where the light level is the highest, seems to support this possibility. It has been observed that performance values are closer when the light level is 33 and 66, and the reading speed was observed to be low at the lowest and the highest light levels.

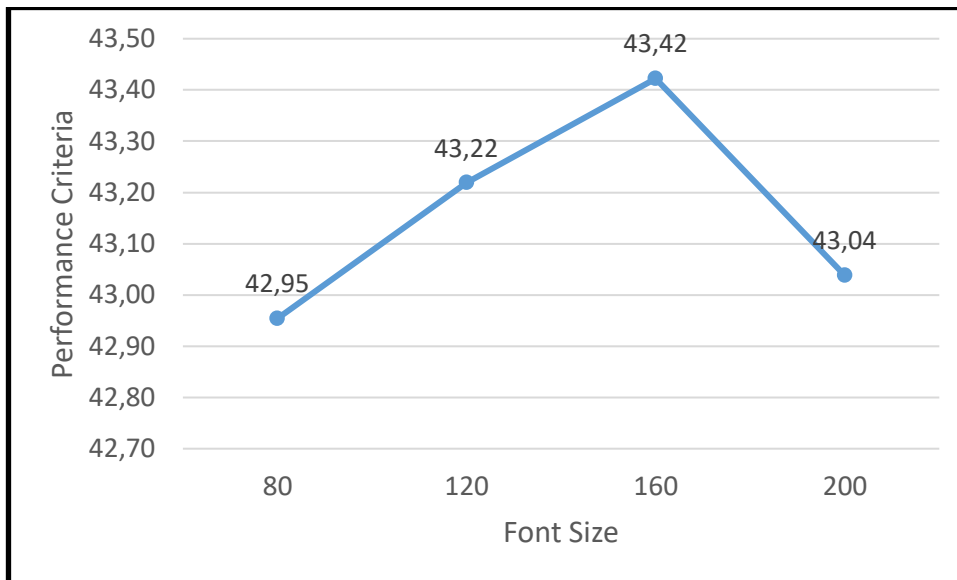


Figure 2: Effect of Font Size Level

Figure 2 illustrates the effect of font size on reading speed, showing that the bigger the font size the greater the reading speed is until 160 font size and the reading speed decreases later on. It was observed that increasing the font size had an

impact until reaching the optimal level. Since the plot of the effect possess a concave structure, there was no need the increase the font size any more.

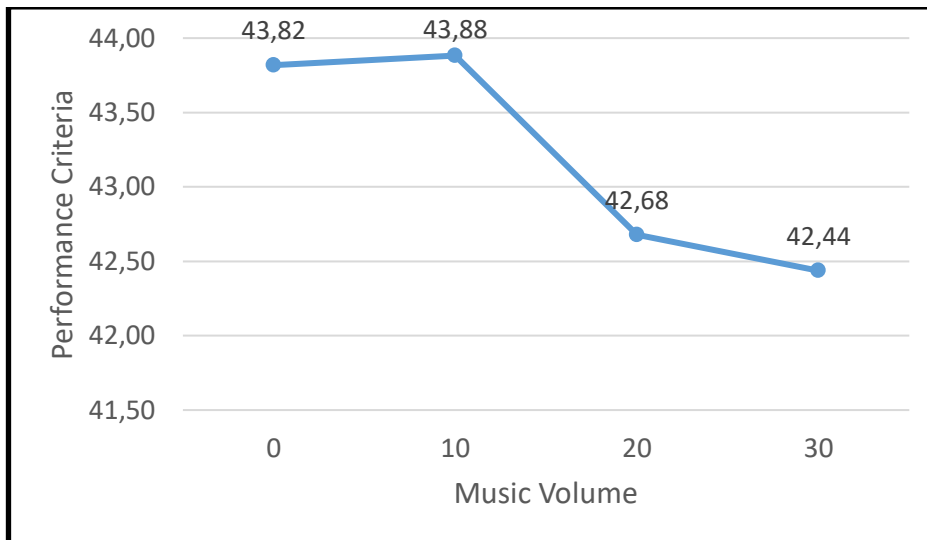


Figure 3: Effect of Music Volume

As can be seen in Figure 3, increasing the music level from 0 to 10 improved the reading speed. However, the performance criterion decreased rapidly when the music was turned up to higher volumes. This showed that reading should be done either in complete silence or with very low music in the background.

4.5. Validation

As can be extracted from the previous part, our Taguchi experiments yielded the following optimal factor levels affecting the reading speed: screen brightness 66, font size

160, and music level 10. As the levels obtained were not found in the $L_{16}(4^5)$ orthogonal experiment design plan, an additional three-run experiment was conducted for these levels, the results of which are represented in Table 4.

The estimated mean of the reading speed at the optimal conditions can be computed as ([24]): $\mu = \bar{L}_3 + \bar{F}_3 + \bar{M}_2 - 2 \times \bar{T}$ where $\bar{L}_3$ represents the mean of the reading speed response value for which the light is set to third level, i.e., light level is 66, and $\bar{F}_3$ represents the mean of the reading speed response value for which the font size is set to third level, i.e., the font size is 160, and similarly $\bar{M}_2$ stands for the average reading speed when the music volume is at level 2,

i.e., the music volume is 10. Finally, $\bar{T}$ is the overall mean of the reading speed. $\bar{L}_3$, $\bar{F}_3$, $\bar{M}_2$ and $\bar{T}$ are respectively found out to be 157,17; 149,83; 157,58 and 146,58 which makes μ equals to 171,42.

In order to find 99% confidence interval for the mean reading speed at the optimal conditions, we calculate $CI = \sqrt{F_{0,01;2;15} V_e \left(\frac{1}{n_{eff}} \right)}$ where $F_{0,01;2;15} = 6,36$, $V_e = 19,75$ from Table 3 and $n_{eff} = \frac{\text{number of experiments}}{1+\text{total dof used for calculation of } \mu} = \frac{16}{1+3+3+3} = 1,6$ which

makes $CI = 8,86$. The 99% confidence interval for the mean is then $\mu \pm CI$ which is $171,42 \pm 8,86$. In other words, the 99% confidence interval is (162,56 – 180,28). We have tried to conduct the experiment under the optimal conditions in order to see whether it complies with the above mentioned confidence interval. The results are provided in Table 4. It can be seen that the average result lays within the found confidence interval and validates our findings.

Table 4. The experiment results concerning optimal levels of reading factors

L ₁₆ (4 ⁵)	Light Level	Font Size	Music Volume	-	-	Number of Words Read			Mean of the trials	S/N Ratio (mean)
						1	2	3		
1	3	3	2	-	-	182	175	181	179,33	45,07

5. DISCUSSION AND CONCLUSION

In this study, the Taguchi method was used to determine the optimal levels of factors affecting the reading speed of the academicians who read under constant environment light in the room. L16(45) orthogonal test design plan was adopted for experiments, and the significant factors were considered as level of light, font size, and music level. Each factor was assigned four levels, and the performance criterion was accepted to be the number of words read in two minutes. The experiment results were evaluated based on the larger-is-best criterion. Figures were created demonstrating the effect of each significant factor on the process. The results revealed the following ideal conditions for the reading study

conducted: screen brightness level 66, font size 160, and music volume 10.

It is hoped that the present study will both help increase the reading efficiency and shed light onto the less harmful environment conditions for eye health, by means of identifying the optimal values of factors affecting the reading speed. Nevertheless, it is suggested that further studies with a larger scope, e.g. those focusing on other factors such as using eye-glasses, or gender, be carried out at different times and under different conditions. The limitation of the study is that only three controllable factors were taken into account, none of which was concerning personal characteristics. Still, it is hoped that this study will provide the basis for further larger-scale studies.

REFERENCES

- [1].Taguchi, G., 1986. Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes.
- [2].Zhang, J.Z., Chen, J.C. and Kirby, E.D., 2007. Surface roughness optimization in an end-milling operation using the Taguchi design method. Journal of materials processing technology, 184(1), pp.233-239.
- [3].Nalbant, M., Gökkaya, H. and Sur, G., 2007. Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning. Materials & design, 28(4), pp.1379-1385.
- [4].Tzeng, C.J., Lin, Y.H., Yang, Y.K. and Jeng, M.C., 2009. Optimization of turning operations with multiple performance characteristics using the Taguchi method and Grey relational analysis. Journal of materials processing technology, 209(6), pp.2753-2759.
- [5].Kilickap, E., 2010. Optimization of cutting parameters on delamination based on Taguchi method during drilling of GFRP composite. Expert Systems with Applications, 37(8), pp.6116-6122.
- [6].Asiltürk, I. and Neşeli, S., 2012. Multi response optimisation of CNC turning parameters via Taguchi

method-based response surface analysis. Measurement, 45(4), pp.785-794.

- [7].Engin, A.B., Özdemir, Ö., Turan, M. and Turan, A.Z., 2008. Color removal from textile dyebath effluents in a zeolite fixed bed reactor: Determination of optimum process conditions using Taguchi method. Journal of hazardous materials, 159(2), pp.348-353.
- [8].Lin, Y.C., Wang, A.C., Wang, D.A. and Chen, C.C., 2009. Machining performance and optimizing machining parameters of Al₂O₃-TiC ceramics using EDM based on the Taguchi method. Materials and manufacturing processes, 24(6), pp.667-674.
- [9].Eşme, U., 2009. Application of Taguchi method for the optimization of resistance spot welding process. Arabian Journal for Science and Engineering, 34(2), p.519.
- [10]. Kamaruddin, S., Khan, Z.A. and Foong, S.H., 2010. Application of Taguchi method in the optimization of injection moulding parameters for manufacturing products from plastic blend. International Journal of Engineering and technology, 2(6), p.574.
- [11]. Kuo, C.F.J., Su, T.L., Jhang, P.R., Huang, C.Y. and Chiu, C.H., 2011. Using the Taguchi method and grey relational analysis to optimize the flat-plate collector process

with multiple quality characteristics in solar energy collector manufacturing. *Energy*, 36(5), pp.3554-3562.

[12]. Sapakal, S.V. and Telsang, M.T., 2012. Parametric optimization of MIG welding using Taguchi design method. *Int J Adv Eng Res Stud*, 1(4), pp.28-30.

[13]. Kotcioglu, I., Cansiz, A. and Khalaji, M.N., 2013. Experimental investigation for optimization of design parameters in a rectangular duct with plate-fins heat exchanger by Taguchi method. *Applied Thermal Engineering*, 50(1), pp.604-613.

[14]. Sivasakthivel, T., Murugesan, K. and Thomas, H.R., 2014. Optimization of operating parameters of ground source heat pump system for space heating and cooling by Taguchi method and utility concept. *Applied Energy*, 116, pp.76-85.

[15]. Kumar, R.S., Sureshkumar, K. and Velraj, R., 2015. Optimization of biodiesel production from Manilkara zapota (L.) seed oil using Taguchi method. *Fuel*, 140, pp.90-96.

[16]. Dhawane, S.H., Kumar, T. and Halder, G., 2016. Biodiesel synthesis from Hevea brasiliensis oil employing carbon supported heterogeneous catalyst: optimization by Taguchi method. *Renewable Energy*, 89, pp.506-514.

[17]. Mousavi, S.M., Bahreininejad, A., Musa, S.N. and Yusof, F., 2017. A modified particle swarm optimization for solving the integrated location and inventory control problems in a two-echelon supply chain network. *Journal of*

Intelligent Manufacturing, 28(1), pp.191-206.

[18]. Paterson, D.G. and Tinker, M.A., 1932. Studies of typographical factors influencing speed of reading. X. Style of type face. *Journal of Applied Psychology*, 16(6), p.605.

[19]. Berman, I.R. and Bird, C., 1933. Sex differences in speed of reading. *Journal of Applied Psychology*, 17(3), p.221.

[20]. Chung, S.T., 2007. Learning to identify crowded letters: does it improve reading speed?. *Vision research*, 47(25), pp.3150-3159.

[21]. Baynal, K., Gürsoy, A., Gülkaç, H. and Aktel, A., 2011. Okuma Hızını Etkileyen Önemli Unsurların Deney Tasarımı İle Optimizasyonu. *Üretim Araştırmaları Sempozyumu, bildiriler kitabı*, 428-436.

[22]. Alsaran, A., Çelik, A. and Çelik, C., 2002. Determination of the optimum conditions for ion nitriding of AISI 5140 steel. *Surface and Coatings Technology*, 160(2), pp.219-226.

[23]. Krishnaiah, K. and Shahabudeen, P., 2012. Applied design of experiments and Taguchi methods. PHI Learning Pvt. Ltd.

[24]. Asiltürk, I., & Neşeli, S. (2012). Multi response optimisation of CNC turning parameters via Taguchi method-based response surface analysis. *Measurement*, 45(4), 785-794.

Some Types of Null Hypersurfaces

*¹Bilal Eftal Acet

¹ Adiyaman University, Faculty of Art and Science,
Department of Mathematics, Adiyaman, TURKEY

eacet@adiyaman.edu.tr, 

Research Paper

Received Date: 30.10.2017

Accepted Date: 28.09.2018

Abstract

In this article, we introduce and study three types of null hypersurfaces of a para-Sasakian manifold which are called re-current, Lie re-current and Hopf null hypersurfaces. Also, we obtain some results on such hypersurfaces.

Keywords: Para-Sasakian manifold, Screen semi invariant null hypersurfaces, Screen totally geodesic null hypersurfaces

1. Introduction

In term of differential geometry, submanifolds theory has an attraction for geometers. One of the most important topics is the theory of null (lightlike) submanifolds. A submanifold of a semi-Riemann manifold is called a null submanifold if the induced metric is degenerate. So, geometry of null submanifold is very different from the non-degenerate submanifold.

The general view of null submanifold has been introduced in [1]. Later, K. L. Duggal and B. Şahin have developed many new classes of null submanifolds such as indefinite Kaehler manifolds [2], indefinite Sasakian manifolds [3] and different applications of null submanifolds [4]. On this subject, some applications of the theory of mathematical physics is inspired, especially electromagnetisms[1], black hole theory [4] and general relativity [5]. Many studies on null submanifolds have been reported by many geometers (see [6], [7], [9]).

On a semi-Riemannian manifold, S. Kaneyuki and M. Konzai [10] introduced a structure which is known the almost para-contact structure and then they characterized the almost para-complex structure on. Later, S. Zamkovoy [11] studied para-contact metric manifolds. The study of para-contact geometry has been continued by several papers ([12], [13], [14], [15], [16]) which are contained role of para-contact geometry about semi-Riemannian geometry, mathematical physics and relationships with the para-Kaehler manifolds.

The purpose of this article is to examine three types of null submanifolds which are called re-current, Lie re-current and Hopf null hypersurface of a para-Sasakian manifold. Also

some new results on this types of null submanifolds are given.

2. Preliminaries

A $(2n+1)$ – dimension semi-Riemannian manifold $\tilde{M}$ has an almost para-contact structure if it is equipped with a tensor field $\bar{\phi}$ of type $(1,1)$, a 1-form η , a vector field ξ satisfying the following conditions [10]:

$$\begin{aligned} i) \quad \bar{\phi}^2 &= I - \eta \otimes \xi, \\ ii) \quad \eta(\xi) &= 1, \\ iii) \quad \bar{\phi}\xi &= 0, \eta \circ \bar{\phi} = 0, \end{aligned} \quad (2.1)$$

where I is the identity transformation.

If a manifold $\tilde{M}$ with an almost para-contact structure $(\bar{\phi}, \xi, \eta)$ admits a semi- Riemannian metric $\bar{g}$ such that [11]

$$\bar{g}(\bar{\phi}W, \bar{\phi}Y) = -\bar{g}(W, Y) + \eta(W)\eta(Y), \quad (2.2)$$

for all $Y, W \in \Gamma(TM)$, then we say that $\tilde{M}$ has an almost para-contact metric structure an $\bar{g}$ is called compatible metric of signature.

Setting $Y = \xi$ in (2.2), we get

$$\eta(W) = \bar{g}(W, \xi). \quad (2.3)$$

*¹Corresponding author: Adiyaman University, Faculty of Art and Science, Department of Mathematics, Adiyaman, TURKEY.
eacet@adiyaman.edu.tr,

Definition 2.1 If $\bar{g}(W, \bar{\phi}Y) = d\eta(W, Y)$ (where $d\eta(W, Y) = \frac{1}{2}\{W\eta(Y) - Y\eta(W) - \eta([W, Y])\}$) then η is a para-contact form and the almost para-contact metric manifold $\tilde{M}$ is said to be para-contact metric manifold.

An almost para-contact metric manifold $\tilde{M}$ is a para-Sasakian manifold if and only if [13]

$$(\bar{\nabla}_W \bar{\phi})Y = -\bar{g}(W, Y)\xi + \eta(Y)W, \quad (2.4)$$

where $\bar{\nabla}$ is a Levi-Civita connection on $\tilde{M}$.

From (2.4), we get

$$\bar{\nabla}_W \xi = -\bar{\phi}W.$$

Let $\tilde{M}$ be a semi-Riemannian manifold with index q , $0 < q < 2n+1$, and M be a hypersurface of $\tilde{M}$, with $g = \bar{g}|_M$. M is a null hypersurface of $\tilde{M}$ if the metric g is of rank $2n-1$ and the orthogonal complement $TM^\perp$ of tangent space TM , given as

$$TM^\perp = \{Y_p \in T_p \tilde{M} : g_p(W_p, Y_p) = 0, \forall W \in \Gamma(T_p M)\}$$

is a distribution of rank 1 on M [1]. $TM^\perp \subset TM$ and then coincides with the radical distribution $RadTM = TM \cap TM^\perp$.

A complementary bundle of $TM^\perp$ in TM is a non-degenerate distribution of constant rank $2n-1$ over M . It is known a screen distribution and demonstrated with $S(TM)$.

Theorem 2.1 [1] Let $(M, g, S(TM))$ be a null hypersurface of a semi-Riemannian manifold $\tilde{M}$. Then there exists a unique rank one vector subbundle $ltr(TM)$ of TM , with base space M , such that for any non-zero section E of $RadTM$ on a coordinate neighbourhood $U \subset M$, there exists a unique section N of $ltr(TM)$ on U satisfying for $W \in \Gamma(S(TM))|_U$:

$$\bar{g}(N, N) = 0, \quad \bar{g}(N, W) = 0, \quad \bar{g}(N, E) = 1,$$

$ltr(TM)$ is called the null transversal vector bundle of M with respect to $S(TM)$.

By the previous theorem, we can state:

$$TM = S(TM) \perp RadTM, \quad (2.5)$$

$$T\tilde{M} = TM \oplus ltr(TM)$$

$$= S(TM) \perp \{RadTM \oplus ltr(TM)\}. \quad (2.6)$$

Let $\bar{\nabla}$ be the Levi-Civita connection of $\tilde{M}$ and $P: \Gamma(TM) \rightarrow \Gamma(S(TM))$ be the projection morphism with respect to the orthogonal decomposition of TM . Then the local Gauss and Weingarten formulas are given by

$$\bar{\nabla}_W Y = \nabla_W Y + h(W, Y), \quad (2.7)$$

$$\bar{\nabla}_W N = -A_N W + \nabla_W^l N, \quad (2.8)$$

$$\nabla_W PY = \nabla_W^* PY + C(W, PY)E, \quad (2.9)$$

$$\bar{\nabla}_W E = -A_E^* W - \tau(W)E, \quad (2.10)$$

for any $Y, W \in \Gamma(TM)$, where ∇ is a linear connection on M and ∇^* is a linear connection on $S(TM)$ and B , A_N and τ are called the local second fundamental form, the local shape operator, the transversal differential 1-form, respectively.

The induced linear connection ∇ is not a metric connection and we get

$$(\nabla_W g)(Y, Z) = B(W, Z)\theta(Y) + B(W, Y)\theta(Z) \quad (2.11)$$

where θ is a differential 1-form such that $\theta(W) = \bar{g}(N, W)$.

Also the second fundamental form B is independent of the choice of $S(TM)$ and

$$B(W, E) = 0. \quad (2.12)$$

The local second fundamental forms are related to their shape operators by

$$\begin{aligned} g(A_E^* W, PY) &= B(W, PY), \\ g(A_E^* W, N) &= 0 \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} g(A_N W, PY) &= C(W, PY), \\ g(A_N W, N) &= 0. \end{aligned} \quad (2.14)$$

3. Screen Semi-Invariant Null Hypersurfaces of a Para-Sasakian Manifold

Let M be a null hypersurface of a para-Sasakian manifold $\tilde{M}$ with $\xi \in \Gamma(TM)$. If E is a local section of $\Gamma(RadTM)$, then

$$\bar{g}(\bar{\phi}E, E) = 0,$$

and $\bar{\phi}E$ is tangent to M . So, we obtain a distribution $\bar{\phi}(RadTM)$ of dimension 1 on M .

If $\bar{\phi}(\text{ltr}(TM)) \subset S(TM)$ and $\bar{\phi}(\text{Rad}TM) \subset S(TM)$ then null hypersurface M is called a screen semi-invariant null hypersurface of $\tilde{M}$ [17].

Since M is a screen semi-invariant null hypersurface then we can state

$$\begin{aligned}\bar{g}(\bar{\phi}N, N) &= 0 \\ \bar{g}(\bar{\phi}N, E) &= 0 = -\bar{g}(N, \bar{\phi}E), \\ \bar{g}(N, E) &= 1\end{aligned}\quad (3.1)$$

and from (2.2), we obtain

$$\bar{g}(\bar{\phi}E, \bar{\phi}N) = -1. \quad (3.2)$$

Therefore $\bar{\phi}(\text{Rad}TM) \oplus \bar{\phi}(\text{ltr}(TM))$ is a non-degenerate vector subbundle of screen distribution $S(TM)$.

Now, since $S(TM)$ and $\bar{\phi}(\text{Rad}TM) \oplus \bar{\phi}(\text{ltr}(TM))$ are non-degenerate, we can describe a non-degenerate distribution $\tilde{D}_0$ such that [4]

$$S(TM) = \tilde{D}_0 \perp \{\bar{\phi}(\text{Rad}TM) \oplus \bar{\phi}(\text{ltr}(TM))\}. \quad (3.3)$$

In that case $\bar{\phi}(\tilde{D}_0) = \tilde{D}_0$ and $\xi \in \tilde{D}_0$.

In view of (2.5), (2.6) and (3.3), we arrive at followings:

$$TM = \tilde{D}_0 \perp \{\bar{\phi}(\text{Rad}TM) \oplus \bar{\phi}(\text{ltr}(TM))\} \perp \text{Rad}TM \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned}TM = \tilde{D}_0 \perp \{\bar{\phi}(\text{Rad}TM) \oplus \bar{\phi}(\text{ltr}(TM))\} \\ \perp \{\text{Rad}TM \oplus \text{ltr}(TM)\}.\end{aligned}\quad (3.5)$$

If we take $\hat{D} = \text{Rad}TM \perp \bar{\phi}(\text{Rad}TM) \perp \tilde{D}_0$ and $\tilde{D} = \bar{\phi}(\text{ltr}(TM))$ on M , we get

$$TM = \hat{D} \oplus \tilde{D}. \quad (3.6)$$

Consider the local null vector fields $\tilde{V} = \bar{\phi}E$ and $\tilde{U} = \bar{\phi}N$. Let us denote the projection morphism of TM into $\hat{D}$ and $\tilde{D}$, by S and Q , respectively. So, for $X \in \Gamma(TM)$, we have

$$X = SX + QX, \quad QX = u(X)\tilde{U},$$

where u is a differential 1-form locally defined by

$$u(X) = -g(\bar{\phi}E, X), \quad (3.7)$$

with

$$v(X) = -g(\bar{\phi}N, X). \quad (3.8)$$

Applying $\bar{\phi}$ to X , we find

$$\bar{\phi}X = \bar{\phi}(SX) + u(X)N.$$

If we put $\varphi X = \bar{\phi}(SX)$ in above equation, we arrive at

$$\bar{\phi}X = \varphi X + u(X)N, \quad (3.9)$$

where φ is a tensor field defined by $\varphi = \bar{\phi} \circ S$ of type (1,1).

Again applying φ to (3.9), we arrive at

$$\varphi^2 X = X - \eta(X)\xi - u(X)U, \quad u(U) = 1 \quad (3.10)$$

Then from (2.5) comparing the components, we get

$$\begin{aligned}(\nabla_X \varphi)Y &= B(X, Y)\tilde{U} - g(X, Y)\xi \\ &\quad + \eta(Y)X + u(Y)A_N X,\end{aligned}\quad (3.11)$$

$$(\nabla_X u)Y = u(Y)\tau(X) - B(X, \varphi Y), \quad (3.12)$$

$$(\nabla_X v)Y = g(A_N X, \varphi Y) + v(Y)\tau(X), \quad (3.13)$$

$$\nabla_X \tilde{U} = \varphi(A_N X) - \tau(X)\tilde{U}, \quad (3.14)$$

$$\nabla_X \tilde{V} = \varphi(A_E^* X) - \tau(X)\tilde{V}, \quad (3.15)$$

$$\varpi(X) = B(X, \tilde{U}) = C(X, \tilde{V}). \quad (3.16)$$

4. Main Results

In this part, we examine our basic results. Firstly we give the following:

Definition 4.1 Let M be a screen semi-invariant null hypersurface of a para-Sasakian manifold $\tilde{M}$ and λ be a 1-form on M . If M admits a re-current tensor field φ such that

$$(\nabla_X \varphi)Y = \lambda(X)\varphi Y, \quad (4.1)$$

then it is called re-current [8].

Proposition 4.1 Assume that M is a re-current screen semi-invariant null hypersurface of a para-Sasakian manifold. Then we get

$$\begin{aligned}\text{i)} \quad &\varphi \text{ is parallel with respect to } \nabla, \\ \text{ii)} \quad &A_N X = -v(X)\xi - \lambda(X)\tilde{U},\end{aligned}\quad (4.2)$$

$$\text{iii)} \quad A_E^* X = -u(X)\xi - \lambda(X)\tilde{V}. \quad (4.3)$$

Proof. If M is a re-current screen semi-invariant null hypersurface, we can state

$$\begin{aligned}\lambda(X)\varphi Y &= B(X, Y)\tilde{U} - g(X, Y)\xi \\ &\quad + \eta(Y)X + u(Y)A_N X.\end{aligned}\quad (4.4)$$

Putting $Y = \xi$ and in view of (2.13) with (3.7), we get

$$\lambda(X)\tilde{V} = -g(X, E)\xi. \quad (4.5)$$

Taking inner product to $\tilde{U}$, we have

$$\lambda(X) = 0. \quad (4.6)$$

Using this result in (4.1) we arrive at (i).

Now taking $Y = \tilde{U}$ in (4.4) and by use of (4.6), we find (ii).

Similarly taking inner product $\tilde{V}$ to (4.4), we get (iii).

Definition 4.2 A null hypersurface of semi-Riemannian manifold is said to be screen conformal [4] if there exists a non-zero smooth function ζ such that

$$A_N = \zeta A_E^*$$

or

$$C(X, PY) = \zeta B(X, Y).$$

Theorem 4.1 Let M be a re-current screen semi-invariant null hypersurface of a para-Sasakian manifold $\tilde{M}$. Suppose that M is a screen conformal null hypersurface. Then M is either totally geodesic or screen totally geodesic if and only if $X \in \Gamma(\tilde{D}_0)$.

Proof. Since M is screen conformal, from (4.2) with (4.3), we get

$$\lambda(X)\tilde{U} + v(X)\xi = \zeta(\lambda(X)\tilde{V} + u(X)\xi).$$

Taking inner product with $\tilde{V}$ to above equation, we have

$$\lambda(X) = 0.$$

So, by using (4.2) and (4.3), we arrive at the proof of the our assertion.

Theorem 4.2 Let M be a re-current screen semi-invariant null hypersurface of a para-Sasakian manifold $\tilde{M}$. Then $\hat{D}$ is a parallel distribution on M .

Proof. Using (4.1) with (3.11), we can write

$$\begin{aligned} \lambda(X)\phi Y &= B(X, Y)\tilde{U} - g(X, Y)\xi \\ &\quad + \eta(Y)X + u(Y)A_N X. \end{aligned} \quad (4.7)$$

Taking inner product with $\tilde{V}$ to (4.7) and using (4.6), we have

$$B(X, Y) = -u(Y)u(A_N X) - u(X)\eta(Y). \quad (4.8)$$

Putting $Y = \tilde{V}$ and $Y = \phi Z$ in (4.8), we arrive at

$$B(X, \tilde{V}) = 0 \quad \text{and} \quad B(X, \phi Z) = 0 \quad (4.9)$$

respectively.

Now, from (3.9) and (3.15), we find, for all $Z \in \Gamma(\tilde{D}_0)$,

$$g(\nabla_X \tilde{V}, \tilde{V}) = B(X, \tilde{V}), \quad (4.10)$$

$$g(\nabla_X Z, \tilde{V}) = B(X, \phi Z), \quad (4.11)$$

$$g(\nabla_X \tilde{V}, \tilde{V}) = 0. \quad (4.12)$$

So by use of (4.10) $\sqcup$ (4.12) with (4.9), we arrive at for $X \in \Gamma(TM)$ and $Y \in \Gamma(\hat{D})$,

$$\nabla_X Y \in \Gamma(\hat{D}),$$

from which we see that $\hat{D}$ is a parallel distribution.

Definition 4.3 Let M be a screen semi-invariant null hypersurface of a para-Sasakian manifold $\tilde{M}$ and μ be a 1-form on M . Then M is called Lie re-current [8] if it admits a Lie re-current tensor field ϕ such that

$$(\mathfrak{L}_X \phi)Y = \mu(X)\phi Y, \quad (4.13)$$

where $\mathfrak{L}$ denotes the Lie derivative, that is,

$$(\mathfrak{L}_X \phi)Y = [X, \phi Y] - \phi[X, Y].$$

If the structure tensor field ϕ satisfies the condition

$$\mathfrak{L}_X \phi = 0, \quad (4.14)$$

then ϕ is called Lie parallel.

Thus, a screen semi-invariant null hypersurface M of a para-Sasakian manifold $\tilde{M}$ is called Lie re-current if it admits Lie re-current structure tensor field ϕ .

Theorem 4.3 Let M Lie re-current screen semi-invariant null hypersurface of a para-Sasakian manifold $\tilde{M}$. Then the structure tensor field ϕ is Lie parallel.

Proof. In view of above definition with (3.11), we get

$$\begin{aligned} \mu(X)\phi Y &= (\mathfrak{L}_X \phi)Y \\ &= [X, \phi Y] - \phi[X, Y] \\ &= B(X, Y)\tilde{U} + u(Y)A_N X - g(X, Y)\xi \\ &\quad + \eta(Y)X - \nabla_{\phi Y} X + \phi \nabla_Y X. \end{aligned} \quad (4.15)$$

Putting $Y = E$ in (4.15) and by use of (2.12), we find

$$\mu(X)\tilde{V} = -\nabla_{\tilde{V}} X + \phi \nabla_E X - g(X, E)\xi. \quad (4.16)$$

Taking inner product with $\tilde{V}$ to (4.16), we obtain

$$g(\nabla_{\tilde{V}} X, \tilde{V}) = u(\nabla_{\tilde{V}} X) = 0. \quad (4.17)$$

In equation (4.15), replacing Y by $\tilde{V}$, we get

$$\begin{aligned} \mu(X)E &= -\nabla_E X + \phi \nabla_{\tilde{V}} X + B(X, \tilde{V})\tilde{U} \\ &\quad + u(X)\xi. \end{aligned} \quad (4.18)$$

Applying ϕ to (4.18), using (3.10) with (4.17) and comparing (4.18), we arrive at ϕ is Lie parallel.

Definition 4.4 Let M be a screen semi-invariant null hypersurface of a para-Sasakian manifold $\tilde{M}$ and $\tilde{U}$ be a structure tensor field on M . The structure tensor field $\tilde{U}$ is called principal if there exists a smooth function σ such that

$$A_E^* X = \sigma \tilde{U}. \quad (4.19)$$

A screen semi-invariant null hypersurface M of a para-Sasakian manifold $\tilde{M}$ is called Hopf null hypersurface if it admits principal vector field $\tilde{U}$.

If we consider equation (4.19), from (2.13) and (3.8), we arrive at

$$B(X, \tilde{U}) = -\sigma v(X). \quad (4.20)$$

From this equation, we get

$$C(X, \tilde{V}) = -\sigma u(X). \quad (4.21)$$

Theorem 4.4 Let M be a screen semi-invariant Hopf null hypersurface of a para-Sasakian manifold $\tilde{M}$. If M is screen totally umbilical then $\varpi = 0$ and M is a screen totally geodesic null hypersurface.

Proof. We know that, M is a screen totally umbilical null hypersurface if there exists a smooth function $\tilde{f}$ such that $A_N X = \tilde{f}g(X, Y)$ or

$$C(X, PY) = \tilde{f}g(X, Y), \quad (4.22)$$

and $\tilde{f} = 0$ we say that M is a screen totally geodesic null hypersurface.

So, in (4.22) replacing PY with $\tilde{V}$ and by use of (3.8) and (4.21), we find

$$\tilde{f}v(X) = \tilde{f}u(X).$$

Putting $X = \tilde{U}$ in above equation we obtain $\tilde{f} = 0$. So, we get $A_N = 0 = C$ and $\varpi = 0 = g(A_N X, \tilde{V})$. Therefore $\varpi = 0$ and M is a screen totally geodesic null hypersurface.

Theorem 4.5 Let M be a screen semi-invariant null hypersurface of a para-Sasakian manifold $\tilde{M}$. If $\tilde{V}$ is a parallel null vector field then M is a Hopf null hypersurface such that $\varpi = 0$.

Proof. We consider $\tilde{V}$ is parallel null vector field, from (3.9) and (3.15), we find

$$\bar{\phi}(A_E^* X) - u(A_E^* X)N + \tau(X)\tilde{V} = 0. \quad (4.23)$$

Applying $\bar{\phi}$ to (4.23) and in view of (2.1), we have

$$A_E^* X - u(A_E^* X)\tilde{U} + \tau(X)E = 0.$$

Taking inner product with N to above equation, we arrive at $\tau = 0$, which yields

$$A_E^* X = u(A_E^* X)\tilde{U}. \quad (4.24)$$

So, we can say M is a Hopf null hypersurface. If we take inner product with $\tilde{U}$ to (4.24), we find $\varpi(X) = 0 = B(X, \tilde{U})$.

REFERENCES

- [1] K. L. Duggal and A. Bejancu, Lightlike submanifolds of semi-Riemannian manifolds and applications, Mathematics and Its Applications, Kluwer Publisher, 1996.
- [2] K. L. Duggal and B. Şahin, "Generalized Cauchy-Riemann lightlike submanifolds of Kaehler manifolds", Acta Math. Hungarica, vol 112, pp. 107-130, 2006.
- [3] K. L. Duggal and B. Şahin, "Lightlike submanifolds of indefinite Sasakian manifolds", Int. J. Math. and Math. Sci., Article ID 57585, 2007.
- [4] K. L. Duggal and B. Şahin, Differential geometry of lightlike submanifolds, Frontiers in Mathematics, 2010.
- [5] G. J. Galloway, Lecture notes on spacetime geometry, Beijing Int. Math. Research Center, pp. 1-55, 2007.
- [6] B. E. Acet, S. Yüksel Perktas and E. Kılıç, "Symmetric lightlike hypersurfaces of a para-Sasakian space form", Analele Stiintifice Ale Universitatii Al. I. Cuza Iasi (N.S.), vol 2, pp. 915-926, 2016.
- [7] R. Kumar and R. K. Nagaich, "Characterization of GCR-lightlike warped product of indefinite cosymplectic manifolds", Novi Sad J. Math., vol 42, pp. 111-126, 2012.
- [8] D. H. Jin, "Special lightlike hypersurfaces of indefinite Kaehler manifolds", Filomat, vol 30, pp. 1919-1930, 2016.
- [9] D. H. Jin, "Lightlike hypersurfaces of indefinite Kaehler manifolds with a semi-symmetric non-metric connection", J. Korean Math. Soc., vol 54, pp. 101-119, 2017.
- [10] S. Kaneyuki and M. Konzai, "Paracomplex structure and affine symmetric spaces", Tokyo J. Math., vol 8, pp. 301-308, 1985.
- [11] S. Zamkovoy, "Canonical connection on paracontact manifolds", Ann. Glob. Anal. Geo., vol 36, pp. 37-60, 2009.
- [12] D. V. Alekseevski, C. Medori and A. Tomassini, "Maximally homogeneous para-CR manifolds", Ann. Global Anal. Geom., vol 30, pp. 1-27, 2006.
- [13] B. E. Acet, S. Yüksel Perktas and E. Kılıç, "On submanifolds of para-Sasakian manifolds", JP Journal of Geometry and Topology, vol 19, pp. 1-18, 2016.
- [14] V. Cortés, M. A. Lawn and L. Schäfer, "Affine hyperspheres associated to special para-Kaehler manifolds", Int. J. Geom. Methods Mod. Phys., vol 3, pp. 995-1009, 2006.
- [15] S. Erdem, "On almost (para)contact (hyperbolic) metric manifolds and harmonicity of (ϕ, ϕ') -holomorphic maps between them", Houston J. Math., vol 28, pp. 21-45, 2002.

[16] S. Yüksel Perktaş, “On para-Sasakian manifolds satisfying certain curvature conditions with canonical paracontact connection”, *Khayyam J. Math.*, vol 3, pp. 34-

44, 2017.

[17] B. E. Acet, S. Yüksel Perktaş and E. Kılıç, “On lightlike geometry of para-Sasakian manifolds”, *Scientific Work J.*, Article ID 696231, 2014.

Transfer Fonksiyonlarının Gerçeklenmesi için İki Analitik Ayırıklaştırma Yönteminin Performans Değerlendirmesi

*¹Ozlem Imik Simsek, ²Baris Baykant Alagoz

Faculty of Engineering Department of Computer Engineering, Inonu University, Malatya, Turkey

¹imikozlem@gmail.com, 

²baykant.alagoz@inonu.edu.tr, 

Research Paper

Received Date: 13.10.2017

Accepted Date: 28.09.2018

Öz

Yakın tarihli araştırmalar kesirli aritmetiğin gerçek sistemlerin daha doğru modellemesini sağladığı rapor etmiştir. Bu nedenle, kesir dereceli sistem modelleri simülasyon ve nümerik analizlerde yaygın olarak faydalanılmaya başlandı. Ancak, ayırık zaman gerçeklemelerinin yüksek işlem karmaşıklığından dolayı mühendislik uygulamalarının çalışma aralıkları içinde kesir dereceli eleman ve transfer fonksiyonlarının yeterli doğrulukta sayısal olarak gerçekleştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma uygulama bakış açısı ile iki analitik ayırık yakınsama yaklaşımının frekans cevabı eşleşme özelliklerini incelemektedir. Bunlardan biri Tustin özyinelemeli yakınsaması yöntemi olarak bilinen doğrudan ayırıklaştırma yöntemidir ve diğeri kesir dereceli türev operatörünün sürekli kesir açılımından (CFE) faydalanan dolaylı bir ayırıklaştırma yaklaşımıdır. Bu iki yöntemin sonuçları karşılaştırılmakta ve yöntemlerin uygulanabilirlikleri, kontrol sistemleri ve filtre gerçekleştirme uygulamalarının çalışma frekans aralıkları gereksinimleri temelinde tartışılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Kesir dereceli sistemler, kesir dereceli transfer fonksiyonu, analitik ayırıklaştırma yöntemleri, Tustin özyineleme

Performance Evaluation of Two Analytical Discretization Methods for Implementation of Fractional Order Transfer Functions

*¹Ozlem Imik Simsek, ²Baris Baykant Alagoz

Faculty of Engineering Department of Computer Engineering, Inonu University, Malatya, Turkey

¹imikozlem@gmail.com

²baykant.alagoz@inonu.edu.tr

Abstract

Recent researches reported that fractional calculus provides more accurate modeling of real systems. For this reason, fractional order system models begun to utilized widely in numerical analysis and system simulations. However, due to high computational complexity of discrete time domain realization, there is need for accurate digital implementation of fractional order elements and transfer functions in operating ranges of applications. This study investigates frequency response matching properties of two analytical discrete approximation approaches for the application point of view: One is a direct discretization method, which is known as Tustin recursive approximation, and the other is an indirect discretization method, which benefits from continued fraction expansion (CFE) of fractional order derivative operator. Results of these two methods are compared and applicability of the methods are discussed on the bases of operating range requirements of control and filter realization applications.

Keywords: Fractional order systems, fractional order transfer function, analytic discretization methods, Tustin recursive, continued fraction expansion.

* Corresponding Author: Faculty of Engineering Department of Computer Engineering, Inonu University, Malatya, Turkey, imikozlem@gmail.com, +90 5304168860

Doi: 10.21541/apjes.351551

1. INTRODUCTION

Recently, there is a growing interest for utilization of fractional order system models in science and engineering problems [1-3]. Fractional order elements allow better representations of real word systems in frequency domain because the amplitude and phase response of fractional order derivative element s^r , $r \in R$ can provide a slope of a fraction of 20 dB ($20r$ dB) in amplitude response characteristics and a fraction of 90° ($90r$ degrees) in phase response characteristics [4,5].

Main concern in digital realization of fractional order models is the requirement of high computational power because fractional order derivative is not local operator in time domain because the current value of fractional order derivative of a function is dependent of the past values of this function, which was also referred as to long-memory effect [1-2]. In other words, computation of fractional order derivative is not localized to current values of a function and it spreads to previous values.

Therefore, realization of ideal fractional order elements in time domain solutions needs an increasing computation resource as time progresses so that the number of memory elements to hold past values increases. To deal with this problem, integer order approximate models are used to implement fractional order models.

Such approximate models provide an opportunity for digital realization with a low complexity and adequate accuracy within operating ranges of engineering applications. Since digital realization of ideal fractional order elements is not practical for real digital hardware, Finite Impulse Response (FIR) or Infinite Impulse response (IIR) filter approximations of fractional order models are commonly utilized for discrete implementation of fractional order elements or fractional order system models.

During the last decade, several analytical discretization methods have been proposed for digital realization of fractional order systems [6-9]. These methods are mainly classified in two groups: One is direct methods that can allow directly discretization of original fractional order functions in the form of a discrete filter. The other is indirect methods that are carried out in more steps. A continuous integer order approximation of original fractional order transfer functions is first obtained, and then those integer order approximations are discretized by using one of well known direct discretization methods.

In this study, direct Tustin recursive discretization and indirect CFE approximation methods are compared, and performances of these methods are evaluated for applicability in control and signal processing applications.

2. PROBLEM FORMULATON AND THEORETICAL BACKGROUND

2.1. Fundamentals of Fractional Calculus and Fractional Order System Modeling

Fractional calculus is an extension of integer order integration and differentiation operations to non-integer order operators, which was denoted by ${}_a D_t^\alpha$ [6].

$${}_a D_t^\alpha = \begin{cases} \frac{d^\alpha}{dt^\alpha} & \alpha > 0, \\ 1 & \alpha = 0, \\ \int_a^\alpha (dt)^{-\alpha} & \alpha < 0, \end{cases} \quad (1)$$

For fractional order derivative and integration operation, a and t are the lower and upper bounds of the operation, and $\alpha \in R$ is the fractional order (non-integer order). This general description of ${}_a D_t^\alpha$ implements classical integer order differentiation and integration operations for integer values of α . The Caputo definition gains significance in system analysis and design problems. The Caputo definition of fractional order differentiation was given based on Euler's gamma function $\Gamma(\cdot)$, as follows [2,3],

$${}_a D_t^\alpha = \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)} \int_a^t \frac{f^{(n)}(\tau)}{(t-\tau)^{\alpha-n+1}} d\tau, \quad (2)$$

where $n-1 \leq \alpha < n$. Laplace transform of ${}_0 D_t^\alpha f(t)$ was written as $L(D^\alpha f(t)) = s^\alpha F(s)$ for zero initial conditions [2,3,6]. By using this property, time domain fractional order system models was written by fractional order differential equations in a general form as [1-3,6],

$$\begin{aligned} & a_n D^{\alpha_n} y(t) + a_{n-1} D^{\alpha_{n-1}} y(t) + \\ & \dots + a_1 D^{\alpha_1} y(t) + a_0 y(t) \\ & = b_m D^{\varphi_m} u(t) + b_{m-1} D^{\varphi_{m-1}} u(t) + \dots \\ & \dots + b_1 D^{\varphi_1} u(t) + b_0 u(t) \end{aligned} \quad (3)$$

By applying Laplace transform, it is expressed in s-domain as [1-3,6]

$$T(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\sum_{i=0}^m b_i s^{\varphi_i}}{\sum_{i=0}^n a_i s^{\alpha_i}}. \quad (4)$$

This is a general form of transfer function modeling of fractional order systems, and it facilitates design and analysis of fractional order control systems in frequency domain by using $s^\alpha = (j\omega)^\alpha = \omega^\alpha (\cos(\frac{\pi}{2}\alpha) + j\sin(\frac{\pi}{2}\alpha))$ [1-3,6]. The denominator polynomial coefficients, a_i and coefficients,

b_i are positive real numbers, and fractional orders are $\alpha_i \in R$, and $\varphi_i \in R$. For the constant terms of denominator polynomial and numerator polynomial orders, one can set $\alpha_0 = 0$, and $\varphi_0 = 0$.

2.2. Direct Discretization by Recursive Tustin Transformation

Direct discretization by recursive Tustin transformation differentiator was explained in Ref [6,7]. This method is based on Muir-recursion scheme, which was originally used in geophysical data processing with applications to petroleum prospecting [7,10]. This scheme was used in recursive discretization of fractional-order differentiator according to Tustin generating function. The Tustin generating function for discretization of integer order derivative element was given for a data sampling period of T as,

$$s \approx \left(\frac{2}{T}\right) \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \quad (5)$$

One of the promising property of Tustin transformation, which is also called Bilinear transformation, is the stability preservation. It maps left half plane of continuous complex domain to unit circle of discrete complex domain and it preserves stability of model in this transformation. Tustin generating function takes a fractional order and discretization of fractional order derivative was expressed as [7],

$$s^r \approx \left(\frac{2}{T}\right)^r \frac{(1-z^{-1})^r}{(1+z^{-1})^r} = \left(\frac{2}{T}\right)^r \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{A_n(z^{-1}, r)}{A_n(z^{-1}, -r)} \quad (6)$$

Due to finite memory recourses of digital hardware, for a given fractional order r , discrete approximation of s^r was written for n^{th} order of discrete IIR filter implementation as follows [7].

$$s^r \approx \left(\frac{2}{T}\right)^r \frac{A_n(z^{-1}, r)}{A_n(z^{-1}, -r)}, \quad (7)$$

where, $A_n(z^{-1}, r)$ terms are calculated recursively [7].

$$A_0(z^{-1}, r) = 1, \quad A_n(z^{-1}, r) = A_{n-1}(z^{-1}, r) - c_n z^n A_{n-1}(z^{-1}, r)$$

$$c_n = \begin{cases} r/n, & n \text{ is odd} \\ 0 & n \text{ is even} \end{cases} \quad (8)$$

Table 1 lists the expressions of $A_n(z^{-1}, r)$ up to 9th order

IIR filter approximation. A fractional order transfer function is discretized by substituting each fractional order elements s^r terms in transfer function with discrete IIR filter approximations.

Table 1. List of formula for different orders [6,7]

n	$A_n(z^{-1}, r)$
0	1
1	$-rz^{-1} + 1$
3	$-\frac{1}{3}rz^{-3} + \frac{1}{3}r^2z^{-2} - rz^{-1} + 1$
5	$-\frac{1}{5}rz^{-5} + \frac{1}{5}r^2z^{-4} - \left(\frac{1}{3}r + \frac{1}{15}r^3\right)z^{-3} + \frac{2}{5}r^2z^{-2} - rz^{-1} + 1$
7	$-\frac{1}{7}rz^{-7} + \frac{1}{7}r^2z^{-6} - \left(\frac{1}{5}r + \frac{2}{35}r^3\right)z^{-5} + \left(\frac{26}{105}r^2 + \frac{1}{105}r^4\right)z^{-4} - \left(\frac{1}{3}r + \frac{2}{21}r^3\right)z^{-3} + \frac{3}{7}r^2z^{-2} - rz^{-1} + 1$
9	$-\frac{1}{9}rz^{-9} + \frac{1}{9}r^2z^{-8} - \left(\frac{1}{7}r + \frac{1}{21}r^3\right)z^{-7} + \left(\frac{34}{189}r^2 + \frac{2}{189}r^4\right)z^{-6} - \left(\frac{1}{5}r + \frac{16}{189}r^3 + \frac{1}{945}r^5\right)z^{-5} + \left(\frac{17}{63}r^2 + \frac{1}{63}r^4\right)z^{-4} - \left(\frac{1}{3}r + \frac{1}{9}r^3\right)z^{-3} + \frac{4}{9}r^2z^{-2} - rz^{-1} + 1$

2.3. Indirect Discrete Approximations by Using CFE Method

Series expansion methods are frequently used to obtain approximate expressions of functions. The CFE is a series expansion and finite truncation of a continuous function by the CFE method is a rational function [5,11,12,13]. The CFE method provides approximation to a fractional order element in limited frequency ranges.

CFE of fractional order elements is based on continuous fraction expansion of the term $(1+x)^\alpha$ [5,8,14,15].

$$(1+x)^\alpha = b_0 + \frac{a_1 x}{b_1 + \frac{a_2 x}{b_2 + \frac{a_3 x}{b_3 + \dots}}} \quad (9)$$

The terms of this expansion are

written $\{b_0; \frac{a_1 x}{b_1}; \frac{a_2 x}{b_2}; \frac{a_3 x}{b_3}; \dots; \frac{a_1 x}{b_1} \dots\}$ [5,15].

It has been reported in several works that integer order approximate model of fractional order derivatives by using CFE provides satisfactory accuracy for control application [14]. In this study, we used 3th order continuous CFE approximation of fractional order derivative, which was written for $0 < \alpha < 1$ as [14]:

$$s^\alpha \cong \frac{(\alpha^3 + 6\alpha^2 + 11\alpha + 6)s^3 + (-3\alpha^3 - 6\alpha^2 + 27\alpha + 54)s^2 + (-\alpha^3 + 6\alpha^2 - 11\alpha + 6)s^3 + (3\alpha^3 - 6\alpha^2 - 27\alpha + 54)s^2 + \dots}{(3\alpha^3 - 6\alpha^2 - 27\alpha + 54)s + (-\alpha^3 + 6\alpha^2 - 11\alpha + 6)} \quad (10)$$

Steps of indirect discrete approximations of fractional order derivative are as follows [16]:

Step 1: Obtain integer order approximate model of fractional order derivative term s^α by using equation (10).

Step 2: Then, these integer order CFE approximations are discretized according to Tustin transformation by using c2d(.) function in Matlab.

3. ILLUSTRATIVE DISCRETIZATION EXAMPLE

In this section, we give an illustrative example to demonstrate application of direct Tustin recursive discretization and indirect CFE approximation methods for fractional order transfer function discretization. The amplitude and phase response approximation performances of these methods and stability of resulting IIR filter approximations are compared to discuss their feasibility in applications.

Let us obtain discrete IIR filter implementation of a fractional order transfer function, give by

$$F_c(s) = \frac{1}{s^{0.8} - 1} \quad (11)$$

For this purpose, one first obtains IIR filter approximation of $s^{0.8}$ and then substitutes it in the function $F_c(s)$.

(i) For application of the direct Tustin recursive method, $A_3(z^{-1}, 0.8)$ and $A_3(z^{-1}, -0.8)$ can be written by using Table 1 as follows,

$$A_3(z^{-1}, 0.8) = -0.2667z^{-3} + 0.2133z^{-2} - 0.8z^{-1} + 1 \quad (12)$$

$$A_3(z^{-1}, -0.8) = 0.2667z^{-3} + 0.2133z^{-2} + 0.8z^{-1} + 1 \quad (13)$$

Then, the term of $s^{0.8}$ is discretized for a sampling period (T) of 0.01 by using equation (7) as,

$$s^{0.8} \approx \left(\frac{2}{0.01}\right)^{0.8} \frac{-0.2667z^{-3} + 0.2133z^{-2} - 0.8z^{-1} + 1}{0.2667z^{-3} + 0.2133z^{-2} + 0.8z^{-1} + 1} \quad (14)$$

For the third order IIR filter implementation of $F_c(s)$, the equation (14) is used in equation (11) and one obtains,

$$F_{tustin}(z) = \frac{1 + 0.8z^{-1} + 0.2133z^{-2} + 0.2667z^{-3}}{68.31 - 56.25z^{-1} + 14.57z^{-2} - 18.75z^{-3}} \quad (15)$$

(ii) For application of the indirect CFE approximation method, the third order CFE approximation of $s^{0.8}$ can be obtained in continuous frequency domain by using equation (10) as,

$$s^{0.8} \cong \frac{19.15s^3 + 70.22s^2 + 30.1s + 0.528}{0.528s^3 + 30.1s^2 + 70.22s + 19.15} \quad (16)$$

Then, we used CFE approximation of $s^{0.8}$ (equation (16)) in equation (11) and obtained integer order approximation of $F_c(s)$ as,

$$F_{int} \cong \frac{0.528s^3 + 30.1s^2 + 70.22s + 19.15}{18.62s^3 + 40.12s^2 - 40.12s - 18.62} \quad (17)$$

After using c2d() function of Matlab, which use basic Tustin generating function (Equation (5)), a third order IIR filter implementation of $F_c(s)$ by indirect CFE method can be obtained as,

$$F_{cfe}(z) = \frac{z^3 - 2.555z^2 + 2.121z - 0.5655}{35.27z^3 - 105z^2 + 104.3z - 34.5} \quad (18)$$

Figure 1 illustrates the amplitude responses of original continuous FOTF ($F_c(s)$), indirect CFE method and direct Tustin recursive method. Figure 2 illustrates the phase response results of those methods.

We observed that the indirect CFE approximation method can better converges to original fractional order transfer function in the low frequency region, however the direct Tustin recursive discretization method can provide an approximation to the original fractional order transfer function at high frequency region.

Consequently, indirect CFE approximation method can be effective for applications with low frequency operating ranges such as control system applications. It is useful to check stability of discrete filter approximations of $F_c(s)$ function. For signal processing applications, filters should be designed stable. Otherwise, the filter is useless for practical application.

However, stability of controlled system models is not crucial for control applications because controllers are designed to stabilize the control system. Here, the model accuracy is more substantial for control application so that design of effective controllers depends on plant model accuracy.

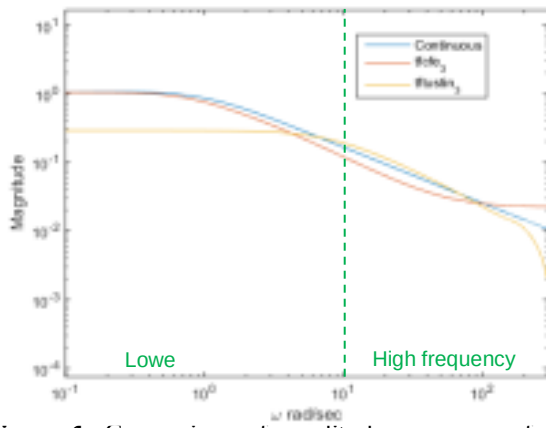


Figure 1. Comparison of amplitude responses of original continuous FOTF, the IIR filter implementation by indirect CFE method (tfcfe₃) and the IIR filter implementation by direct Tustin recursive method (tftustin₃).

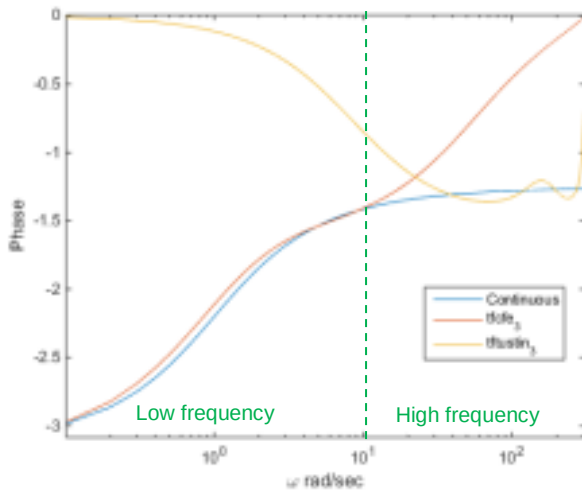


Figure 2. Comparison of phase responses of original continuous FOTF, the IIR filter implementation by indirect CFE method (tfcfe₃) and the IIR filter implementation by direct Tustin recursive method (tftustin₃).

Figure 3 and 4 show pole placement in complex Z plane to check stability of resulting IIR filters. Since all poles of $F_{tustin}(z)$ is in unit circle, $F_{tustin}(z)$ is stable and provides stable IIR filter approximation to $F_c(s)$ function.

In this example, some poles of $F_{cfe}(z)$ place out of the unit circle as shown in Figure 4, and this indicates that $F_{cfe}(z)$ is not a stable filter solution. So, unstable $F_{cfe}(z)$ function is not useful for signal processing applications. Figure 5 shows step responses of approximate filters and confirms stability status of $F_{tustin}(z)$ and $F_{cfe}(z)$ filter functions. Since $F_{cfe}(z)$ provides satisfactory frequency response approximation at the low frequency region, it can be useful for control applications.

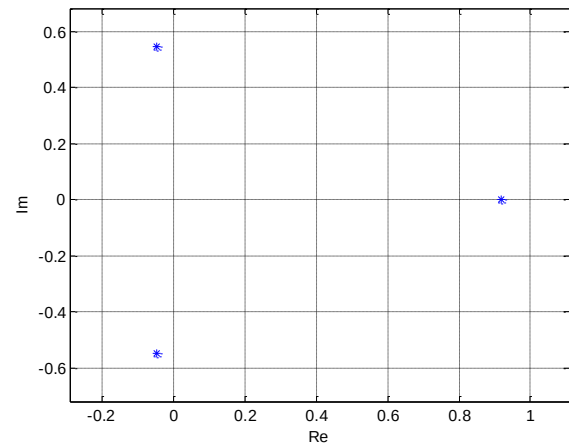


Figure 3. Poles of $F_{tustin}(z)$ function

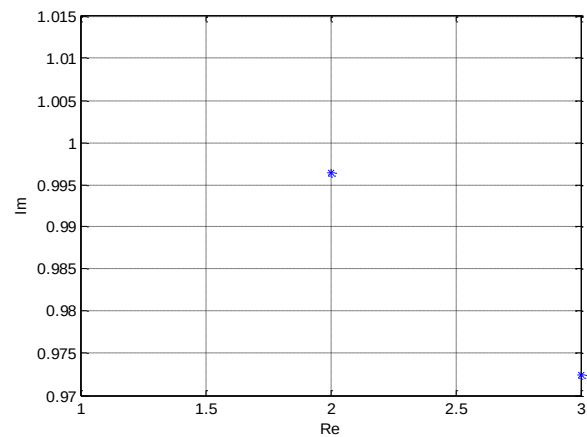


Figure 4. Poles of $F_{cfe}(z)$ function

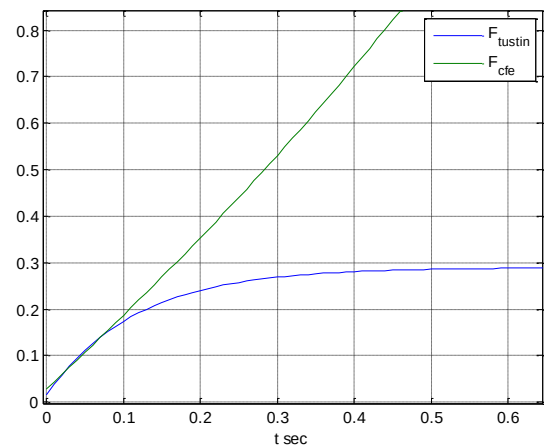


Figure 5. Step responses of $F_{tustin}(z)$ and $F_{cfe}(z)$ functions

4. CONCLUSIONS

Comparisons of these two approaches indicate that indirect CFE approximation method can be used for low-frequency applications such as control system applications. However,

direct Tustin recursive discretization can more effective for high frequency applications such as filter realization applications. These results show that, depending on operating frequency ranges of applications, more convenient analytical discretization method should be preferred based on consideration of frequency response matching and stability status. Otherwise, practical performance of fractional order system deteriorates because its approximate implementation purely represents the behavior of original fractional order function in operating ranges. Therefore, investigation of approximation performances of discretization methods should be carried out, and effective methods regarding to application requirements should be chosen. Otherwise, one may not adequately benefit from advantages of fractional order systems in engineering applications.

REFERENCES

- [1] I. Petras, "Fractional-order nonlinear systems: modeling, analysis and simulation", Beijing: Springer, 2011.
- [2] C.A. Monje, Y.Chen, B.M. Vinagre, D. Xue, V. Feliu-Batlle, "Fractional-order Systems and Controls: Fundamentals and Applications", Springer-Verlag: London, 2010
- [3] D. Xue and Y.Q. Chen, "Modeling, Analysis and Design of Control Systems in MATLAB and Simulink". World Scientific Publishing Company: Singapore, 2014
- [4] D. Valério and J.S da Costa, "Time-domain implementation of fractional order controller", IEEE Proc., Control Theory Appl. 152(5), 539-552, 2005.
- [5] Zhe Gao · Xiaozhong Liao, "Rational approximation for fractional-order system by particle swarm optimization", Nonlinear Dyn , 67:1387-1395, 2012.
- [6] Y.Q. Chen, I. Petras and D. Xue, "Fractional Order Control - A Tutorial", American Control Conference , 200, USA , pp. 1397-1411, June 10-12, 2009.
- [7] M.B. Vinagre, Y.Q. Chen, and I. Petras, "Two direct Tustin discretization methods for fractional-order differentiator /integrator", Journal of the Franklin Institute 340.5: 349-362, 2003
- [8] Y.Q. Chen, B.M. Vinagre and I. Podlubny, "Continued fraction expansion approaches to discretizing fractional order derivatives—an expository review", Nonlinear Dynamics, 38(1-4), 155-170, 2004.
- [9] Y.Q. Chen and K.L. Moore, "Discretization schemes for fractional-order differentiators and integrators", IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications, vol. 49, no 3, pp. 363-367, 2002.
- [10] J.F. Claerbout, "Fundamentals of Geophysical Data Processing with Applications to Petroleum Prospecting", Oxford:Blackwell Scientific Publications, 1976.
- [11] G. Maione, "Concerning continued fractions representation of noninteger order digital differentiators", IEEE Signal Process. Lett. 13(12), 725-728, 2006.
- [12] G. Maione, "Continued fractions approximation of the impulse response of fractional-order dynamic systems." IET Control Theory Appl. 2(7), 564-572, 2008.
- [13] H.S. Wall, "Analytical Theory of Continued Fractions", Van Nostrand:New York,1948.
- [14] D.P. Atherton, N. Tan, C. Yeroglu, G. Kavuran and A. Yüce, "Limit cycles in nonlinear systems with fractional order plants ", Machines 2.3: 176-201, 2014
- [15] Y.Q. Chen and B.M. Vinagre, "A new IIR-type digital fractional order differentiator", Signal Process. 83(11), 2359-2365 ,2003.
- [16] I. Mutlu, "Kesirli Mertebeden Kontrolörler ve Uygulamaları", Master Thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.

Aktif Karbon Üretiminde Yüksek Kükürtlü Kömürlerin Kullanılabilirliğinin Araştırılması

*¹Uğur Demir, ²Sezer Elbinsoy

¹Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, ugur.demir@dpu.edu.tr, 

²Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, sezer331@hotmail.com

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 13.12.2017

Kabul Tarihi: 28.09.2018

Öz

Aktif karbon, genellikle odun, kömür, Hindistan cevizi kabuğu gibi çeşitli zirai atıklardan üretilmektedir. Bu çalışmada, aktif karbon üretilmesi için hammadde olarak yüksek oranda kükürt içeren kömür kullanılmıştır. Aktif karbon üretiminde fiziksel aktivasyon yöntemi uygulanmış, bu yöntemde etkili olan aktivasyon sıcaklığı (350-950 °C), aktivasyon süresi (5-120 dakika), tane boyut (0,25-2 mm) gibi değişkenlerin etkileri araştırılmıştır. Aktif karbon üretiminde hammadde olarak kullanılan kömür numunesinin BET yüzey alanı 56 m²/gr iken en uygun çalışma şartlarında herhangi bir gaz girişinin olmadığı işlemde elde edilen aktif karbonun BET yüzey alanı 485 m²/gr ve inert bir gaz olan N₂ ile yapılan işlem ile elde edilen aktif karbonun BET yüzey alanı 510 m²/gr olarak ölçülmüştür. Ayrıca elde edilen aktif karbonun çözeltiden Cu²⁺ iyonlarını uzaklaştırma kabiliyetleri incelenmiştir. Her iki çalışma şartlarında çözeltideki Cu²⁺ iyonlarının yaklaşık %97'si uzaklaştırılabilmektedir. Yapılan bu çalışma ile çevresel sorun oluşturan yüksek oranda kükürt içeren kömürlerin yakıt dışı alanlarda kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aktif karbon, kömür, kükürt, fiziksel aktivasyon yöntemi

Investigation of the Usability of High Sulfur Coal in Activated Carbon Production

*¹Uğur Demir, ²Sezer Elbinsoy

¹ Dumlupınar University, Engineering Faculty, Department of Mining Engineering, ugur.demir@dpu.edu.tr

² Dumlupınar University, Engineering Faculty, Department of Mining Engineering, e-mail

Abstract

Activated carbon was especially produced from wood, lignite, organic agricultural wastes such as coconut shale. In this study, high sulfur contained coal was used as a precursor to production of activated carbon. In the activated carbon production, physical activation method was applied and several operation parameters such as activation temperature (350-950 °C), activation time (5-120 min.) and particle size of coal samples (0,25-2 mm) were investigated. High sulfur contained coal samples has 56 m²/gr BET surface area. Produced activated carbons at optimum conditions have 485 m²/gr and 510 m²/gr BET surface areas in any gas inherent media and N₂ gas media, respectively. Furthermore, abilities of removal of Cu²⁺ ions from solution of produced activated carbons were investigated. In both operation conditions, approximately 97% Cu²⁺ ions in solutions can be removed. As a result, it was determined that high sulfur coals caused environmental problems can be used in non-fuel areas.

Keywords: Activated carbon, coal, sulfur, physical activation method

1. GİRİŞ

Aktif karbon, yüksek oranda gözenekliliğe sahip bir materyaldir. Gözenekliliğin yüksek olması, absorpsiyon kapasitesinin de yüksek olmasına neden olduğundan, birçok

gazların ve sıvıların içerdikleri safsızlıkların uzaklaştırılmasında aktif karbonlar yaygın olarak kullanılmaktadır [1,2]. Aktif karbonlar içerdikleri gözeneklerin yarıçaplarına (boyutlarına) göre International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) tarafından

mikro gözenekler (<2 nm), mezo gözenekler (2-50 nm) ve makro gözenekler (>50 nm) olarak üç gruba ayrılmaktadır [3,4]. Aktif karbonlarda mikro gözenekler genellikle toplam yüzey alanının %95'ini oluşturmaktadır [5].

Aktif karbon, bol miktarda bulunan ve ucuz olan yüksek oranda karbon içeren malzemelerden üretilmektedir. Bu malzemelerin bazıları; ahşap, kömür, turba, hindistan cevizi kabuğu gibi çeşitli meyve ve zirai atıklardır [3-13]. Aktif karbonun üretildiği hammaddelerin özellikleri üretilen aktif karbonun kalite ve özellikleri üzerinde doğrudan etkisi olmaktadır [2,8,7,14]

Aktif karbon üretiminde yaygın olarak kullanılan hammaddelerden birisi kömürdür. Kömür, dünyadaki en önemli enerji kaynaklarından birisidir. Kömür rezervlerinin dünyanın birçok yerinde ve önemli miktarda bulunması, geçmişte olduğu gibi gelecekte de kömürün önemini koruyacağını göstermektedir. Düşük kaliteli kömürlerin çok büyük miktarlarda tüketildiği özellikle termik santrallerde, yanma reaksiyonu sonucu ortaya çıkan kükürt oksitler, azot oksitler, partikül maddeler ve hidrojen sülfidler gibi kirleticiler atmosfere salınmaktadır [15-18]. Atmosfere salınan bu kirleticiler, başta hava kirliliği, asit yağmurları ve sera etkisi gibi çok ciddi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Çevresel sorun oluşturan kömürün, yakıt dışı kullanım alanlarının araştırılması, doğal kaynakların optimum oranda ekonomiye kazandırılması açısından büyük önem arz etmektedir. Düşük kaliteli kömürlerin ortak özelliği, içerdikleri yüksek oranda kükürt, azot, nem, kül ve düşük ısı değere sahip olmalarıdır. Bu çevresel sorunların ana sorumlularından biri kömürde bulunan kükürttür. Kükürt kömürde, organik ve inorganik formlarda olmak üzere iki şekilde bulunmaktadır. İnorganik kükürt genel olarak iki ana formda disülfidler (pirit ve markasit) ve sülfatlar (kalsiyum, demir ve baryum sülfat) şeklinde, organik kükürt ise kömürün organik yapısı (makriksi) ile doğrudan bağ yapmış şekilde bulunmaktadır [15-20]. İnorganik ve organik kükürdün toplamı kömürde toplam kükürt olarak ifade edilmektedir. Organik kükürt oranı toplam kükürt içerisinde %50 civarında bulunuyor ise kükürdün ekonomik yollarla kömürden uzaklaştırılması mümkün görülmemektedir.

Yüksek oranda karbon içeren hammaddeden aktif karbonun üretilmesi aşamasında kontrollü ısı işleminden yararlanılmaktadır. Hammaddeye uygulanan bu ısı işlemi, aktivasyon olarak tanımlanmakta ve iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada ısı işlemi (karbonizasyon) tabi tutulan hammadden, düzensiz karbon ve katran seçimli olarak uzaklaştırılmakta ve bunun sonucu olarak da kapalı gözenekler açılmaktadır. İkinci aşamada ise, tepkime sırasında aromatik sistem bozundurulurken, mevcut gözeneklerin genişlemesi veya komşu gözenekler arasındaki duvarların yıkılması sonucunda, daha büyük gözeneklerin oluşması sağlanmaktadır [3,21]. Böylece makro ve mezo gözenekler artmakta, mikro gözenekler azalmaktadır [22]. Aktivasyon işleminde kullanılan hammaddeye ve aktivasyon süresine bağlı olarak mikro, mezo ve makro gözenek yapısı değişiklikler göstermektedir. Aktif karbonun en önemli

özellikleri olan gözenekliliğin oluşması, karbonizasyonu takip eden aktivasyon işlemi ile sağlanmaktadır [23,24]. Aktif karbonun aktivasyonu fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Her iki yöntem de başlangıç maddesinin dekompozisyonunu içermektedir.

Kömürden aktif karbon üretilmesine yönelik yapılmış bazı çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir. Döngel [25] yapmış olduğu çalışmada 3 farklı Zonguldak taşkömürünü aktif karbon üretmek amacıyla kullanmıştır. Aktif karbon üretmek amacıyla önce karbonizasyon ardından fiziksel aktivasyon yöntemleri uygulanmıştır. 900 °C karbonizasyon sıcaklığı ve 900 °C aktivasyon sıcaklığında elde edilen aktif karbonların 760,82-950,27 mg/gr iyot numaralarına sahip ürünlerin elde edildiğini belirtmiştir. Kopaç ve Toprak [4] yine 2 farklı Zonguldak taşkömüründen fiziksel ve kimyasal aktivasyon yöntemleri uygulanarak aktif karbon üretilmesine çalışmışlardır. Fiziksel aktivasyon yönteminde N₂ aktive edici olarak kullanılırken, KOH, NH₂Cl ve ZnCl₂ kimyasal aktivasyonda aktive edici kimyasal maddeler olarak kullanılmıştır. Fiziksel aktivasyon ile 52,62 m²/gr BET yüzey alanına sahip aktif karbon elde edilirken, kimyasal aktivasyon ile 830,5 m²/gr BET yüzey alanına sahip aktif karbonun üretildiği belirtilmiştir. Çuhadaroglu ve Uygun [9] yine Zonguldak taşkömürlerinden aktif karbon üretilmesinde kimyasal aktivasyon yöntemini uygulamışlar, bu amaçla aktivasyon kimyasalları olarak Na₂CO₃, H₃PO₄, NaOH ve KOH kullanmışlardır.

Aktivasyon aşamasında farklı kimyasal oranları ve aktivasyon sıcaklıklarının etkileri incelenmiş, KOH ve NaOH ile aktivasyon sonucu elde edilen aktif karbonların diğer ürünlere göre daha yüksek yüzey alanlarına sahip olduklarını ifade etmişlerdir. Orbak [26] yapmış olduğu çalışmada Tunçbilek kömürlerini aktif karbon üretiminde hammadde olarak kullanmış ve aktivasyon için ise fiziksel aktivasyon yöntemini seçmiştir. Aktivasyon ortamı olarak CO₂ kullanmıştır. Elde edilen aktif karbonların önemli oranda yüzey alanına sahip olduğu belirtilmektedir. Elbinsoy [13] Kütahya-Gediz yöresi kömürlerinden aktif karbon üretmek amacıyla fiziksel ve kimyasal aktivasyon yöntemleri uygulamış, fiziksel aktivasyon için CO₂ ve N₂ kullanırken, kimyasal aktivasyon için ZnCl₂ ve KOH kullanmıştır. Yapılan bu çalışma sonucu CO₂ ile fiziksel aktivasyon sonucu 618 m²/gr, ZnCl₂ ile 733 m²/gr BET yüzey alanlarına sahip aktif karbon üretildiğini belirtmiştir. Ahmadpour ve diğ. [27] bitümlü kömürden aktif karbon üretmek amacıyla fiziksel ve kimyasal aktivasyon yöntemleri uygulamışlardır. Fiziksel aktivasyonda aktive edici olarak CO₂ gazı kullanılmış, kimyasal aktivasyonda ise KOH ve ZnCl₂ kullanılmıştır. Fiziksel aktivasyon sonucunda kömürden elde edilen aktif karbonun BET yüzey alanı 754 m²/gr iken fiziksel aktivasyon sonrası uygulanan kimyasal aktivasyon sonucunda BET yüzey alanının 1203 m²/gr'a yükseldiği belirtilmiştir. Solano ve diğ. [28] aktif karbon üretmek amacıyla hammadde olarak 4 farklı bitümlü kömür kullanmışlardır. Aktif karbon üretiminde CO₂ ve H₂O+N₂ karışımının kullanıldığı fiziksel aktivasyon

yönteminin uygulandığını belirtmişlerdir. CO₂ kullanılarak 1404 m²/gr BET yüzey alanına sahip aktif karbonun üretildiğine ifade etmektedirler. Jasienko ve Kedzior [29] yapmış oldukları çalışmada yüksek ranklı ve yüksek uçucu madde oranına sahip kömürleri kullanmışlardır. Fiziksel aktivasyon yönteminin tercih edildiği bu çalışmada aktive edici olarak buhar ve CO₂ kullanılmış elde edilen ürünlerin BET yüzey alanları oldukça yüksek seviyelerde olduğunu belirlenmiştir. Pis ve diğ. [7,22,30] yapılan bu seri çalışmalarda aktif karbon üretiminde farklı kalite, orijin ve tane boyutlarındaki kömürlerden yararlanılmışlardır. İlk çalışmada (1996) kömürün oksidasyonunun fiziksel bazı özellikler üzerindeki etkilerini incelemişler, ön oksidasyon işleminin yüzey alanı artışı ve gözenekliliğin olumlu yönde etkilendiğini ifade etmişlerdir. İkinci çalışmada (1997) oksidasyona tabi tutulan kömür numunelerinin karbonizasyonu amacıyla farklı sıcaklıklarda ısı işlem uygulamışlar ve elde edilen gözenekli malzemenin özelliklerini tespit etmişlerdir. Oksidasyon sonrası karbonizasyonun gözenek oluşumunu olumlu yönde etkilediğini tespit etmişlerdir. Son çalışmada (1998) ise oksidasyona uğramış, karbonizasyon işlemine tabi tutulmuş kömür numunelerini CO₂ gazı altında aktivasyon işlemine tabi tutmuşlar ve elde edilen ürünün karakterizasyonu üzerinde durmuşlardır.

Bu çalışmada yüksek oranda kükürt içeren Kütahya-Gediz yöresi kömürlerinden aktif karbon üretilmesine yönelik deneyler yapılmış, aktif karbon üretim parametrelerinden aktivasyon sıcaklığı, aktivasyon süresi ve tane boyutunun etkileri incelenmiş, en yüksek oranda BET yüzey alanı ve çözültiden Cu²⁺ iyonlarının uzaklaştırma oranının elde edildiği çalışma şartları belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

Deneysel çalışmalarda kullanılan kömür numuneleri, Kütahya merkeze yaklaşık 90 km ve Gediz ilçe merkezine yaklaşık 25 km mesafedeki Gökler kasabasında faaliyet gösteren özel bir şirkete ait kömür ocağından alınmıştır. Temsili olarak alınan kömür numuneleri deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere boyut küçültme işlemine tabi tutulmuş, konileme-dörtleme yöntemi ile azaltma işlemi uygulanmış ve özelliklerinin değişmesinin engellenmesi amacıyla hava geçirmez kilitli poşetlerde depolanmıştır.

Gediz yöresi kömürleri üzerinde yapılan kısa analiz sonuçları Tablo 1’de, elementer analiz sonuçları ise Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 1 ve 2 incelendiğinde yöre kömürlerinin %7,06 toplam kükürt içeriğine sahip olduğu, bu kükürdün ise yarıya yakınının (%2,89) organik kökenli olduğu görülmektedir. Ayrıca, yöre kömürlerinin yüksek oranda kül içermesine (%25,99) rağmen ısı değerinin (5607 kcal/kg) yüksek olduğu belirlenmiş (Tablo 1), bu hali ile yöre kömürlerinin yakıt olarak kullanımının önemli çevresel sorunlar oluşturacağı düşünülmektedir. Kükürt analizleri LECO marka SC 144 DR model Kükürt-Karbon cihazında, ısı değerler İka marka c7000 model kalorimetrede, kül analizleri ise Nüve marka MF120 model kül fırınında

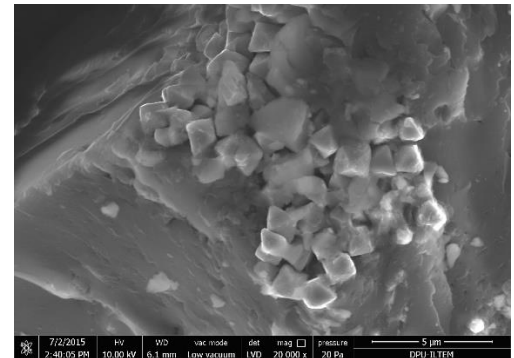
standartlara (ASTM D3174, ASTM D3177, ASTM D2015) uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’de Gediz yöresi kömürlerinin taramalı elektron mikroskop (SEM) ile 20000 kez büyütülmüş görüntüsü görülmektedir. Şekil 1’den de görüldüğü üzere yöre kömürleri çok ince boyutta pirit tanecikleri içermektedir. Piritin büyük bölümü kömür parçaları içinde kenetli halde, az miktarda kükürt serbest taneler halinde bulunduğu mineralojik analizlerde belirlenmiştir.

Tablo 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kömür numunesinin kısa analiz sonuçları

Kısa analiz	(%)
Nem	3,3
Kül	25,99
Uçucu madde	32,81
Sabit Karbon	37,90
Alt Isıl Değer	5607 kcal/kg

Tablo 2. Deneysel çalışmalarda kullanılan kömür numunesinin elementer analiz sonuçları

Elementer Analiz	(%)
Karbon	78,41
Hidrojen	5,12
Azot	1,61
Oksijen (farktan)	7,8
Toplam Kükürt	7,06
Organik Kükürt	2,89
Piritik Kükürt	3,55
Sülfat Kükürdü	0,62



Şekil 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kömür numunesinin SEM görüntüsü (20000 kez büyütülmüş)

Deneysel çalışmalarda kullanılan temsili kömür numunesi çeneli kırıcıda iki kademe olarak kırıldıktan sonra +2, -2+1, -1+0.5, -0.5+0.25 ve -0.25 mm boyut gruplarına ayrılmıştır. Tane boyutuna bağlı olarak kül ve kükürtte meydana gelen değişim Tablo 3’de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi tane boyutu küçüldükçe kül oranında belirgin bir artış meydana gelirken, kükürt oranlarından belirgin bir değişim görülmemektedir.

Tablo 3. Tane boyut dağılımı ve kükürt içeriği

Tane Boyutu (mm)	Kül (%)	Kükürt (%)
+2	21,16	6,87
-2+1	22,44	6,84
-1+0.5	31,07	6,73
0.5+0.25	32,50	6,70
-0.25	33,47	7,12
Besleme	24,99	7,06

Yüksek oranda kükürt içeren Gediz yöresi kömürlerinden aktif karbon üretmek amacıyla fiziksel aktivasyon yöntemi uygulanmıştır. Aktivasyon aşamasında Nüve MF120 marka kül fırını ve 7,5 cm çap ve 8 cm yüksekliğinde özel imalat kapaklı silindirik reaksiyon kabı (retort) kullanılmıştır.

Fiziksel aktivasyon testleri iki farklı şekilde uygulanmıştır. Birincisi herhangi bir gaz girişinin olmadığı ortamda aktivasyon işlemi, ikincisi ise inert bir gaz N₂'nin kontrollü olarak ortama verildiği aktivasyon işlemidir. Gaz girişinin olmadığı ve N₂ gazının kontrollü olarak verildiği deneylerin gerçekleştirildiği düzenek Şekil 2 ve 3'de verilmiştir.

Deneyisel çalışmalarda 20 gr temsili kömür numunesi silindirik reaksiyon kabına konulmuş, önceden belirlenen sıcaklık ve sürelerde aktivasyon işlemine maruz bırakılmıştır. Aktivasyon işleminden sonra kül fırından çıkarılan retort oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan numune retorttan alındıktan sonra tartılmış, halkalı değirmende kısa bir süre ufalanmış kükürt ve kül analizleri yapılmıştır.

Elde edilen ürünlerin absorpsiyon kabiliyetinin belirlenmesi amacıyla içerisinde 0,5 ppm Cu²⁺ bulunan çözelti ile absorpsiyon testleri gerçekleştirilmiş, çözeltiden en yüksek oranda Cu²⁺ iyonu uzaklaştırılan ürünlerin BET yüzey alanları Micromeritics marka Asap 2020 model cihaz ile ölçülmüştür.

Absorpsiyon testleri, elde edilen aktive edilmiş kömür numunelerinin çözeltiden uzaklaştırıldığı Cu²⁺ iyonu miktarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. 0,5 ppm Cu²⁺ içeren 50 ml çözelti içerisine 0,05 gr aktif karbon ilave edilmiş ve farklı sürelerde (10, 20, 30, 60, 90 ve 120 dak.) izotermal çalkalayıcı kullanılarak karıştırılmış, işlem sonrasında aktif karbon ile çözelti filtre kâğıdı kullanılarak birbirinden ayrılmıştır. Çözeltide kalan Cu²⁺ miktarının belirlenmesi amacıyla Perkin Elmer AAnalyst 400 model Atomik Absorpsiyon Spektrometresi kullanılmıştır. Test sonucu Cu²⁺ uzaklaştırma oranı (%R) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R(\%) = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100$$

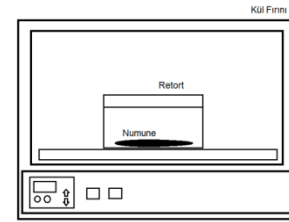
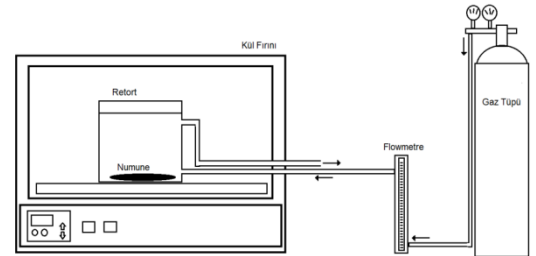
Burada; C₁: ilk çözelti konsantrasyonu (ppm), C₂: absorpsiyon sonrası çözelti konsantrasyonu (ppm).

Her iki aktivasyon testlerinde incelenen deney değişkenleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Deneyisel çalışmalarda kullanılan değişkenler ve değerleri

Değişken	Değerler
Aktivasyon sıcaklığı (°C)	350, 450, 500, 650, 750, 850, 950
Aktivasyon süresi (dak)	5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120
Tane boyutu (mm)	+2, -2+1, -1+0.5, -0.5+0.25, -0.25

Elde edilen aktif karbonların BET yüzey analizi ve absorpsiyon kabiliyetleri ticari olarak kullanılan Hindistan cevizi kabuğundan üretilmiş olan Chemviron marka Goldcarb 207c aktif karbon ile karşılaştırılmıştır. Ticari aktif karbon 1100 m²/gr BET yüzey alanına sahiptir ve çözeltide bulunan Cu²⁺ iyonlarının neredeyse tamamını ilk birkaç dakikalık absorpsiyon test süresi içerisinde uzaklaştırabilmektedir.

**Şekil 2.** Herhangi bir gaz girişinin olmadığı (gazsız) aktivasyon deney düzeneği**Şekil 3.** N₂ gazının kontrollü olarak verildiği aktivasyon deney düzeneği

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

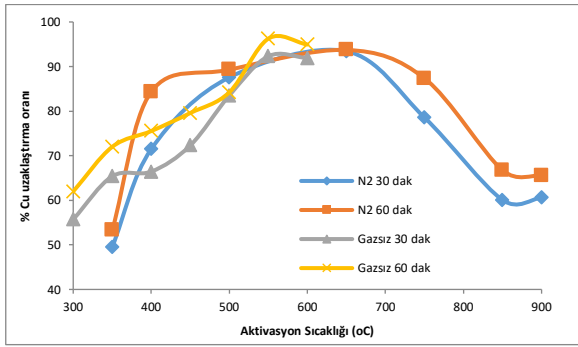
3.1. Aktivasyon Sıcaklığının etkisi

Aktif karbon üretimindeki en önemli çalışma parametrelerinden biri olan aktivasyon sıcaklığının etkilerini belirlemek amacıyla 350-950°C sıcaklıklarda, hem gazsız hem de N₂ gazı altında deneyler yapılmıştır. Elde edilen aktif karbonların çözeltiden Cu²⁺ absorpsiyon testleri yapılmış (30-60 dakikalık testler) elde edilen sonuçlar Şekil 4'de verilmiştir. Sıcaklık artışı ile birlikte yüksek oranda kükürt içeren kömür matriksi kademeli olarak yumuşamaya ve plastik bir yapıya dönüşmektedir.

Kömür bünyesinde bulunan çeşitli uçucu yapılar (N₂, CO, CO₂, CH₄ vs.) yumuşamanın etkisi ile bünyeyi terk etmeye başlamakta ve uzaklaşan uçucular geride gözenekli bir yapının oluşmasını sağlamaktadır [13]. Şekil 4'de görüldüğü üzere artan sıcaklığa bağlı olarak gazsız ortamda 500 °C'ye,

N_2 kullanılan ortamda $650^\circ C$ 'ye kadar çözeltiden uzaklaştırılan yani absorblanan Cu^{2+} miktarı artmaktadır. Absorbsiyon kabiliyetinin artması gözenekliliğinde sürekli olarak arttığını göstermektedir. Bu sıcaklıktan sonra ise absorblanan Cu^{2+} miktarı yani gözenek oluşumu önce durmakta, devam eden sıcaklık ile birlikte oluşan mikro gözenekler deformasyona uğrayarak mezo ve makro gözeneklere dönüşerek yüzey alanında ve absorblanan Cu^{2+} iyonu miktarında önemli oranda azalmalar meydana gelmektedir.

Gazsız ortamda meydana gelen gözenekli yapı ile N_2 gazı altında meydana gelen gözenekli yapılar karşılaştırıldığında inert bir gaz olan N_2 ile daha yüksek Cu^{2+} uzaklaştırma oranı (%93,73 ve %93,00) elde edildiği belirlenmiştir. İnert özellikteki N_2 gazı aktivasyon işlemi sırasında kömür ile herhangi bir reaksiyona girmedikleri için çok az miktarda CO ve CO_2 çıkışı söz konusu olmaktadır.



Şekil 4. Aktivasyon sıcaklığının Cu^{2+} uzaklaştırmaya olan etkisi

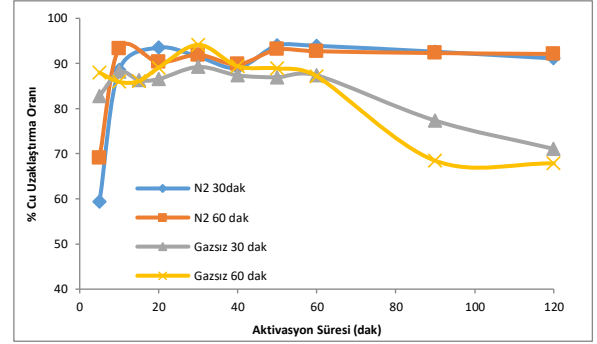
3.2. Aktivasyon süresinin etkisi

Gazsız ortamda $550^\circ C$, N_2 gazı ile yapılan deneylerde $650^\circ C$ 'de en yüksek oranda Cu^{2+} iyonunun uzaklaştırıldığı tespit edildikten sonra aktivasyon süresinin etkisinin belirlenmesi amacıyla 5-120 dakika arasında aktivasyon deneyleri yapılmış ve elde edilen aktif karbon ile yapılan 30 ve 60 dakikalık absorpsiyon test sonuçları Şekil 5'de verilmiştir. Sıcaklık artışı ile birlikte artan gözeneklilik kömür numunesinin aktivasyon işleminde kalma süresi ile birlikte çeşitli değişimlerin meydana gelmesine neden olmaktadır.

Gazsız ortamda ilk 20 dakikalık sürede, N_2 gazı altında ise ilk 30 dakikalık işlem süresine kadar uzaklaştırılan Cu^{2+} iyonu miktarında ve gözeneklilikte sürekli olarak bir artış meydana gelirken, bu sürelerden sonra yeni gözeneklerin oluşmadığı, artan süreye bağlı olarak uzaklaştırılan Cu^{2+} 'de bir miktar azalmanın olduğu bile gözlenmektedir. Aktivasyon süresindeki artış, oluşan gözenekli yapının deformasyonuna neden olmaktadır.

Bu durumda çözeltiden uzaklaştırılan Cu^{2+} iyonu miktarında önemli miktarlarda azalmalara sebebiyet vermektedir. Bu sonuçlar göz önünde tutulduğunda gazsız ortamda 20 dakikalık aktivasyon süresinde çözeltiden Cu^{2+} 'nin %95,3'ü, N_2 gazı

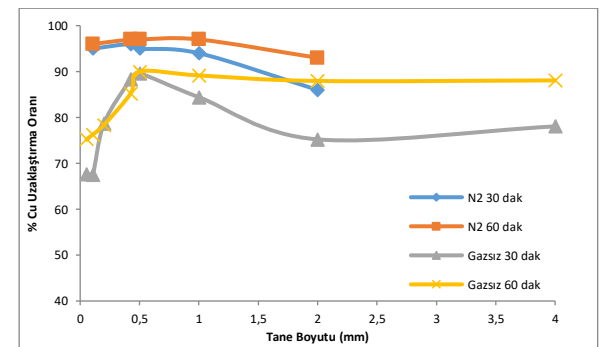
altında ise 30 dakikalık aktivasyon süresinde ise çözeltiden Cu^{2+} 'nin %96,3'nün uzaklaştırılabildiği belirlenmiştir.



Şekil 5. Aktivasyon süresinin Cu^{2+} uzaklaştırmaya olan etkisi

3.3. Tane boyutunun etkisi

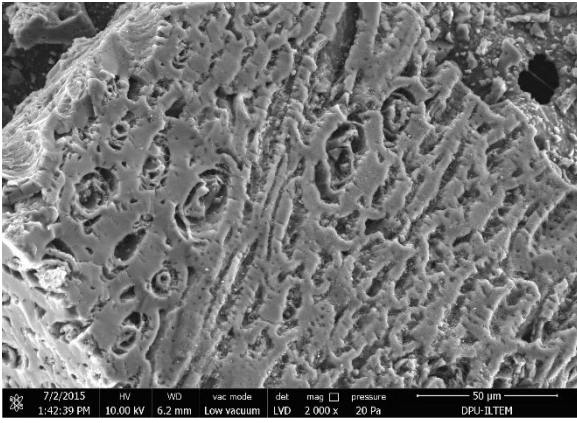
Aktivasyon sıcaklığı ve süresinin aktif karbon üretilmesine olan etkileri belirlendikten sonra aktivasyon işleminde kullanılan kömür numunelerinin tane boyutunun etkilerinin belirlenmesi amacıyla farklı tane boyutlarında (+4, -4+2, -2+1, -1+0,5, -0,5+0,25 ve -0,25 mm) gruplandırılan kömür numuneleri belirlenen şartlarda aktivasyon işlemine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde tane boyutu küçüldükçe N_2 gazı altında yapılan deneylerden elde edilen ürünler ile uzaklaştırılan Cu^{2+} miktarında az da olsa bir artış olduğu, gazsız ortamda elde edilen ürünlerde ise -0,5 mm tane boyutuna kadar artışın meydana geldiği daha küçük tane boyutlarında belirgin bir azalmanın olduğu görülmektedir. Bu durum tane boyutu küçüldükçe ısı işlemin tüm tanecikler ile daha etkin bir şekilde etkileşime girdiği, yumuşama ve uçucuları bünyeyi terk etmesi ile oluşan gözenekliliğin daha yüksek oranda olduğu belirlenmiştir. Tane boyutu daha da küçüldüğünde aktivasyon süresi deneylerinde olduğu gibi gözeneklilikte ve uzaklaştırılan Cu^{2+} miktarında belirgin değişimler (azalmalar) olmaya başlamaktadır. Gazsız ortamda -0,5+0,25 mm en uygun tane boyutu olarak belirlenirken N_2 gazı altında -1+0,5 mm tane boyut aralığı en uygun boyut olarak belirlenmiştir.



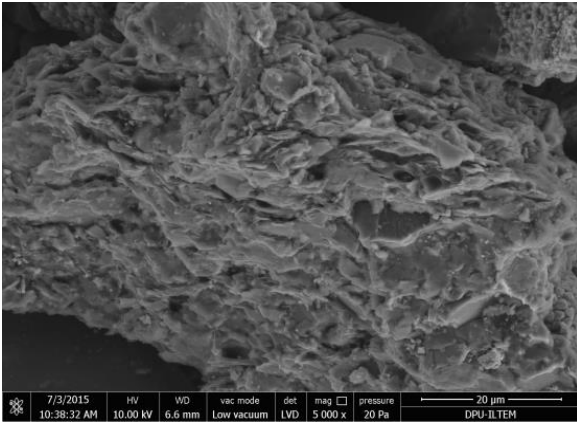
Şekil 6. Tane boyutunun Cu^{2+} uzaklaştırmaya olan etkisi

En uygun çalışma şartlarında elde edilen aktif karbon ile ticari olarak kullanılan aktif karbonun SEM görüntüleri Şekil 7 ve 8'de verilmiştir. Görüldüğü üzere ticari aktif karbon

oldukça gözenekli bir yapıya sahiptir, bu durum çözelti içerisindeki iyonların çok hızlı bir şekilde absorblanmasına neden olmaktadır. Gediz yöresi kömürlerinden üretilen aktif karbonun SEM görüntüleri incelendiğinde, gözeneklerden ziyade büyük oranda kırık ve çatlaklı yapıların olduğu, az da olsa gözeneklerin oluşmuş olduğu görülmektedir. Kırık ve çatlakların fazlalığı BET yüzey alanının önemli oranda artmasına neden olmaktadır. Tablo 5’de aktivasyon sonrası elde edilen aktif karbonlar ile ticari aktif karbonun özellikleri verilmiştir. N₂ gazı altında yapılan aktivasyon sonrası elde edilen aktif karbonun özelliklerinin az da olsa iyi olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Ticari aktif karbon SEM görüntüsü (x2000)



Şekil 8. Üretilen aktif karbon (N₂) SEM görüntüsü (x5000)

Tablo 5. Optimum koşullarda elde edilen ürünlerin özellikleri

Ürünler	BET Yüzey alanı (m ² /gr)	Gözenek çapı (nm)	Gözenek hacmi (cm ³ /gr)
Aktif karbon (gazsız)	485	2,27	0,24
Aktif Karbon (N ₂)	510	2,31	0,25
Ticari Aktif karbon	1100	2,65	0,74

4. SONUÇLAR

Tüm elde edilen sonuçlar birlikte ele alındığında yüksek oranda kükürt içeren Gediz yöresi kömürleri aktif karbon üretiminde kullanılabilir bir özellik taşıdığı görülmektedir.

Gazsız ortamda gerçekleştirilen aktivasyon deneylerinde en yüksek oranda Cu²⁺ uzaklaştırma oranı (%96,7) 550°C aktivasyon sıcaklığı, 20 dakika aktivasyon süresi ve -0,5+0,25 mm tane boyutunda elde edilirken, N₂ gazı altında yapılan aktivasyon deneylerinde ise (%97 uzaklaştırma oranı) 650 °C aktivasyon sıcaklığı, 30 dakika aktivasyon süresi ve -1+0,5 mm tane boyutunda elde edilmiştir. Ayrıca gazsız ortam ve N₂ gazı altında yapılan deneylerden elde edilen ürünlerin BET yüzey alanları sırası ile 485 m²/gr ve 510 m²/gr olarak belirlenmiştir. Sonuçlar her iki durumda birbirlerine oldukça yakındır. Elde edilen sonuçlar ticari olarak kullanılan aktif karbon ile karşılaştırıldığında belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir. Ticari aktif karbon ile çözelti içerisindeki Cu²⁺ iyonu uzaklaştırma oranı ilk dakikalardan itibaren artarak çok kısa bir sürede neredeyse tamamını uzaklaştırabilen (%99,8) ve 1100 m²/gr BET yüzey alanına sahip olmaktadır. Bu sonuçlar yüksek oranda kükürt içeren kömürlerin yakıt dışı kullanım alanlarında değerlendirilebileceğini, elde edilen ürünlerin ise çeşitli sektörlerde kullanılabilir nitelikte olduğu belirlenmiştir. Daha ayrıntılı çalışmalar ile daha etkili ürünlerin elde edilebileceği anlaşılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma, Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı (DPÜ BAP 2013/1) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1]. S. Karaca, A. Gürses, R. Bayrak, “Investigation of applicability of the various adsorption models of methylene blue adsorption onto lignite water interface” Energy Conversion and Management, vol:46, 33-46, 2005
- [2]. M. Ahmed, “Application of agricultural based activated carbon by microwave and conventional activations for basic dye adsorption review” Journal of Environmental Chemical Engineering, vol: 4, 89-99, 2016
- [3]. Z. Hu, M.P. Srinivasan, Y. Ni, “Novel activation process for preparing highly microporous and mesoporous activated carbons” Carbon 39, 877–886, 2001
- [4]. T. Kopac, and A. Toprak, “Preparation of activated carbons from Zonguldak region coal by physical and chemical activation for hydrogen sorption” International Journal of Hydrogen Energy, vol: 32, 5005-5014, 2007
- [5]. B. Akashi, and W. O’Brain, “The preparation of activated carbon from a bituminous coal” International Journal Of Energy Research, Vol. 20, pp913-922, 1996
- [6]. T. Usmani, T. Ahmed, S. Ahmed, A. Yousufzai, “Preparation and characterization of activated carbon from a low rank coal” Carbon Vol. 34, No. 1, pp. 77-82, 1995
- [7]. J.J. Pis, , A.C. Teresa, M. Mahamud, B.A. Fuertes, B.J. Parra, A.J. Pajares, R.C. Bansal, “Preparation of active carbon from coal Part I. Oxidation of coal” Fuel Processing Technology, vol 47, pp119-138,1996
- [8]. Ç. Şentorun-Shalaby, M. Astarhoğlu, L. Artok, Ç. Sarıcı, “Preparation and characterization of activated carbons by

one-step steam pyrolysis/activation from apricot Stones” Microporous and Mesoporous Materials 88, 126–134, 2006

[9]. D. Çuhadaroglu, O.A. Uygun, “Production and characterization of activated carbon from a bituminous coal by chemical activation” African Journal of Biotechnology Vol. 7 (20), pp. 3703-3710

[10]. İ. Demiral, H. Demiral, “Surface characterization of activated carbons obtained from olive bagasse by chemical activation” Surface and Interface Analysis, vol. 40, 1347-1350, 2010

[11]. Y. Qi, A. Hoadly, A.L. Chaffee, G. Garnier, “Characterization of lignite as an industrial adsorbent” Fuel, vol: 90, 1567-1574, 2011

[12]. A. Gürses, A. Hassani, M. Kıranşan, Ö. Acıslı, S. Karaca, “Removal of methylene blue from aqueous solution using by untreated lignite as potential low cost adsorbent kinetic thermodynamic and equilibrium approach” Journal of Water Process Engineering 2 10–21, 2014

[13]. S. Elbinsoy, “Yüksek kükürt içeren Kütahya-Gediz yöresi kömürlerinden aktif karbon üretilmesi ve özelliklerinin belirlenmesi” Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 2016

[14]. J. Wilson, “Activated carbon from coal”, Fuel, vol:60, pp823-831, 1981

[15]. E. Jorjani, B. Rezai, M. Vossoughi, M. Osanloo, M. Abdollahi “Oxidation pretreatment for enhancing desulfurization of coal with sodium butoxide” Minerals Engineering, vol: 17, 545-552, 2004a

[16]. E. Jorjani, B. Rezai, M. Vossouhgi, M. Osanloo, “Desulfurization of Tabas coal with microwave irradiation/ peroxyacetic acid washing at 25, 55 and 85 °C” Fuel, vol: 83, 943-949, 2004b

[17]. E. Jorjani, J. Yperman, R. Carleer, B. Rezai ”Reductive pyrolysis study of sulfur compounds in different Tabas coal samples (Iran)” Fuel 85, pp 114–120, 2006

[18]. U. Demir, “Characterization and Desulfurization Possibilities of High Sulfur Gediz-Turkey Coal” Journal of Environmental Science and Engineering A, vol:6, Number 1, pp 31-38, 2017

[19]. U. Demir, A. Aydın, ”Desulfurization of high sulfur

coal by Electron Transfer Method” XV. Mineral Processing Symposium, IMPS 2016, , Istanbul, Turkey, 2016

[20]. S.K. Kawatra, , ve T.C. Eisele, “Coal desulfurization, high-efficiency preparation methods”, Printed by Edwards Brothers, Ann Arbor, Taylor & Francis Inc. 349p. 2001

[21]. L.Y. Hsu, H. Teng, “Influence of different chemical reagent on the preparation of activated carbons from bituminous coal” Fuel Processing Technology 64, 155–166, 2009

[22]. J. J.Pis, M. Mahamud, A.J. Pajares, B.J. Parra, R.C. Bansal, “Preparation of active carbon from coal Part III. Activation of char” Fuel Processing Technology, vol 57, pp149-161, 1998

[23]. K., S., E. Gergove, “Effects of activation method the pore structure of activated carbons from apricot stone” Carbon vol.34, 879-888, 1996

[24]. T. Bondosz, “Effects of pore structure and surface chemistry of virgin activated carbons on removal of hydrogen sulfide” Carbon, vol:37, 483-491, 1999

[25]. B. Döngel, “Zonguldak kömürlerinden aktif karbon üretimi” Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak, 1997

[26]. İ. Orbak, “Tunçbilek linyitlerinden kimyasal aktivasyon yöntemi ile aktif karbon üretimi” İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2002

[27]. A. Ahmadpour, D. Do, “The preparation of activated carbon from coal by chemical and physical activation “Carbon Vol. 34, No. 4, pp. 471-479. 1996

[28]. A.L. Solano, I.M. Gullon, C.S.M. Lecea, B.S. Talovera, “Activated Carbons from Bituminous Coal: Effect of Mineral Matter Content”. Fuel, 79: 635-643. 2000.

[29]. M. Jasienko, K. Kedzior, “Comparision of molecular sieve properties in microporous chars from low rank bituminous coal activated by steam and carbon dioxide” Carbon, Vol:43, 944, 2005

[30]. J.J. Pis, M. Mahamud, B.J. Parra, A.J. Pajares, R.C. Bansal, “Preparation of active carbon from coal Part II. Carbonisation of oxidised coal” Fuel Processing Technology, vol 48, pp249-260, 1997

Total Irregularity of Indu-Bala Product of Graphs

*Zeynep Nihan Berberler

*Faculty of Science, Department of Computer Science, Dokuz Eylul University,
35160, Izmir/TURKEY, zeynep.berberler@deu.edu.tr, 

Research Paper

Received Date: 04.07.2017

Accepted Date: 07.08.2018

Abstract

The total irregularity of a simple undirected graph G is defined as $irr_t(G) = \frac{1}{2} \sum_{u,v \in V(G)} |d_G(u) - d_G(v)|$, where $d_G(u)$ denotes the degree of a vertex $u \in V(G)$. The Indu-Bala product of G_1 and G_2 is denoted by $G_1 \nabla G_2$ and is obtained from two disjoint copies of the join $G_1 \vee G_2$ of G_1 and G_2 by joining the corresponding vertices in the two copies of G_2 . In this paper, the total irregularity of $G_1 \nabla G_2$ is obtained in terms of the total irregularities of G_1 and G_2 .

Keywords: Irregularity of a graph; Total irregularity of a graph

1. INTRODUCTION

In this paper, finite, simple and undirected graphs $G = (V, E)$ with vertex set V , edge set E are considered.

In [1] the total irregularity of a graph is defined as

$$irr_t(G) = \frac{1}{2} \sum_{u,v \in V(G)} |d_G(u) - d_G(v)|,$$

where $d_G(u)$ denotes the degree of a vertex $u \in V(G)$.

This parameter has attracted much attention. For recent related work on total irregularity, we refer the reader to [2-3,4-7,8-13] and the references therein.

Recently, in [14], a new graph operation, so-called Indu-Bala product of graphs, is defined by Indulal and Balakrishnan. The join of two disjoint graphs G_1 and G_2 with disjoint vertex sets $V(G_1)$ and $V(G_2)$ and edge sets $E(G_1)$ and $E(G_2)$ is the graph $G = G_1 + G_2$ with vertex set $V(G) = V(G_1) \cup V(G_2)$ and edge set $E(G) = E(G_1) \cup E(G_2) \cup \{(u, v) : u \in V(G_1), v \in V(G_2)\}$.

Let $V(G_1) = \{u_1, u_2, \dots, u_{n_1}\}$ and $V(G_2) = \{v_1, v_2, \dots, v_{n_2}\}$.

The Indu-Bala product $G_1 \nabla G_2$ of G_1 and G_2 is obtained by

taking a disjoint copy $G'_1 \vee G'_2$ of $G_1 \vee G_2$ with vertex sets $V(G'_1) = \{u'_1, u'_2, \dots, u'_{n_1}\}$ and $V(G'_2) = \{v'_1, v'_2, \dots, v'_{n_2}\}$ and then making v_i adjacent with v'_i for each $i = 1, 2, \dots, n_2$.

By the definition of Indu-Bala product, for every vertex u_i ,

v_j , u'_i , and v'_j ($1 \leq i \leq n_1$, $1 \leq j \leq n_2$), it holds that

$$d_{G_1 \nabla G_2}(u_i) = d_{G_1 \vee G_2}(u'_i) = d_{G_1}(u_i) + n_2, \text{ for } 1 \leq i \leq n_1;$$

$$d_{G_1 \nabla G_2}(v_j) = d_{G_1 \vee G_2}(v'_j) = d_{G_2}(v_j) + n_1 + 1, \text{ for } 1 \leq j \leq n_2.$$

In this paper, the total irregularity of Indu-Bala product of graphs are computed and exact formula in terms of the total irregularities of the underlying graphs is derived.

2. MAIN RESULTS

Theorem 2.1. Let G_1 and G_2 be graphs with n_1 and n_2 vertices, respectively. Then

$$irr_t(G_1 \nabla G_2) = 4 \left(irr_t(G_1) + irr_t(G_2) + \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |d_{G_1}(u_i) + n_2 - (d_{G_2}(v_j) + n_1 + 1)| \right).$$

Proof. The vertex set of $G_1 \nabla G_2$ can be partitioned into four subsets as

$$\begin{aligned}
V_1 &= \{u_i \in V(G_1 \nabla G_2) : u_i \in V(G_1)\} \quad (1 \leq i \leq n_1), \\
V_2 &= \{v_i \in V(G_1 \nabla G_2) : v_i \in V(G_2)\} \quad (1 \leq i \leq n_2), \\
V_3 &= \{v'_i \in V(G_1 \nabla G_2) : v'_i \in V(G'_2)\} \quad (1 \leq i \leq n_2), \\
V_4 &= \{u'_i \in V(G_1 \nabla G_2) : u'_i \in V(G'_1)\} \quad (1 \leq i \leq n_1).
\end{aligned}$$

From the definition of graph total irregularity, it follows that

$$irr_t(G_1 \nabla G_2) = \frac{1}{2} \sum_{\substack{u \in V_1, v \in V_1 \\ (i \leq j \leq 4)}} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)|.$$

The contribution of the vertices in V_1 to the total irregularity of $G_1 \nabla G_2$ is given by

$$irr_{t_1}(G_1 \nabla G_2) = \frac{1}{2} \sum_{\substack{u \in V_1, v \in V_1 \\ (i \leq j \leq 4)}} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)|.$$

We start to compute with

$$\frac{1}{2} \sum_{u, v \in V_1} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n_1} |d_{G_1 \nabla G_2}(u_i) - d_{G_1 \nabla G_2}(v_j)|.$$

By substituting the values of parameters in terms of the degrees of the vertices of G_1 , we compute

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n_1} |(d_{G_1}(u_i) + n_2) - (d_{G_1}(v_j) + n_2)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n_1} |d_{G_1}(u_i) - d_{G_1}(v_j)| \\
&= \sum_{u, v \in V(G_1)} |d_{G_1}(u) - d_{G_1}(v)| = irr_t(G_1). \quad (1) \\
&\frac{1}{2} \sum_{u \in V_1, v \in V_2} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |d_{G_1 \nabla G_2}(u_i) - d_{G_1 \nabla G_2}(v_j)|.
\end{aligned}$$

By substituting the values of parameters in terms of the degrees of the vertices of G_1 and G_2 , we receive

$$= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |(d_{G_1}(u_i) + n_2) - (d_{G_2}(v_j) + n_1 + 1)|. \quad (2)$$

$$\frac{1}{2} \sum_{u \in V_1, v \in V_3} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |d_{G_1 \nabla G_2}(u_i) - d_{G_1 \nabla G_2}(v'_j)|.$$

Since $d_{G_1 \nabla G_2}(v_i) = d_{G_1 \nabla G_2}(v'_i)$ for $\forall v_i \in V(G_2)$ and $\forall v'_i \in V(G'_2)$ ($1 \leq i \leq n_2$), we get the same equality in (2).

$$\frac{1}{2} \sum_{u \in V_1, v \in V_4} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_1} |d_{G_1 \nabla G_2}(u_i) - d_{G_1 \nabla G_2}(u'_j)|.$$

Since $d_{G_1 \nabla G_2}(u_i) = d_{G_1 \nabla G_2}(u'_i)$ for $\forall u_i \in V(G_1)$ and $\forall u'_i \in V(G'_1)$, we get the same equality in (1).

$$irr_{t_1}(G_1 \nabla G_2) = 2irr_t(G_1) + \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |d_{G_1}(u_i) + n_2 - (d_{G_2}(v_j) + n_1 + 1)|.$$

The contribution of the vertices in V_2 to the total irregularity of $G_1 \nabla G_2$ is given by

$$irr_{t_2}(G_1 \nabla G_2) = \frac{1}{2} \sum_{\substack{u \in V_2, v \in V_2 \\ (i \leq j \leq 4)}} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)|.$$

We start to compute with

$$\begin{aligned}
&\frac{1}{2} \sum_{u \in V_2, v \in V_2} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n_2} |d_{G_1 \nabla G_2}(u_i) - d_{G_1 \nabla G_2}(v_j)| \\
&= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n_2} |(d_{G_2}(u_i) + n_1 + 1) - (d_{G_2}(v_j) + n_2)|. \quad (3) \\
&\frac{1}{2} \sum_{u, v \in V_2} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n_2} |d_{G_1 \nabla G_2}(u_i) - d_{G_1 \nabla G_2}(v_j)|.
\end{aligned}$$

By substituting the values of parameters in terms of the degrees of the vertices of G_2 , we receive

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n_2} |(d_{G_2}(u_i) + n_1 + 1) - (d_{G_2}(v_j) + n_2 + 1)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n_2} |d_{G_2}(u_i) - d_{G_2}(v_j)| \\
&= \frac{1}{2} \sum_{u, v \in V(G_2)} |d_{G_2}(u) - d_{G_2}(v)| = irr_t(G_2). \quad (4)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\frac{1}{2} \sum_{u \in V_2, v \in V_3} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} |d_{G_1 \nabla G_2}(u_i) - d_{G_1 \nabla G_2}(u'_j)| \\
&= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} |(d_{G_2}(u_i) + n_1 + 1) - (d_{G_2}(u'_j) + n_1 + 1)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} |d_{G_2}(u_i) - d_{G_2}(u'_j)| \\
&= \frac{1}{2} \sum_{u, v \in V(G_2)} |(d_{G_2}(u) - d_{G_2}(v))| = irr_t(G_2). \quad (5)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\frac{1}{2} \sum_{u \in V_2, v \in V_4} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} |d_{G_1 \nabla G_2}(u_i) - d_{G_1 \nabla G_2}(v'_j)| \\
&= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} |(d_{G_2}(u_i) + n_1 + 1) - (d_{G_2}(v'_j) + n_2)|. \quad (6)
\end{aligned}$$

By the equations (3), (4), (5) and (6), we compute

$$irr_{t_2}(G_1 \nabla G_2) = 2irr_t(G_2) + \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} |d_{G_2}(u_i) + n_1 + 1 - (d_{G_2}(v_j) + n_2)|.$$

Also, the contribution of the vertices in V_3 to the total irregularity of $G_1 \nabla G_2$ is given by

$$irr_{t_3}(G_1 \nabla G_2) = \frac{1}{2} \sum_{\substack{u \in V_3, v \in V_3 \\ (i \leq j \leq 4)}} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)|.$$

We start to compute with

$$\begin{aligned}
&\frac{1}{2} \sum_{u \in V_3, v \in V_3} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n_2} |d_{G_1 \nabla G_2}(u'_i) - d_{G_1 \nabla G_2}(v_j)| \\
&= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n_2} |(d_{G_2}(u'_i) + n_1 + 1) - (d_{G_2}(v_j) + n_2)|. \quad (7)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\frac{1}{2} \sum_{u \in V_3, v \in V_4} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} |d_{G_1 \nabla G_2}(u'_i) - d_{G_1 \nabla G_2}(u'_j)| \\
&= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n_2} |(d_{G_2}(u'_i) + n_1 + 1) - (d_{G_2}(u'_j) + n_1 + 1)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n_2} |d_{G_2}(u'_i) - d_{G_2}(u'_j)| \\
&= \frac{1}{2} \sum_{u, v \in V(G_2)} |d_{G_2}(u) - d_{G_2}(v)| = irr_t(G_2). \quad (8)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{2} \sum_{u,v \in V_i} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |d_{G_1 \nabla G_2}(u'_i) - d_{G_1 \nabla G_2}(u'_j)| \\
& = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |(d_{G_1}(u_i) + n_1 + 1) - (d_{G_1}(u_j) + n_1 + 1)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |d_{G_1}(u_i) - d_{G_1}(u_j)| \\
& = \frac{1}{2} \sum_{u,v \in V(G_1)} |d_{G_1}(u) - d_{G_1}(v)| = irr_t(G_1). \quad (9) \\
& \frac{1}{2} \sum_{u,v \in V_i, v \in V_j} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |d_{G_1 \nabla G_2}(u'_i) - d_{G_1 \nabla G_2}(v'_j)| \\
& = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |(d_{G_1}(u_i) + n_1 + 1) - (d_{G_1}(v_j) + n_2)|. \quad (10)
\end{aligned}$$

Hence, we receive

$$irr_{t_3}(G_1 \nabla G_2) = 2irr_t(G_2) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |d_{G_1}(u_i) + n_1 + 1 - (d_{G_1}(v_j) + n_2)|.$$

The contribution of the vertices in V_4 to the total irregularity of $G_1 \nabla G_2$ is given by

$$irr_{t_4}(G_1 \nabla G_2) = \frac{1}{2} \sum_{u \in V_4, v \in V_i} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)|.$$

We start to compute with

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{2} \sum_{u \in V_i, v \in V_j} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |d_{G_1 \nabla G_2}(u'_i) - d_{G_1 \nabla G_2}(u'_j)| \\
& = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |(d_{G_1}(u_i) + n_2) - (d_{G_1}(u_j) + n_2)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |d_{G_1}(u_i) - d_{G_1}(u_j)| \\
& = \frac{1}{2} \sum_{u,v \in V(G_1)} |d_{G_1}(u) - d_{G_1}(v)| = irr_t(G_1). \quad (11)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{2} \sum_{u \in V_i, v \in V_j} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |d_{G_1 \nabla G_2}(u'_i) - d_{G_1 \nabla G_2}(v'_j)| \\
& = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |(d_{G_1}(u_i) + n_2) - (d_{G_2}(v_j) + n_1 + 1)|. \quad (12)
\end{aligned}$$

$$\frac{1}{2} \sum_{u \in V_i, v \in V_j} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |d_{G_1 \nabla G_2}(u'_i) - d_{G_1 \nabla G_2}(v'_j)|.$$

Since $d_{G_1 \nabla G_2}(v_j) = d_{G_1 \nabla G_2}(v'_j)$ for $\forall v_j \in V(G_2)$ and $\forall v'_j \in V(G'_2)$ ($1 \leq j \leq n_2$), we get the same equality in (12).

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{2} \sum_{u,v \in V_4} |d_{G_1 \nabla G_2}(u) - d_{G_1 \nabla G_2}(v)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |d_{G_1 \nabla G_2}(u'_i) - d_{G_1 \nabla G_2}(u'_j)| \\
& = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |(d_{G_1}(u_i) + n_2) - (d_{G_1}(u_j) + n_2)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |d_{G_1}(u_i) - d_{G_1}(u_j)| \\
& = \frac{1}{2} \sum_{u,v \in V(G_1)} |d_{G_1}(u) - d_{G_1}(v)| = irr_t(G_1). \quad (13)
\end{aligned}$$

Hence,

$$irr_{t_4}(G_1 \nabla G_2) = 2irr_t(G_1) + \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |(d_{G_1}(u_i) + n_2) - (d_{G_2}(v_j) + n_1 + 1)|.$$

Summing the contributions of the vertex sets V_1 , V_2 , V_3 and V_4 , we finally obtain the desired result of

$$irr_t(G_1 \nabla G_2) = \sum_{i=1}^4 irr_{t_i}(G_1 \nabla G_2). \text{ Thus, the proof holds.}$$

3. CONCLUDING REMARKS

Graph products play a significant role in pure and applied mathematics, and computer science and many of the problems can be easily handled if the related underlying graphs are regular or close to regular [4]. Therefore in many applications and problems, it is of great importance to know how irregular a given graph is.

We focus our investigation to the study of how the total irregularity of a graph changes with operations based on graph products. Indu-Bala product of graphs is a novel graph operation. In this paper, we consider the total irregularity of simple undirected graphs under Indu-Bala product. Exact formula is given to compute the total irregularity of Indu-Bala product of graphs in terms of the total irregularities and vertex degrees of underlying graphs.

REFERENCES

- [1].H. Abdo, S. Brandt and D. Dimitrov, "The total irregularity of a graph", Discrete Math. Theor. Comput. Sci., vol. 16, no. 1, pp. 201-206, 2014.
- [2].B. Zhou, "On irregularity of graphs", Ars Combin., vol. 88, pp. 55-64, 2008.
- [3].D. Dimitrov and R. Škrekovski, "Comparing the irregularity and the total irregularity of graphs", Ars Math. Contemp., vol. 9, pp. 45-50, 2015.
- [4].H. Abdo and D. Dimitrov, "The irregularity of graphs under graph operations", Discuss. Math. Graph Theo., vol. 34, no. 2, pp. 263-278, 2014.
- [5].H. Abdo and D. Dimitrov, "The total irregularity of graphs under graph operations", Miskolc Math. Notes, vol. 15, pp. 3-17, 2014.
- [6].H. Abdo and D. Dimitrov, "The Total Irregularity of Some Composite Graphs", International Journal of Computer Applications, vol. 122, no. 21, pp. 1-9, 2015.
- [7].H. Abdo, N. Cohen and D. Dimitrov, "Graphs with maximal irregularity", Filomat, vol. 28, no. 7, pp. 1315-1322, 2014.
- [8].M.A. Henning and D. Rautenbach, "On the irregularity of bipartite graphs", Discrete Math., vol. 307, pp. 1467-1472, 2007.
- [9].M.O. Albertson, "The irregularity of a graph", Ars Combin, vol. 46, pp. 219-225, 1997.
- [10]. M. Tavakoli, F. Rahbarnia and A.R. Ashrafi, "Some new results on irregularity of graphs", J. Appl. Math. Inform., vol. 32, pp. 675-685, 2014.
- [11]. W. Luo and B. Zhou, "On the irregularity of trees and unicyclic graphs with given matching number", Util. Math., vol. 83, pp. 141-147, 2010.
- [12]. L.H. You, J.S. Yang and Z.F. You, "The maximal total irregularity of unicyclic graphs", Ars Comb., vol. 114, pp. 153-160, 2014.
- [13]. L.H. You, J.S. Yang, Y.X. Zhu and Z.F. You, "The maximal total irregularity of bicyclic graphs", Journal of Applied Mathematics 2014, Article ID 785084, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/785084>.

- [14]. G. Indulal and R. Balakrishnan, "Distance spectrum of Indu-Bala product of graphs", AKCE International Journal of Graphs and Combinatorics, vol. 13, pp. 230-234, 2016.

Akdeniz Kıyılarında Ekstrem Nemli Ve Kurak Mevsimlerin Dağılımı (1967-2016)

*¹Mehmet Ali Çelik

¹Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen- Edebiyat Fakültesi, mehmetalicelikk@gmail.com 

Research Paper

Received Date: 13.02.2018

Accepted Date: 28.09.2018

Öz

İklim değişikliği, iklim koşullarının uzun yıllar boyunca ortalama durumdan sapması olarak tanımlanmaktadır. Birçok çalışma iklim değişikliği ile birlikte ekstrem hava olaylarında artış yaşanacağını bildirmektedir. Türkiye’de iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek bölgelerden birisi Akdeniz Kıyılarıdır. Bu bağlamda iklim değişikliği bakımından hassas konumda bulunan Türkiye’nin Akdeniz Kıyılarında ekstrem iklim dönemlerinin tespit edilmesi ve gerekli tedbirlerin alınması önemlidir. Bu çalışmada 1967-2016 yıllarını kapsayan son 50 yıllık süreçte mevsimlik SPI kuraklık analizleri yapılmıştır. Çalışmamızda, Akdeniz Kıyılarında yer alan 15 adet meteoroloji istasyonuna ait veriler kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, Akdeniz Kıyılarında ekstrem iklim koşullarının sıklıkla yaşandığını göstermektedir. Bir başka ifade ile Akdeniz Kıyılarında her 5 yılda 1 ekstrem nemli ya da kurak dönemler yaşanmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, Akdeniz Kıyılarında, bilhassa İlkbahar mevsiminde kuraklık eğiliminin belirgin bir şekilde arttığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Akdeniz Kıyıları, Ekstrem İklim, Kuraklık, İklim Değişikliği.

Distribution of Extreme Wet and Dry Seasons (1967-2016) Along Mediterranean Coast, Turkey

*¹Mehmet Ali Çelik

¹Kilis 7 Aralık University, Faculty Of Arts And Science, mehmetalicelikk@gmail.com

Abstract

Climate change is defined as deviation of climatic conditions from average situation for long years. A lot of studies report that there would be an increase in extreme weather events together with climate change. One of regions where would be most affected by climate change in Turkey is Mediterranean Coasts. In this context, it is important to determine extreme climate seasons and to take the required precautions. In this study, seasonal SPI drought analyses within the period of last 50 years including 1967-2016 were carried out. In our study, data belonging to 15-meteorological stations located along Mediterranean Coasts were used. Findings obtained show that extreme climatic conditions are frequently experienced along Mediterranean Coasts. In other words, extreme wet or dry periods are experienced once every five years along Mediterranean Coasts. Results of this study show that drought tendency increased prominently along Mediterranean Coasts during Spring seasons, in particular.

Keywords: Mediterranean Coasts, Extreme Climate, Drought, Climate Change

1. INTRODUCTION

Five main components, called as atmosphere, hydrosphere, cryosphere, lithosphere and biosphere, constitute life on the Earth, and interaction among these components generates complex system named as global climate system [1, 2]. Due to both natural and anthropogenic reasons, increases occurred so many times on global climate system. Climate change is defined as deviation of climatic conditions from average

situation for long years (for decades). Extreme weather events have been increasing together with climate change. This situation has been increasing destructive impacts, such as drought, flood etc., of weather events [3].

It is known that weather events influence a great part of human activities. Particularly in regions where climate

shows deviations from average, weather events create destructive impact on human activities. For this reason, it is important that scientists could make short-term forecastings on weather events [4].

One of regions where would be most affected by climate change in Turkey is the Mediterranean [5]. A lot of studies reported that high precipitation variability increased extreme climatic conditions in Mediterranean Region [6,7,8]. One of these studies is the study by Türkeş and Tatlı [9]. Türkeş and Tatlı revealed drought situation in total precipitation series in the study which they carried out using data of 96-meteorological stations belonging to Turkey. In the study, Standardized Precipitation Index (SPI) method was employed. As a result of the study, 70% of Turkish precipitations has probability of being normal, but the situation in Mediterranean Regions is different from the Turkish normal. According to results of the study, situations/states of being extreme dry in Mediterranean Region are at the highest level by 20% in Turkey. As a result of the study, it is emphasized that specifically coastal and terrestrial Mediterranean regions of Turkey would be affected more frequently, and by severe drought events and desertification processes more in the future. In this context, it is important that extreme climate seasons should be determined in Mediterranean Region of Turkey where is situated in a sensitive location in terms of climate change and that the required precautions should be taken. In this study, drought seasons which occurred in last 50 years along Mediterranean Coasts of Turkey were determined, and trends of these wet and dry extreme periods were stated.

The article should start with an introduction written in scientific language, putting thoughts together from diverse disciplines combining evidence-based knowledge and logical arguments, conveying views about the aim and purpose of the article. It must address all readers in general. The technical terms, symbols, abbreviations must be defined at the first time when they are used in the article.

1.1. Study Area

In general, typical Mediterranean climate that is hot and dry in summers, and warm and rainy in winters is dominant along coast line reaching (rising) up to 1000m of Mediterranean Region. On upper parts, Mediterranean mountain climate is dominant, which is cold and snowy in winters, and cool and relatively rainy in summers. Air masses and topographic features have an influence on climate of the region [10,11,12]. As is across Turkey, air masses having influence in summer and winter seasons affect the climate of Mediterranean Region. Tropical air mass (T-Tropical) coming from the Atlantic Ocean and the Sahara becomes effective during summer seasons in Mediterranean Region. Temperature of the said hot and dry air (cT-continental Tropical) stemming from the Sahara declines relatively and the said air gets moisture while it is passing over the Mediterranean. This air mass being moist (mT-maritime Tropical) creates a misty view. Hot-dry air

mass, coming from Arabian deserts sometimes and becoming effective with penetration of the Basra low-pressure (cyclone) into eastern part of the region by expanding, decreases the wet in troposphere and increases the temperature. By the month of November, the region falls under the influence of warm and moist air mass coming from Central Mediterranean in general. Not to mention, frontal activities begins by confrontation/encounter of tropical air with polar air which moves to Central Mediterranean from north direction. In other saying, cold and hot fronts follow one another, and therefore rains occur. Hot and cold weather conditions changing within the day follow each other. Fronts which essentially lead to formation of rains in Mediterranean Region come from over Central Mediterranean and they move from southwestern towards northeastern. Since Taurus Mountains hinder progression of fronts, they (the Taurus mountains) cause fronts to meet with each other. For this reason, southwest-ward /facing slopes of Taurus Mountains receive rain more. As a matter of fact, while southwest-ward/facing slopes of Geyik Mountains receive the rain over 2000 mm, Mut trough/gulley located in ravin Göksu Valley receives the rain below 400 mm as it is in the shadow of rain. Frontal movements are quite unsettled/unchangeable and their frequencies often vary by months. Thus, the Mediterranean is the region which has the highest deviation of rainfall. As a matter of fact, amount of precipitation fell in November and December in some years in Antalya city constitutes 25% of annual total precipitation. In some years, it has been witnessed that the rainfall occurred even less in these months. Temperature change is not much along coastal line of Mediterranean Region within the year and temperature difference rises between summer and winter into the inner sides and towards the high lands of Taurus Mountains. Annual average temperature in the region is a bit above 18 °C along the Mediterranean Coast. Frost events are rarely experienced along the Mediterranean coastal line [10,11,12].

The climate along Mediterranean Coasts are usually sub-arid. Summers are dry, winters are mild and wet [13]. The purpose of our study is to determine dry periods along Mediterranean Coast where precipitation variability is about 25% and consequently drought is frequently experienced, and to emphasize drought severity using various indices.

The Mediterranean Region is surrounded by Eagean Region from west, Central Anatolia Region from north, East Anatolia Region from northeast and Southwestern Anatolia Region and Syria from east. Distance as the crow flies (air distance) of the Mediterranean Region in east-west direction is circa 800km. While sometimes width of the region in north-south direction narrows, it widens sometimes, depending on lying of mountains (Figure 1).



Figure 1. Locations of the study sites (Map of Mediterranean Coast).

2. DATA-METHOD

Estimation of extreme wet and dry weather conditions on the basis of moving average of daily precipitation allows to determine the most drastic periods and trends of SPI along Mediterranean Coast (Turkey) in last 50 years. The wet and dry days have been selected from the calculation results of the precipitation moving average.

The study of drought trends is done by analysing the time series of a drought index. A drought Index is typically a single value used for indicating the severity of a drought and is far more useful than raw data in understanding the drought conditions over an area. SPI is a drought index to monitor and quantify Meteorological drought. One of the commonly used tools for detecting changes in climatic and hydrologic time series is trend analysis [14,15,16,17]. Trend analysis of SPI time series will reveal the drought trends at particular station. As rainfall is the only input parameter for Meteorological drought analysis, trend analysis of seasonal and intra-seasonal rainfall is essential to detect micro changes in climate change scenario.

The climate data of Mersin were received from the Turkish State Meteorological Service (MGM). Daily and monthly total precipitation and average temperature data and daily maximum and minimum precipitation and temperature data from Mersin, Erdemli, Anamur and Silifke stations cover a period of more than 40 years (Table 1). Thus, meteorological drought indices were established.

Table 1. Data used in the study

1)	Fethiye	Monthly and daily temperature and precipitation data (average, maximum and minimum)	1967-2016
2)	Finike	Monthly and daily temperature and precipitation data (average, maximum and minimum)	1967-2016
3)	Antalya	Monthly and daily temperature and precipitation data (average, maximum and minimum)	1967-2016

4)	Manavgat	Monthly and daily temperature and precipitation data (average, maximum and minimum)	1967-2016
5)	Alanya	Monthly and daily temperature and precipitation data (average, maximum and minimum)	1967-2016
6)	Anamur	Monthly and daily temperature and precipitation data (average, maximum and minimum)	1967-2016
7)	Silifke	Monthly and daily temperature and precipitation data (average, maximum and minimum)	1967-2016
8)	Erdemli	Monthly and daily temperature and precipitation data (average, maximum and minimum)	1967-2016
9)	Mersin	Monthly and daily temperature and precipitation data (average, maximum and minimum)	1967-2016
10)	Adana	Monthly and daily temperature and precipitation data (average, maximum and minimum)	1967-2016
11)	Yumurtalık	Monthly and daily temperature and precipitation data (average, maximum and minimum)	1967-2016
12)	Ceyhan	Monthly and daily temperature and precipitation data (average, maximum and minimum)	1967-2016
13)	Dörtöyl	Monthly and daily temperature and precipitation data (average, maximum and minimum)	1967-2016
14)	İskenderun	Monthly and daily temperature and precipitation data (average, maximum and minimum)	1967-2016
15)	Antakya	Monthly and daily temperature and precipitation data (average, maximum and minimum)	1967-2016

2.1. Drought Indice

2.1.1. Standardized Precipitation Index (SPI)

SPI is an effective method in determining, evaluating and monitoring droughts and improving a region/a country's abilities or possibilities for drought management and for struggling the drought [18,19]. Standardized Precipitation Index method was developed firstly by McKee et al. [20], converting precipitation parameter to a single numerical value (digitisation) in order to determine the drought of areas showing different climatic characteristics. This method is obtained through the following equation (1) by taking the difference of the precipitation (X_i) from the mean (X_i mean) for a particular selected time scale and then dividing by the standard deviation (σ). SPI is calculated by this formula [20]:

$$SPI = (X_i - X_i) / \sigma \quad (1)$$

When results obtained are -2 and below, they indicate exceptionally drought conditions, whereas SPI values of 2 and higher show that extremely humiddness is dominant in the climate (Table 2).

Table 2. Classification of the results of the SPI [20].

<i>SPI value</i>	<i>Classification</i>
2 and higher	Exceptionally Humid
1.60 to 1.90	Extremely Humid
1.30 to 1.59	Very Humid
0.80 to 1.29	Moderately Humid
0.51 to 0.79	Abnormally Humid
0.50 to -0,50	Normal
-0.51 to -0.79	Abnormally Dry
-0.80 to -1.29	Moderately Dry
-1.30 to -1.59	Severely Dry
-1.60 to -1.99	Extremely Dry
-2 and below	Exceptionally Dry

Of which above-mentioned SPI classification groups, values of very humid and above ($1.30 \geq$) and values between severely dry and exceptionally dry ($-1.30 \geq$) were considered as extreme humid and extreme dry periods.

A drought event is defined here as a period in which the SPI is continuously negative and the SPI reaches a value of -1.0 or less and ends with the positive value of the SPI [21]. The duration (D) is defined by the time between the beginning and end (-ve SPI values); (kontrol ediniz) the magnitude is calculated by the sum of the SPI for every month from the initiation to the end of each drought event and intensity is the ratio between the magnitude and the duration of the event.

2.2.Trend Test

The Mann-Kendall test is used for determining monotonic trends and is based on ranks [22]. The purpose of trend analysis is to determine if a series of observations of a random variable is generally increasing or decreasing with time. Even though parametric trend tests are more powerful, non-parametric trend tests are widely used as they require the data be independent and could accommodate outliers in the data [23]. In this study, the non-parametric Mann-Kendall test is used in trend detection of drought along Mediterranean Coast. When significant, the magnitude of the existing trend was estimated with the Sen's Slope Estimator method [22].

The Mann-Kendall statistic S is given as. The MK test statistic and the sign function are calculated using the formula:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

Each of the data points x_i is taken as a reference point which is compared with the rest of the data point's x_j so that,

$$\text{Sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & (x_j - x_i) > 0 \\ 0, & (x_j - x_i) = 0 \\ -1, & (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

where n is the number of data, x is the data point at times i and j ($j > i$). The variance statistic is given as

$$\text{var}(S) = [n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i i(i-1)(2i+5)]/18 \quad (4)$$

Where t_i as considered the number of ties up to sample i. The test statistics Z_c is computed as

$$Z_c = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Z_c here follows a standard normal distribution. A positive (negative) value of Z_c signifies an upward (downward) trend. The significance level, or a Type I error, α , is the probability of rejecting the null hypothesis, when it is true. A significance level α is also utilized for testing either an upward or downward monotonic trend.

2. RESULTS

Extreme humid and dry seasons of 15-meteorological stations located along the Coastal Mediterranean were determined. Accordingly, the most extreme humid and dry period was observed at Erdemli station. Frequency of the least extreme humid and dry period was detected at Alanya station.

At Fethiye meteorological station, in last 50 years, 45-extreme periods were determined. During fall and winter seasons, frequency of extreme humid and dry conditions is more compared to other seasons. During fall and winter seasons, 28-extreme periods were detected.

At Finike meteorological station located within the provincial borders of Antalya, 48- extreme humid and dry periods were determined. Also in Finike, frequency of the most extreme period is during fall and winter seasons. While there were 15-extreme periods during fall, 14-extreme periods were detected during winter.

Frequency of the most extreme humid and dry period along western coasts of Mediterranean belongs to Antalya and Manavgat stations. 50-extreme periods were determined in last 50 years at Manavgat and Antalya meteorological stations. In other words, extreme season was experienced for approximately every year in Antalya and Manavgat. While detecting 26-extreme humid and dry seasons in last 25 years in Antalya, 22-extreme humid and dry periods were determined in the same years.

Among meteorological stations located in Western Mediterranean, Alanya is the station which have had the least extreme conditions in climate. 41-times extreme humid and dry periods were detected in last 50 years in Alanya. As across stations located in Western Mediterranean, also in Alanya, Spring is the period when the most extreme conditions were seen. Frequency of extreme dry and humid periods increased in last 25 years in Alanya. While the frequency of extreme dry and humid seasons was 18 in 25 years through 1967-1991, 23-extreme humid and dry periods were determined in 25 years through 1992-2016.

When it comes to middle part of Mediterranean coasts, frequency of extreme period was 45 at Anamur station and 47 at Silifke station. While observing 23-extreme dry and humid periods in last 25 years in Anamur, 25-extreme seasons were detected in the same years in Silifke. The most extreme period along Eastern Mediterranean coasts was seen at Erdemli station. Adana and Dörtöyl stations located along Eastern Mediterranean are sections where the least frequency of extreme periods were determined (Table 3).

Table 3. Frequency of extreme humid and dry climate occurred in last 50 years at stations located along Mediterranean Coast.

Station	Fethiye		
Season/Years	1967-1991	1992-2016	Last 50 years
Spring	7	3	10
Summer	4	3	7
Fall	5	9	14
Winter	5	9	14
Total	21	24	45
Station	Manavgat		
Season/Years	1967-1991	1992-2016	Last 50 years
Spring	5	3	8
Summer	6	4	10
Fall	7	9	16
Winter	8	6	16
Total	26	22	50
Station	Silifke		
Season/Years	1967-1991	1992-2016	Last 50 years
Spring	10	6	16
Summer	5	5	10
Fall	3	9	12
Winter	4	5	9
Total	22	25	47
Station	Yumurtalık		
Season/Years	1967-1991	1992-2016	Last 50 years
Spring	5	6	11
Summer	7	8	15
Fall	5	9	14

Winter	5	5	10
Total	22	28	50
Station	Dörtöyl		
Season/Years	1967-1991	1992-2016	Last 50 years
Spring	10	3	13
Summer	2	6	8
Fall	5	7	12
Winter	6	5	11
Total	23	21	44
Station	Finike		
Season/Years	1967-1991	1992-2016	Last 50 years
Spring	6	2	8
Summer	6	5	11
Fall	7	8	15
Winter	7	7	14
Total	26	22	48
Station	Alanya		
Season/Years	1967-1991	1992-2016	Last 50 years
Spring	4	6	10
Summer	3	5	8
Fall	8	6	14
Winter	3	6	9
Total	18	23	41
Station	Erdemli		
Season/Years	1967-1991	1992-2016	Last 50 years
Spring	8	8	16
Summer	8	6	14
Fall	6	9	15
Winter	6	4	10
Total	28	27	55
Station	Adana		
Season/Years	1967-1991	1992-2016	Last 50 years
Spring	8	4	12
Summer	6	5	11
Fall	4	6	10
Winter	5	6	11
Total	23	21	44
Station	İskenderun		
Season/Years	1967-1991	1992-2016	Last 50 years
Spring	6	7	13
Summer	6	6	12
Fall	6	3	9
Winter	5	6	11
Total	23	22	45
Station	Antalya		
Season/Years	1967-1991	1992-2016	Last 50 years

Spring	4	7	11
Summer	7	6	13
Fall	7	6	13
Winter	6	7	13
Total	24	26	50
Station	Anamur		
Season/Years	1967-1991	1992-2016	Last 50 years
Spring	7	7	14
Summer	3	6	9
Fall	6	7	13
Winter	6	3	9
Total	22	23	45
Station	Mersin		
Season/Years	1967-1991	1992-2016	Last 50 years
Spring	6	6	12
Summer	9	6	15
Fall	5	6	11
Winter	5	5	10
Total	25	23	48
Station	Ceyhan		
Season/Years	1967-1991	1992-2016	Last 50 years
Spring	7	7	14
Summer	6	5	11
Fall	7	9	16
Winter	5	5	10
Total	25	26	51
Station	Antakya		
Season/Years	1967-1991	1992-2016	Last 50 years
Spring	7	8	15
Summer	5	3	8
Fall	3	6	9
Winter	5	9	14
Total	20	26	46

According to studies done, it is foreseen that particularly winter precipitations would decrease in the future [24]. In the study which was done for Akdeniz Basin, Türkeş et al., emphasized that amount of winter precipitations decreased. It can be said decrease in winter precipitations is related to the decrease in transition frequency of fronts which pass over Mediterranean Basin and to the fact that transition way skidded toward northern slightly, depending on global warming [25]. That winter precipitations constituting a great part of annual precipitation in Mediterranean Basin showed a tendency to decrease confronts us as a fact which should be taken into consideration that basin product pattern being shaped according to this regime will be able to undergo an

important change due to temperature and precipitation conditions changing in the future [26].

Another study carried out revealed the result that droughts in Mediterranean had a tendency to increase [7]. Ölgün, in study which aimed to reveal spatial distribution of precipitation variability belonging to long years in Turkey, stated that, however it had little differences in itself, precipitation variability increased in a way that could be considered regular from north toward south and that, owing to changefulnesses in precipitations belonging to long years, droughts were being experienced frequently Mediterranean Region at which coefficient of variation was more than 25%.

Table 4. Z values from Mann-Kendall tests.

Station/ Years	Spring		Summer	
	1967- 1991	1992- 2016	1967- 1991	1992- 2016
Fethiye	-0,62	0,00	-1,55	1,13
Finike	-1,15	-0,45	-0,84	-0,79
Antalya	-0,48	-0,95	-0,47	0,65
Manavgat	-0,69	-2,29	-0,97	0,29
Alanya	-0,87	0,00	0,97	-0,48
Anamur	-1,60	-0,36	0,35	-0,13
Silifke	-0,72	-0,12	-1,13	-0,92
Erdemli	-1,31	-1,51	0,34	-0,65
Mersin	-0,05	-0,05	-0,14	-1,02
Yumurtalık	-0,98	-1,97	0,26	-0,61
Adana	-0,26	0,45	0,53	0,02
Ceyhan	-0,12	-0,92	-0,65	-1,03
Dörtöl	-0,63	-1,41	0,15	0,62
İskenderun	-1,37	-0,72	0,34	0,50
Antakya	-0,73	-0,83	-0,75	0,28

Station/ Years	Fall		Winter	
	1967- 1991	1992- 2016	1967- 1991	1992- 2016
Fethiye	-0,93	-0,17	-1,32	1,69
Finike	-0,59	0,27	-1,43	1,04
Antalya	-0,75	-0,81	-1,51	-0,65
Manavgat	0,55	0,19	-1,18	0,70
Anamur	0,02	0,10	-0,92	-0,71
Silifke	-0,69	-0,63	-1,06	0,72
Erdemli	0,51	-0,43	-0,78	-0,25
Mersin	-0,25	-0,78	-0,72	-0,85
Yumurtalık	-0,12	0,34	-0,23	0,24
Adana	1,75	-1,79	-1,12	0,00
Ceyhan	0,30	-1,14	-0,77	-1,06
Dörtöl	1,45	-0,93	-0,78	-0,41
İskenderun	1,99	0,25	-0,96	0,50
Antakya	1,88	0,59	-0,64	0,81
	1,26	0,45	-0,55	0,00

Studies carried out give the conclusion that drought increased and winter precipitations decreased. In this chapter of the study, Mann-Kendall test was applied to results of seasonal drought analysis. Thus, drought tendency of 15-meteorological stations located along Mediterranean coasts of Turkey was determined. Results obtained give the conclusion that drought tendency showed statistically meaningful changes during spring seasons at some stations located along Mediterranean Coasts. These are Manavgat and Yumurtalık stations. During fall seasons, humidity trend showed statistically meaningful increases at Yumurtalık, Dörtöyl and İskenderun stations. Increases in humidity trend of the mentioned stations were seen through the years of 1967-1991. No statistically meaningful increases were detected during fall seasons (Table 4).

When generally evaluated, drought tendency to increase strikes along Mediterranean Region in general. When Mann-Kendall test was applied to the drought analysis results of last 50 years, it is seen that drought increased in all months out of fall seasons. These increases occurred in drought severity were not statistically meaningful. In last 50 years, the most meaningful increase trend happened during Spring seasons (Table 5).

Table 5. Z values from *Mann-Kendall* tests for Mediterranean Coast (1967-2016).

Season	Z Value (1967-1991)	Z Value (1992-2016)	Z Value (last 50 years)
Winter	-1,43	0,23	-0,40
Spring	-1,10	-1,03	-0,64
Summer	-0,56	-0,26	-0,23
Fall	0,37	-0,61	0,10

According to data of Fethiye meteorological station for Spring seasons, extreme drought periods in last 50 years were observed. Spring periods of 1973, 1985, 1986, 1989 and 2010 were extreme dry. The years of 1980, 1987, 1988, 2003 and 2009 were extreme humid periods. It is seen that extreme humid and dry conditions were experienced in Fethiye during the spring seasons of five years through 1985-1989, in particular. Spring SPI trend of Fethiye showed tendency to decrease through the years of 1967-1991. SPI trend followed a normal course through the years of 1992-2016 including last 25 years. Results of SPI analysis for summer seasons in Fethiye showed contrast between the years of 1967-1991 and of 1992-2016. During 25-year period including 1967-1991, SPI trend showed a negative trend. According to the 25-year trend including 1992-2016, SPI tendency is in positive directional. In other words, while humidity increased during summer seasons of last 25 years, drought showed a tendency to increase during the period through the years of 1967-1991.

Tendency of SPI analysis during fall seasons at Fethiye station was examined. Accordingly, it is seen that drought

increased in the trend of Fall seasons through the years of 1967-1991. It is seen that results of SPI analysis for Fall seasons were in the normal course during the period of years of 1992-2016. It is seen frequency of extreme humid and dry periods was more during fall seasons of last 25 years.

Results of SPI analysis showed contrast during Winter seasons between 1967-1991 and 1992-2016. SPI trend showed tendency to increase in last 25 years. Humidity increased through the years of 1992-2016. Drought increased according to SPI trend through 1967-1991.

SPI analysis was applied to data belonging to Finike station located in western part of Mediterranean coasts. Tendency of SPI results was analysed. Accordingly, there was an increase tendency in the drought of Spring seasons of the 25-year period through 1967-1991. Also an increase was in question during Spring seasons of last 25-year period. Extreme droughts were seen during the springs of the years of 1973, 1986 and 2010. On the other hand, during the springs period of the years of 1988 and 2003, extreme humid conditions were dominant.

SPI tendency for Summer seasons of last 50 years showed that drought increased. But, there was a great number of extreme humid periods during Summer seasons. Extreme humid conditions were seen during Summer seasons of the years of 1982, 1992 and 2003.

Extreme humid and dry periods happened during Fall seasons of last 50 years. No extreme dry periods were observed in last 17 years. According to SPI results of Finike for Fall seasons, extreme humid periods were experienced six times in last 17 years. Humidity increased according to SPI trend of Fenike for Winter seasons of last 25 years. During the 25-year period through 1967-1991, it is seen that dry conditions were in tendency to increase.

SPI analyses for seasons of Spring, Summer, Fall and Winter were performed using last 50 years of data belonging to Antalya meteorological station. In this chapter of the study, tendency analysis was applied to SPI results. It is seen that drought tendency generally increased in Antalya. Specifically during Fall period, it is seen that drought tendency was more apparent. Situations of drought and humidity for Spring period were analysed in two periods being the years of 1967-1991 and of 1992-2016. Accordingly, it is seen that frequency of extreme Spring periods increased in last 25 years. The year 2003 became the humidest Spring period of last 50 years.

When drought tendency for Summer seasons of last 50 years has been considered, it strikes (attracts attention) that there were a lot of extreme humid and dry periods. Accordingly, the year 2011 became the humidest Summer season of last 50 years. The driest Summer season of last 50 years was the year 2013. When drought trend for Winter seasons of last 50 years in Antalya has been examined, it is seen that drought tendency increased. The driest Winter

season of last 50 years was experienced in 2000. The year 1969 was the humidest Winter period of last 50 years. In last 50-year SPI trend of Manavgat, it is seen that drought tendency increased in general. Particularly during last 25-year period of Spring seasons and during Summer seasons through the years of 1967-1991, drought conditions were observed more clearly. In Manavgat, the driest Spring season of last 50 years was experienced in 2016. On the other hand, the Summer season of the years of 1987-1988 strikes as the humidest period.

When SPI results for Fall period of last 50 years have been examined, there is no trend of very clear increase or decrease. Besides this, SPI values during Fall period of some years showed an increase and a decrease suddenly. In Manavgat, the year 1968 became the humidest Fall period of last 50 years. Fall season of the year 1968 was observed as a humid period not only in Manavgat but also along all Mediterranean Coasts. The years of 2006-2007 correspond to the driest Winter season of last 50 years. During the period through the years of 2009-2013, it is seen that Winter season contained humid characteristics.

There was an overall drought tendency in SPI values during all periods, out of Summer seasons, of the years of 1967-1991. Humidity increased during Summer period of 1967-1991. On the other hand, during Summer period of last 25 years, it is seen that dry conditions increased.

There was a strong increase in drought tendency during Spring period of 1967-1991 in Anamur. The years of 1989 and 2004 were the driest Spring periods of last 50 years. An increase was observed in humid conditions during Summer seasons of last 50 years. Summer seasons of 1981 and 1982 were the humidest periods of last 50 years in Anamur.

There was no considerable increase or decrease in last 50-year SPI trend of Winter seasons, but it is seen that climate was extreme humid during some periods and extreme dry during some periods. As it was along all Mediterranean Coasts, Winter season of 1973-1974 was extreme dry period in Anamur, too. On the other hand, Winter seasons of 1978, 1981 and 2012 were extremely humid. Summer season was experienced seventeen times in last 50 years in Silifke. Summer season was neither dry nor humid, but it was in normal course in 16 ones of last 50 years. Although drought tendency increased slightly during Summer seasons, extreme humid conditions were seen during some periods. The year 1982 became the humidest Summer season of last 50 years. The year 1990 was the driest Spring season of last 50 years in Silifke. Spring season of the year 1990 was dry not only in Silifke but also across Mediterranean coasts. Winter season of 1973 happened as a dry period both in Silifke and across Mediterranean coasts. The years of 1973 and 2016 were the driest Winter seasons of last 50 years. The year 2016 was dry not only in Silifke but also across Mediterranean coasts. 2002 was detected as the humidest Winter season of last 50 years.

It is seen that extreme humid and dry periods increased during Fall seasons of last 25 years in Silifke. While 12-extreme humid and dry periods were experienced in last 50 years, of which 9 were seen in last 25 years. Fall period of the year 1993 was very severely dry whereas extreme humid Fall was experienced in 1994. While Fall period of 1999 was very severely dry, those of 2000 and 2001 were very humid.

Tendency analysis was applied to SPI analysis of data belonging to Erdemli station. Findings obtained are toward that drought tendency increased during Spring seasons. Especially, the years of 1973 and 2007 were the driest Spring period of last 50 years.

When SPI tendency for Summer seasons of last 50 years has been examined, extreme humid and dry periods attract the attention. The years of 1978, 1990 and 1998 were the driest Summer seasons of last 50 years. The year 2012 became the humidest Summer season of last 50 years.

There are SPI tendencies striking during Fall seasons at Erdemli station. It is seen dry conditions increased during Fall seasons of last 25 years, in particular. Significant dry periods attract the attention in last 25 years. During this period of time (25 years), extreme dry periods were experienced 5 times. The years of 1993, 1999, 2003, 2010 and 2016 were Fall periods when the climate was very severely dry. When SPI values of last 25 years have been evaluated, it is seen that a lot of severely droughts were experienced in every 5 years.

Seasonal drought analysis of last 50 years in Mersin was carried out. There are years in which the climate showed extreme humid and dry conditions during all seasons. Significant humid and dry periods were experienced during Spring periods of last 50 years. The humidest Spring season of last 50 years was seen in 1967. The year 1989 became the driest Spring period of last 50 years. 1989 was detected as a dry spring period across Mediterranean Coasts. When last 25-year SPI trend has been examined, it is seen an overall aridification tendency. Summer periods of 1994 and 2004 happened as extremely dry. During Winter seasons, 4 years through the years of 1971-1974 strike as a extremely dry period.

Result of seasonal SPI analysis belonging to Yumurtalık station was evaluated. Accordingly, Winter season of the years of 1972-1973 was a extremely dry period. Winter season of 2016 became the driest period in last years. On the other hand, Winter season of 1978 was exceptionally humid. When SPI trend for Fall seasons has been examined, it is seen that the period through the years of 2010-2016 was a extremely dry period. When SPI trend for Summer seasons at Yumurtalık station has been examined, extreme humid and dry periods attract the attention. While Summer period of 1980 was extremely dry, Summer season of 1997 was extreme humid.

SPI analysis for Winter seasons at Adana station was evaluated. The years of 1973 and 2014 strike as extreme dry periods, belonging to Winter periods of Adana. Winter periods of these years were a extremely dry along the whole of Mediterranean Coasts, as well. During Winter seasons, it is seen that drought tendency increased, particularly during the period of last 25 years. During Summer seasons in Adana, it is seen humidity increased through the years of 1967-1991. Climatic conditions were extremely humid during Summer season of 1981. An overall drought tendency was dominant during Fall periods of last 25 years.

SPI analysis was applied to Ceyhan station located in East Mediterranean Sub-region (Division) of Mediterranean Region. SPI trend of last 50-year period was analyzed in seasonal periods. Last 50-year trend of Ceyhan station, belonging to Summer seasons, showed that there was an overall aridification. During Winter season, aridification tendency strikes in last 25 years. While SPI trend for Fall seasons showed humid tendencies through the years of 1967-1991, aridification tendency drew the attention in last 25 years. At Ceyhan station, the year 1993 became the driest Fall season of last 50 years. 1991 was the driest Summer period of last 50 years. Period through the years of 1971-1973 corresponds to the driest Winter period of last 50 years.

When SPI trend for Dörtöl station has been analyzed, it is seen that humidity increased during Fall seasons of 1967-1991. There was an overall aridification tendency during Spring seasons. The Climate was in normal course during seasons of Summer and Winter. There was no overall tendency to increase or decrease during these seasons. Extreme dry periods attract the attention in some years. Spring periods of 1993 and 2012 were extremely dry. Summer seasons of 1982, 2004 and 2012 correspond to extreme dry period. An overall humidity situation was dominant during Fall seasons. When SPI trend for Fall seasons of last 50 years has been examined, there is no extreme dry period except the year 1993. There were extreme dry years during Winter seasons of 1967-2016. The years of 1972, 1973, 2005 and 2014 were extreme dry Winter seasons.

While SPI trend of İskenderun station showed generally drought tendency, it was of humidity during some periods. For example, Drought increased during Spring periods of last 50 years at İskenderun station. It strikes that humid conditions were in tendency to increase during Fall seasons of last 50 years including 1967-2016. There was no tendency to increase or decrease in drought or humidity during Summer seasons. İskenderun station showed normal course during Summer period of last 50 years. Tendency of statistically insignificant humidity was dominant during Winter seasons of last 25 years including 1992-2016.

As is at other stations located along Mediterranean Coasts, it is seen that dry tendency increased during Spring periods at Antakya station, too. It is seen that drought became more apparent during 25-year period through the years of 1967-

1991, in particular. In addition to this, it is seen that there was also a drought tendency during Summer seasons of 1967-1991 at Antakya station. Situation of the increased humidity attracts the attention during Fall seasons of 1967-1991.

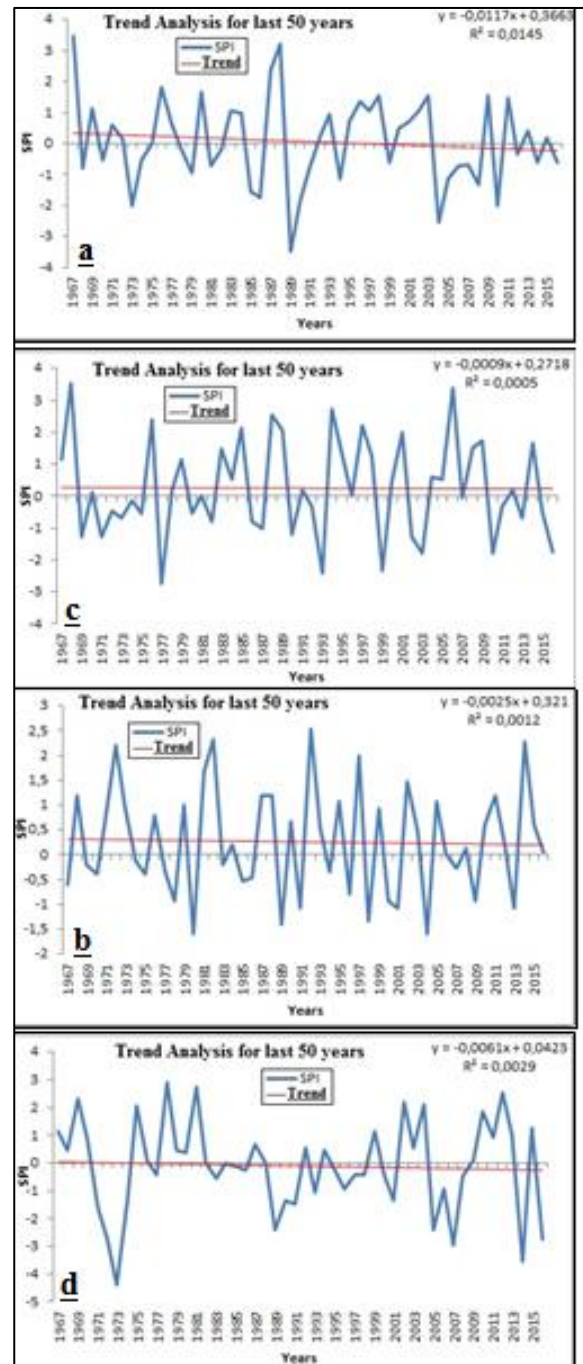


Figure 2. The trend of last 50-year SPI along Mediterranean Coast. (a: spring, b: summer, c: fall, d: winter).

SPI trend for Mediterranean Coasts-wide, including 1967-2016, was examined. Accordingly, it is seen that drought tendency increased prominently during Spring seasons. In other words, drought has increased during Spring seasons in

last 50 years along Mediterranean Coasts. Another issue striking for Mediterranean Coast is that a lot of extreme dry and humid periods were experienced. For example, it is seen that Winter season was dry during the period through 1971-1973. Besides this, Winter season happened as extremely dry during the period through 2005-2008 along Mediterranean Coasts (Figure 2).

4. CONCLUSION

The Mediterranean Region is among important vegetation zones of Turkey and contains fertile farmlands. In our study, seasonal SPI drought analysis was applied to 15-meteorological stations located along the Coastal Mediterranean. Thus, extreme dry and humid seasons of last 50 years along Mediterranean Coasts leading sensitive sections of Turkey about climate change were determined. Drought-related studies should focus on the Mediterranean Region. Because this region is faced with major problems related to drought. It is both vitally important and very difficult to identify the severity and duration of drought in advance. Thus, studies on drought should develop facilitating methods for determination of drought severity and early detection of dry periods.

Results obtained show that extreme humid and dry periods are experienced frequently along Mediterranean Coasts of Turkey. Along Coastal Mediterranean receiving a great part of precipitations during Winter season, droughts which are experienced during this period affect food supply, wetlands, fill/fullness amount/rate of dams, agricultural activities negatively. In this context, it is important that dry and humid situations along Mediterranean Coasts be forecasted and predetermined and the required precautions be taken. For example, it is seen that Winter season was dry during 3-year period through the years of 1971-1973 and the period through 2005-2008. There were extreme droughts during a lot of periods as such.

REFERENCES

- [1] Türkeş, M. (2010). *Klimatoloji ve Meteoroloji*. Birinci Baskı, Kriter Yayınevi - Yayın No. 63, Fiziki Coğrafya Serisi No. 1, ISBN: 978-605-4613-26-7, 650 + XXII pages, İstanbul.
- [2] Kızılelma, Y., Çelik, M. A., Karabulut, M., (2015), İç Anadolu Bölgesinde sıcaklık ve yağışların trend analizi, *Türk Coğrafya Dergisi*, 64, pp. 1-10.
- [3] Türkeş, M. (2012). Türkiye’de Gözlenen ve Öngörülen İklim Değişikliği, Kuraklık ve Çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi* 4(2), pp. 1-32.
- [4] Türkeş, M. (2001). Hava, İklim, Şiddetli Hava Olayları ve Küresel Isınma. İçinde: T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2000 Yılı Seminerleri, Teknik Sunumlar, Seminerler Dizisi 1: 187-205, Meteoroloji Genel Müdürlüğü: Ankara.
- [5] Sütgibi, S. (2015) Büyük Menderes Havzasının Sıcaklık, Yağış Ve Akım Değerlerindeki Değişimler Ve Eğilimler. *Marmara Coğrafya Dergisi* 31, Ocak, 398-414.
- [6] Xoplaki, E., Luterbacher, J., & Gonzales-Roucho, J. F. (2006). Mediterranean summer temperature and winter precipitation, large-scale dynamics, trends. *Nuovo Cimento della Societa Italiana di Fisica. C, Geophysics and Space Physics*, 29(1), 45-54.
- [7] Ölgün, K. (2010). “Türkiye’de Yıllık ve Mevsimsel Yağış Değişkenliğinin Alansal Dağılımı”, *Ege Coğrafya Dergisi*, 19(1), pp. 85-95.
- [8] Erhat, E. and Türkeş, M. (2013). Observed changes and trends in numbers of summer and tropical days, and the 2010 hot summer in Turkey. *International Journal of Climatology*, 33(8): 1898–1908.
- [9] Türkeş, M. ve Tatlı, H. (2008). “Türkiye’de kuraklık olasılıklarının standartlaştırılmış yağış indisi (SPI) Kullanılarak Saptanması Ve İklimsel Değişkenlik Açısından Değerlendirilmesi”, *Ormanlar Sempozyumu , Bildiriler Kitabı* (Ed., Ünal Akkemik), ss. 55-62. İÜ Orman Fak, 13-14 Aralık 2007, Bahçeköy – İstanbul.
- [10] Koçman, A. 1993. Türkiye İklimi, EÜ Basımevi, İzmir.
- [11] Atalay, İ. 2002. Türkiye’nin Ekolojik Bölgeleri, Meta Basımevi, İzmir.
- [12] Atalay, İ. 2003. Türkiye Bölgesel Coğrafyası, İnkılâp Kitabevi, İstanbul.
- [13] Tavşanoğlu, Ç., & Gürkan, B. (2004). Akdeniz havzasında bitkilerin kuraklık ve yangına uyumları. *Ot Sistematik Botanik Dergisi*, 11(1), 119-132.
- [14] Li, W., Fu, R., Juarez, R. I. N., & Fernandes, K. (2008). Observed change of the standardized precipitation index, its potential cause and implications to future climate change in the Amazon region. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 363(1498), 1767-1772.
- [15] Martínez, B., & Gilabert, M. A. (2009). Vegetation dynamics from NDVI time series analysis using the wavelet transform. *Remote Sensing of Environment*, 113(9), 1823-1842.
- [16] Kızılelma, Y., Karabulut, M., (2016). Yozgat ve Çevresinde Kuraklık Analizi, Uluslararası Bozok Sempozyumu, 5-7 Mayıs, Bildiriler Kitabı, Cilt:4, Sayfa: 242-251, Bozok Üniversitesi, Yozgat.
- [17] Çelik, M. A., & Karabulut, M. (2017). Uydu Tabanlı Kuraklık İndisi (SVI) Kullanılarak Yarı Kurak Akdeniz İkliminde (Kilis) Buğday Bitkisinin Kurak Koşullara Verdiği Tepkinin İncelenmesi. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(1), 111-130.
- [18] Türkeş, M., Akgündüz, A. S., Demirörs, Z. (2009). “Palmer Kuraklık İndisi’ne göre İç Anadolu Bölgesi’nin Konya Bölümü’ndeki kurak dönemler ve kuraklık Şiddeti”. *Coğrafi Bilimler Dergisi* 7, pp. 129-144.
- [19] Karabulut, M. (2015). Drought analysis in Antakya-Kahramanmaraş Graben, Turkey. *Journal of Arid Land*, 7(6), 741-754.
- [20] McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183). Boston, MA: American Meteorological Society.

- [21] Paulo, A. A. & Pereira, L. S. (2006). Drought Concepts and Characterization. *Water International*, 31, pp. 37-49.
- [22] Helsel, D. R. & Hirsch, R. M. (2002). *Statistical Methods in Water Resources Techniques of Water Resources Investigations*. U.S. Geological Survey.
- [23] Tabari, H., Marofi, S., Aeni, A., Talaee, P. H. & Mohammadi, K. (2011). Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, pp. 128-136.
- [24] Türkeş, M., Koç, T. ve Sarış, F. (2007). “Türkiye’nin Yağış Toplamı ve Yoğunluğu Dizilerindeki Değişikliklerin ve Eğilimlerin Zamansal ve Alansal Çözümlemesi”, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5(1), pp. 57-73.
- [26] Ramos, M.C. (2001). “Rainfall distribution patterns and their change over time in a Mediterranean area”, *Theoretical and Applied Climatology*, 69, pp. 163-170.

Ayçiçek Yağı Metil Ester Karışımlarının DI Bir Dizel Motorunun Performans ve Emisyonlarına Etkisi

*¹Vezir Ayhan, ²Serdar Tunca, ¹İdris Cesur, ¹İbrahim Özsert, ¹Gökhan Ergen

¹Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye,

vayhan@sakarya.edu.tr, 

icesur@sakarya.edu.tr, 

ozsert@sakarya.edu.tr, 

gergen@sakarya.edu.tr, 

²Tüvtürk, Sakarya, Türkiye, serdartaunca54@gmail.com, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 04.07.2017

Kabul Tarihi: 07.08.2018

Öz

Yenilenebilir alternatif yakıtlar, dizel motorlarından salınan HC, CO ve is emisyonlarını azalttıkları, aynı zamanda performansı da iyileştirdikleri için günümüzde araştırmacılar tarafından ilgi çeken konuların başında gelmektedir. Bu alternatif yakıtlar arasında biyodizel yüksek oksijen içeriği, dizel yakıtına yakın seviyede enerji içeriği, motorda herhangi bir modifikasyona ihtiyaç duyulmadan kullanılabilir olması ve düşük sülfür içeriği gibi birçok avantaja sahiptir. Bu çalışmada ayçiçek yağından transesterifikasyon yöntemiyle elde edilen metil ester-dizel karışımlarının DI bir dizel motorunun performans ve emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Motor deneyleri dizel ve farklı kütle oranlarında biyodizel-dizel B10 (%10 Biyodizel+%90 Dizel), B20 ve B50 karışımları ile tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, motorda B10 ve B20 karışımları kullanıldığında, motor efektif gücü ve torkunda standart duruma göre artmalar olurken, B50 karışımında azalmaların meydana geldiği tespit edilmiştir. Maksimum artma B20 yakıtı kullanımında elde edilmiştir. B20 kullanımı durumunda HC, CO ve İs emisyonlarında dikkate değer oranda azalmaların meydana geldiği, NO emisyonlarında ise artmaların olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ayçiçek yağı metil esteri, biyodizel-dizel karışımları, performans, emisyon

The Effect of Sunflower Oil Methyl Ester Blends on a DI Diesel Engine Performance and Emissions

*¹Vezir Ayhan, ²Serdar Tunca, ¹İdris Cesur, ¹İbrahim Özsert, ¹Gökhan Ergen

*¹Technology Faculty, Mechanical Engineering, Sakarya University of Applied Sciences, Turkey, vayhan@sakarya.edu.tr, icesur@sakarya.edu.tr, ozsert@sakarya.edu.tr, gergen@sakarya.edu.tr

²Tüvtürk, Sakarya, Turkey, serdartaunca54@gmail.com

Abstract

Renewable alternative fuels have forefront of researchers' interest today in view of reduction HC, CO and soot emissions and as the same time improvement of the performance in diesel engines. Among these alternative fuels, biodiesel has a lot of advantages such as high oxygen content, utility without modification near-diesel energy content and low sulfur content. In this study, the effects of sunflower oil methyl ester obtained by the transesterification methods diesel blends on the DI diesel engine performance and emission parameters were investigated experimentally. Experimental studies were carried out using as a fuel diesel and mass-produced diesel-biodiesel blends B10 (10% biyodisel+90% pure diesel), B20 and B50 at under full load conditions and different engine speeds. It has been obtained that when the B10 and B20 of biodiesel blends were used in engine as a fuel engine effective power and torque increases, but B50 blends using engine effective power and torque decreases according to the standard situation. The maximum increase was achieved with the use of B20 blends. It has been determined that

*Sorumlu Yazar: Vezir Ayhan, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye, vayhan@sakarya.edu.tr, Tel:0 264 295 65 30

Doi: 10.21541/apjes.325961

if this fuel (B20) was used, HC, CO and smoke emissions considerable decreased and NO emission increased according to standard engine values.

Keywords: Sunflower methyl ester, biodiesel-diesel blends, performance, emission

1. GİRİŞ

Hızla artan nüfus, gelişen sanayi ve modernizasyon dünya genelinde enerjiye olan ihtiyacı sürekli arttırmaktadır. Artan enerji ihtiyacı var olan kaynaklar ile karşılanamamaktadır. Birçok gelişmiş ülke artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için ham petrol ithal etmektedir[1]. Diğer taraftan petrol kaynakları rezervlerinin azalması, petrol fiyatlarının yükselmesi, yaşanan petrol krizleri ve motorlardan salınan kirlilik emisyon değerlerine getirilen yasal sınırlamalar araştırmacı ve imalatçıları yenilenebilir alternatif yakıtlara yönlendirmiştir. Biyodizel, dizel motorlarında kullanılan en popüler yenilenebilir alternatif yakıttır[2-4]. Bitkisel veya hayvansal yağlardan farklı yöntemlerle elde edilebilen biyodizelin, oksijen içeriği yüksek, zehirsiz, dizel yakıtı yakın yakıt özellikleri, içerisinde sülfür barındırmaması ve motorda herhangi bir modifikasyona ihtiyaç duyulmadan kullanılabilir olması gibi üstünlükleri nedeni ile diğer alternatif yakıtlara göre daha fazla ilgi görmektedir[5-7]. Ülkemizin bir tarım ülkesi olduğu düşünüldüğünde ve yılda yaklaşık 300 bin ton bitkisel yağın atıldığı dikkate alındığında biyodizelin ülke ekonomisi açısından sağlayacağı katkı oldukça yüksektir. Enerji ihtiyacının karşılanmasında yerel kaynakların kullanılması, var olan kaynakların ise verimli bir şekilde kullanımı, kaynak çeşitliliğinin ve sürekliliğinin sağlanmasının yanında taşıt kaynaklı hava kirliliğinin azaltılması günümüzde teşvik edilen en önemli konulardan biridir[8].

Bitkisel veya hayvansal yağların farklı yöntemler ile viskozite değerlerinin düşürülmesi yönündeki çalışmalar biyodizel üretimi çalışmalarının çoğunluğunu oluşturmaktadır[9]. Viskoziteyi düşürmede farklı yöntemler kullanılmakla birlikte en etkili yöntem transesterifikasyon metodudur. Transesterifikasyon metodu; bitkisel veya hayvansal yağların metil alkol ve etil alkol gibi monohidrik bir alkol ve katalizör ile reaksiyon gerçekleştirilerek yağ asidi esterleri ve gliserin elde etmek için uygulanan esterleştirme işlemidir[10]. Bu işlemde reaksiyonların hızlanması için katalizör kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan katalizörler sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) [10-13].

Yeniden esterleştirme işlemi sonucunda elde edilen biyodizelin kimyasal yapısı dizel yakıtından farklıdır. En önemli üstünlüğü oksijen içeriğine sahip olmasıdır. Yüksek oksijen içeriği sayesinde dizel motorlarında karışım olarak kullanılması sonucunda yanma verimini artırdığı, performans parametrelerini iyileştirdiği ve CO, HC ve is emisyonlarında azalma sağladığı bilinmektedir.

Literatürde farklı bitkisel veya hayvansal yağlardan elde edilmiş biyodizel-dizel karışımlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması üzerine pek çok çalışma

yapılmıştır[14-26]. Çalışmalar genel olarak incelendiğinde düşük oranlarda biyodizel-dizel karışımlarının motorda yakıt olarak kullanılması durumunda motor torkunun ve efektif gücün arttığı görülmektedir. Bazı araştırmacılar %20 biyodizel karışımı (B20) kullanımında motor torkunda meydana gelen artmanın daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir[14,16,22-25].Cesur ve ark.[8], tek silindri, DI bir dizel motorunda tavuk yağından transesterifikasyon yöntemi ile elde ettikleri biyodizel-dizel karışımlarını (B10, B20 ve B50) motorda yakıt olarak kullanmışlardır. Tam yük şartlarında yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda, B10 ve B20 kullanımında standart dizele göre motor performans parametrelerinde iyileşmelerin meydana geldiğini, B50 de ise bir miktar kötüleşmelerin olduğunu tespit etmişlerdir.

Biyodizel karışımlarının kullanılması durumunda HC, is ve CO emisyonlarında azalmaların olduğunu, NOx' da ise artmaların meydana geldiğini saptamışlardır. İlker ve ark.[10], tek silindri, ön yanma odalı bir dizel motorunda ayçiçek yağından elde ettikleri metil esterleri B50 karışım ve B100 olarak kullanmış, motor performans ve emisyonlara etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışma sonuçlarında B50 ve B100 kullanımında motor performans parametrelerinin standart yakıtı göre kötüleştiğini, CO emisyonlarında ise azalmaların meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Yücesu ve ark.[27], farklı bitkisel yağ ve bitkisel yağlardan elde edilen metil esterleri bir dizel motorunda kullanarak tam yük ve kısmi yük şartlarında motor performans ve emisyon parametrelerine etkilerini incelemişlerdir. Bitkisel yağ kullanımı durumunda motor performans, NOx ve is emisyonlarının dizel yakıtı göre kötüleştiğini, metil esterlerin kullanılması durumunda ise motor performansının arttığını belirtmişlerdir.

Rakopoluos ve ark.[28], aşırı doldurmalı direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda ayçiçek ve pamuk yağından elde ettikleri metil esterleri- dizel karışımlarını (B10 ve B20) yakıt olarak kullanmış ve elde ettikleri sonuçları standart dizel yakıt verileriyle karşılaştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda, biyodizel karışımları kullanılması durumunda motor gücünde dikkate değer bir değişim meydana gelmezken, özgül yakıt sarfiyatının, NOx ve HC emisyonlarının arttığını CO emisyonlarının ise azaldığını tespit etmişlerdir. Kaplan ve ark.[29], 4 silindri bir dizel motorunda transesterifikasyon yöntemi ile elde ettikleri ayçiçek yağı metil esterini yakıt olarak kullanmışlardır. Çalışmaları sonucunda dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketiminin arttığını, is emisyonların da ise azalmaların meydana geldiğini ileri sürmüşlerdir.

Bu çalışmada ayçiçek yağından transesterifikasyon yöntemi ile elde edilen metil esterinin farklı oranlarda dizel yakıtı ile

karıştırılması ile elde edilen biyodizel karışımlarının (B10, B20 ve B50) 4 zamanlı bir dizel motorunda kullanımının motor performans parametreleri ve emisyon karakteristiklerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen veriler standart dizel verileriyle karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Ayçiçek Yağı Metil Esterinin Üretilmesi

Ayçiçek yağından biyodizel eldesinde transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Alkol olarak %99 saflık değerinde metanol, katalizör olarak ise KOH kullanılmıştır. Yağ, alkol ve katalizör ağırlıkları 0.001 g hassasiyetinde hassas terazi ile ölçülmüştür. Alkol ve katalizör ağırlıkları ölçülerek cam bir kap içerisinde katalizörün alkol içerisinde tamamen çözünmesi sağlanmıştır. Daha sonra ayçiçek yağı istenilen sıcaklık değerine ısıtılmış ve hazırlanan alkol-katalizör karışımı yağın içerisine katılmıştır.

Transesterifikasyon reaksiyonlarının gerçekleştirilmesi için karışım sıcak su banyosu içerisinde 1 saat boyunca 600 d/d karıştırılmıştır. Daha sonra ester ve gliserinin ayrışması için ayrıştırma kabına konulmuş ve ester elde edilmiştir. Elde edilen ester, saf su ile yıkanıp kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Çalışmada kullanılan yakıtların özellikleri Tablo 1’ de verilmiştir.

Tablo 1. Dizel ve biyodizelin özellikleri

Özellik	Dizel	Biyodizel
Yoğunluk (kg/m ³)	825-840	880
Gizli Buharlaştırma Isısı (kJ/kg)	250	-
Setan Sayısı	57	46,8
Alt Isıl Değeri (MJ/kg)	42,6	39,5
Kinematik Viskozitesi (40 °C) (mm ² /s)	2,6	4,7
Kaynama Noktası (°C)	180-360	-
Tutuşma Sıcaklığı (°C)	250	125

2.2. Deneysel Çalışmalar

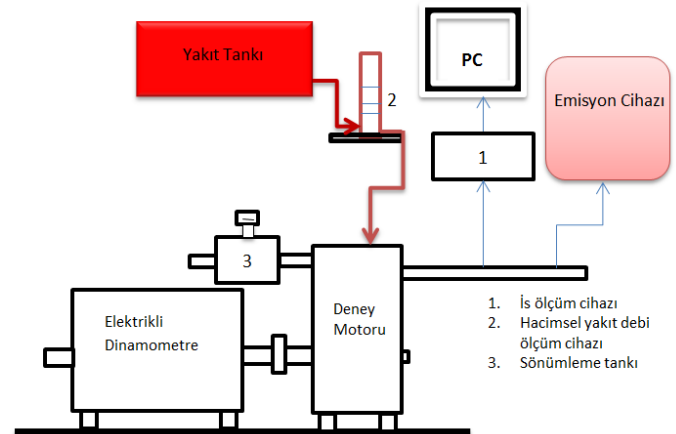
Deneylerde tek silindirli, su soğutmalı, doğal emişli, SüperStar marka direkt enjeksiyonlu bir dizel motoru kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan motorun özellikleri Tablo 2’ de verilmiştir.

Efektif gücün ölçülebilmesi için, deney motoru 20 kW’ lık elektrikli tip bir dinamometreye bağlanmıştır. Dinamometre kuvvet kolunda 0,1 kg hassasiyetinde “S” tipi yük hücresi kullanılmıştır. Deneylerden önce yük hücresi hassas bir şekilde kalibre edilmiştir. Deneyler tam yük şartlarında ve 1000, 1300, 1600, 1900 ve 2200 d/d motor hızlarında

gerçekleştirilmiştir. Optimum statik püskürtme avansının tespiti için deneysel çalışmalar yapılmış motor performansı açısından en uygun statik püskürtme avansı değerinin üst ölü noktadan önce 34° krank mili açısı olduğu tespit edilmiş ve deneyler bu avans değerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’ de deney düzeneğinin şematik şekli görülmektedir[8,14].

Tablo 2. Deney motorunun teknik özellikleri

Motor Tipi	Süper Star
Piston Çapı [mm]	108
Strok [mm]	110
Silindir Sayısı	1
Strok Hacmi [dm ³]	1
Güç, 2200 d/d, [kW]	13
Enjektör Açma Basıncı [bar]	175
Püskürtme Avansı [Krank Açısı]	34
Sıkıştırma Oranı	17,5
Maksimum Devir [d/d]	2500
Soğutma Tipi	Su
Püskürtme Tipi	Direkt Enjeksiyon
Piston Tipi	Çanak Piston



Şekil 1. Deney düzeneği

Egzoz emisyonlarının ölçülmesinde (HC, CO, NO, O₂) BOCSH marka BEA modeli gaz analiz cihazı, is emisyonlarının ölçülmesinde BILSA marka is ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Yakıt sarfiyatı ölçümü 25 ve 50 cm³’ lük cam hazneli hacimsel yakıt ölçüm sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Soğutma sistemi kapalı sistem olup, deneylerde soğutma suyu çıkış sıcaklığı 70 °C değerinde tutulmuştur. Hava sarfiyatı ölçümünde orifis plaka –sönümleme tankı sistemi kullanılmıştır.

2.3. Belirsizlik Analizi

Sunulan çalışmada kullanılan cihazlar ve ölçüm hassasiyetleri Tablo 3’ de verilmiştir.

Tablo 3. Deney düzeneğinde kullanılan cihazların özellikleri ve ölçüm hassasiyetleri

Ölçülen parametreler	Birim	Ölçüm aralığı	Ölçme aleti	Ölçüm hassasiyeti
Motor Devri	d/d	0-9999	Dijital takometre	1 dev/dak
Egzoz sıcaklığı	°C	0-1000	Ni-Cr-Ni	1 °C
Soğutma suyu giriş-çıkış ve ortam sıcaklığı	°C	0-999	Fe-Konst.	1 °C
Yakıt tüketim zamanı	s	-	Kronometre	0,001s
Fren terazi kuvveti, S tipi yük hücresi	Kg	0-100	Elektrikli Dinamometre, Yük hücresi	0,1 Kg
Hava tüketim miktarı	mmSS	0-100	Eğik manometre	1 mm
Karbon monoksit (CO)	% hacimsel	% 0-10,0	BOCSH-BEA	% ± 0,055
Hidrokarbon (HC), ppm	ppm	0-9999	BOCSH-BEA	Ölçülen değer %5'i
Azot oksit (NO), ppm	ppm	0-5000	BOCSH-BEA	Ölçülen değer %5'i
Duman Koyuluğu	%	0-100	Bilsa Mod5000	%1

Deney sonuçlarını neticesinde hesaplanan motor performans parametrelerinde %1 ile %1,5 değişen oranlarda belirsizlikler mevcuttur (Tablo 4).

Tablo 4. Sistematik ve rasgele hatalara göre hesaplanmış toplam belirsizlikler

	Toplam Belirsizlik, %
Özgül Yakıt sarfiyatı, g/kWh	1,5
Moment, Nm	1,0
Efektif güç, kW	1,3

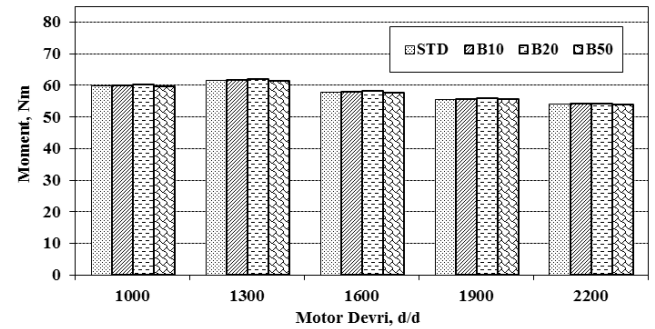
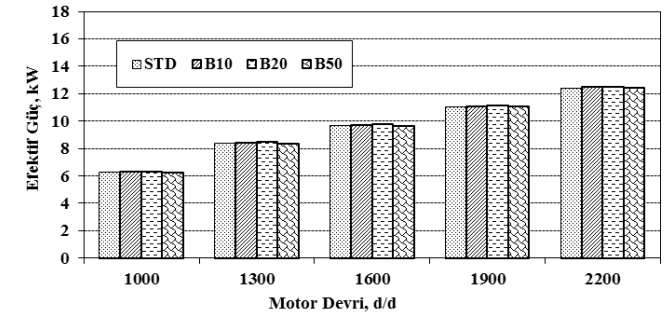
3. SONUÇLAR

3.1. Motor Performans Parametreleri

Şekil 2 ve 3' de sırasıyla tam yük şartlarında farklı motor devirlerinde dizel, B10, B20 ve B50 kullanılarak elde edilen motor tork ve efektif güç değerlerinde meydana gelen değişimler görülmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi B10 ve B20 kullanımında moment ve efektif güçte standart duruma göre artmalar meydana gelirken B50 kullanımında azalmaların olduğu tespit edilmiştir.

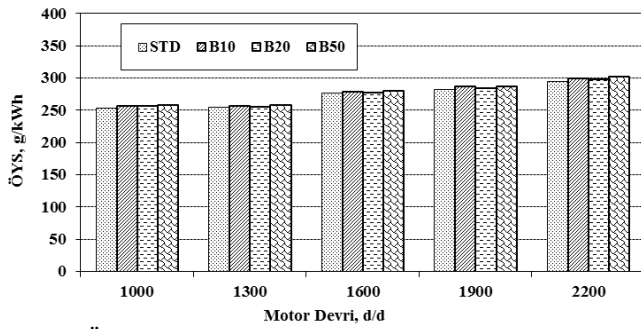
Standart durumda 1300 d/d motor devrinde 61,6 Nm olarak ölçülen motor tork değeri, B10 kullanımında 61,7 Nm ve B20 kullanımında ise 62,1 Nm ve B50' de ise 61,2 Nm olarak ölçülmüştür. Standart durumda 2200 d/d motor hızında maksimum 12,42 kW olarak ölçülen efektif güç değeri B10' da 12,45 kW, B20' de 12,5 kW, B50 kullanımında ise 12,4 olduğu tespit edilmiştir. B10 ve B20

kullanımında standart duruma göre motor tork ve efektif güçte artmaların meydana gelmesi, biyodizelin oksijence zengin bir kimyasal yapıya sahip olmasına bağlı olarak yanma verimini iyileştirmesinden kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda biyodizelin yoğunluğunun dizele göre yüksek olması bir çevrimde silindir içerisine gönderilen toplam kütsel enerji miktarının artmasına sebep olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak karışım içerisindeki biyodizel arttıkça (B50) biyodizelin ısı değeri dizele göre düşük olmasından dolayı B10 ve B20' de artmalara neden olan etkenlerin etkisi karışımın ısı değeri fazla düşmesinden dolayı etkili olamamakta ve performans düşmektedir.

**Şekil 2.** Motor döndürme momenti değişimleri**Şekil 3.** Motor efektif güç değişimleri

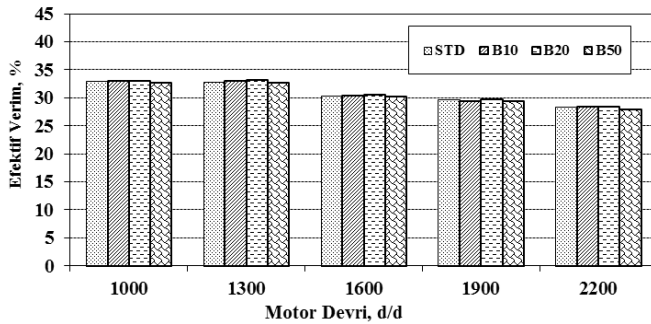
Dizel, B10, B20 ve B50 karışımlarının kullanılması durumunda elde edilen Özgül yakıt sarfiyatındaki (ÖYS) değişimleri Şekil 4' de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi motorda biyodizel karışımları kullanılması durumunda standart motor verilerine göre özgül yakıt sarfiyatında tüm karışım oranlarında ve test devirlerinde artmaların meydana geldiği tespit edilmiştir.

Standart durumda 254,2 gr/kWh olarak hesaplanan ÖYS, B10 kullanımında 256,7 gr/kWh, B20 kullanımında 256,5 gr/kWh, B50 kullanımında ise 258,8 olarak hesap edilmiştir. ÖYS' da B20 kullanımında diğer karışım oranlarına göre daha az artma miktarı elde edilmiştir. Biyodizel karışımları kullanımında standart duruma göre maksimum değişim % 1,7 olarak hesap edilmiştir. Biyodizelin yoğunluğunun dizele göre yüksek olması ve ısı değeri ise düşük olması nedeni ile bir çevrimde pompa plancer üzerindeki hacimden silindire enjekte edilen kütsel yakıt miktarı artmaktadır. Bu da ÖYS' da artmalara neden olmaktadır.



Şekil 4. ÖYS değişimleri

Şekil 5’ de tam yük şartlarında, farklı motor devirlerinde dizel, B10, B20 ve B50 kullanılarak elde edilen efektif verim değerleri görülmektedir.

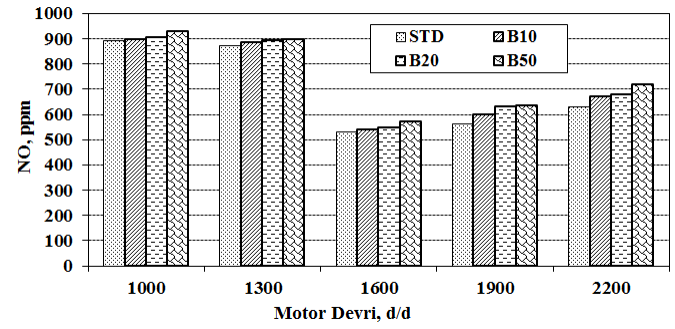


Şekil 5. Motor efektif verim değişimleri

Şekilden de görüldüğü gibi motorda B20 kullanıldığında bütün motor devirlerinde standart duruma göre efektif verim değerlerinde artmaların olduğu tespit edilmiştir. Maksimum değişim oranı %1,3 olarak hesaplanmıştır. B10 kullanımında düşük motor devirlerinde efektif verim değerlerinde artmalar, yüksek motor devirlerinde ise standart duruma göre azalmaların meydana geldiği görülmüştür. B50 kullanımında ise tüm motor devirlerinde standart duruma göre azalmaların olduğu saptanmıştır.

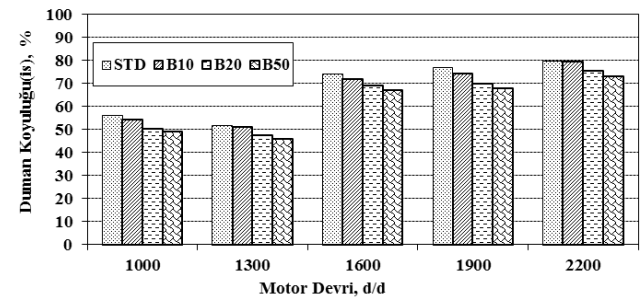
3.2. Emisyon Karakteristikleri

Motorda dizel, B10, B20 ve B50 yakıtları kullanılarak tam yük şartlarında ve farklı motor hızlarında ölçülen NO değerlerinde meydana gelen değişim oranları Şekil 6’ da verilmiştir. Şekil incelendiğinde, biyodizel karışimli yakıtlar motorda kullanıldığında standart duruma göre NO emisyonlarında artmaların meydana geldiği görülmektedir. Karışım içerisindeki biyodizel oranı arttıkça NO emisyonlarındaki artma oranı da yükselmiştir. Maksimum artma oranı B50 kullanımında %11 olarak ölçülmüştür. NO emisyonlarının oluşmasını etkileyen ana mekanizmalardan biri silindir içerisinde meydana gelen yüksek sıcaklık değerleri diğeri ise, hava/yakıt oranıdır. Biyodizel kullanımında oksijen içeriğine bağlı olarak yanma verimi artmakta ve silindir içi ulaşılan maksimum sıcaklık değerlerinde artmalar meydana gelmektedir. Aynı zamanda standart duruma göre motor biraz daha fakir karışım bölgesinde çalıştığından NO oluşum oranı artmaktadır.



Şekil 6. NO emisyonları değişimi

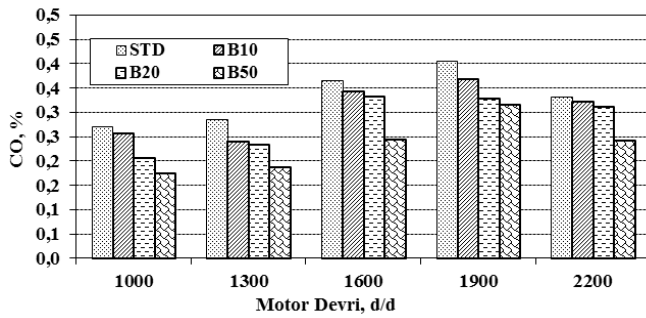
Şekil 7’ de dizel, B10, B20 ve B50 kullanılarak elde edilen is emisyonu değerlerindeki değişimler görülmektedir.



Şekil 7. Is emisyonları değişimi

Dizel motorlarının yüksek hava fazlalık katsayısı değerlerinde çalışmasına rağmen is emisyonlarının oluşmasının nedeni, silindir içerisinde yakıt/hava karışımının yeterince karışamaması ve lokal zengin karışım bölgelerinin oluşmasından kaynaklandığı bilinmektedir. Ayrıca yanma için yeterli zamanın kalmaması da is emisyonlarının oluşumunu etkileyen diğer bir etkidir. Şekil incelendiğinde oksijen içeriği yüksek olan biyodizel karışımları kullanıldığında standart duruma göre is emisyonlarında azalmaların meydana geldiği görülmektedir. Karışım içerisindeki biyodizel oranı arttıkça standart duruma göre is emisyonlarında azalma miktarı da artmıştır. Maksimum azalma miktarı B50 kullanımında elde edilmiş ve standart duruma göre %14’ lere varan oranlarda azalmalar elde edilmiştir. Maksimum momentin elde edildiği B20 kullanımında ise maksimum azalma oranı %8 mertebelerinde olmuştur.

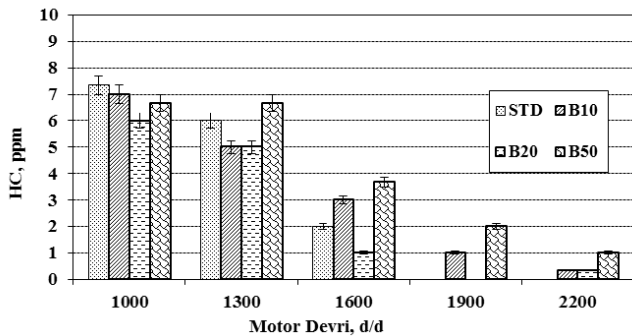
Şekil 8’ de tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde dizel, B10, B20 ve B50 yakıtları kullanılarak ölçülen CO emisyonu değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde standart duruma diğer yakıtların kullanımında CO emisyonlarında tüm motor devirlerinde azalmaların olduğu görülmektedir. Karışım içerisindeki biyodizel oranı arttıkça CO emisyonlarında meydana gelen azalma miktarı da artmıştır. Maksimum azalma B50 kullanımında elde edilmiştir. Kısmi eksik yanma ürünü olan CO emisyonlarının biyodizel karışımları kullanımında azalmasının sebebi motorun biyodizel oksijen içeriğinden dolayı daha fakir karışımlarla çalışmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 8. CO emisyonları değişimi

Motorda dizel, B10, B20 ve B50 yakıtları kullanılarak tam yük şartlarında ve farklı motor hızlarında ölçülen HC emisyon değerleri Şekil 9’ da verilmiştir.

Şekil incelendiğinde standart duruma göre biyodizel karışımları kullanıldığında HC emisyon değerlerinde özellikle düşük motor devirlerinde azalmalar gözlemlenirken, yüksek motor devirlerinde artmalarına meydana geldiği görülmüştür. Biyodizel karışımlarının kullanılması durumunda setan sayısının standart duruma göre artması HC emisyonlarının azalmasını sağlayacaktır. Ayrıca, yanma veriminin artması ve oksijen içeriğinin yükselmesi HC emisyonlarını azaltacaktır.



Şekil 9. HC emisyonları değişimi

4. DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA

Çalışmada ayçiçek yağından transesterifikasyon yöntemi ile elde edilen metil esterin B10, B20 ve B50 oranlarında direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda kullanımının motor performans parametreleri ve emisyon değerlerine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda standart duruma göre;

- 1.Motor döndürme momenti ve efektif gücün B10 ve B20 karışım oranlarında arttığı, B50 karışım oranının da ise azaldığı tespit edilmiştir. Maksimum artma miktarı B20 kullanımında meydana gelmiştir.
- 2.ÖYS’ da biyodizel karışımları kullanılması durumunda bir miktar artmaların meydana geldiği, karışım içerisindeki biyodizel oranının arttıkça ÖYS’ nında arttığı tespit edilmiştir.
- 3.Efektif verimde B20 kullanımında tüm motor devirlerinde artmaların meydana geldiği, B50 kullanımında ise azalmaların gözlemlendiği saptanmıştır.

- 4.NO emisyonlarında biyodizel karışımları kullanılması durumunda artmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- 5.İs emisyonlarında biyodizel karışımları kullanılması durumunda dikkate değer oranda azalmaların meydana geldiği saptanmıştır.
- 6.CO emisyonlarında biyodizel karışımları kullanılması durumunda azalmaların meydana geldiği tespit edilmiştir.
- 7.HC emisyonlarında biyodizel karışımlarının kullanılması durumunda düşük motor devirlerinde azalmaların, yüksek motor devirlerinde ise bazı karışım oranlarında artmaların olduğu tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeler Koordinatörlüğü tarafından (FBYLTEZ-2012-50-01-046) desteklenmiştir. Maddi desteklerinden dolayı SAÜ, BAPK’ a teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- [1].M.M. Hasan, M.M Rahman, “Performance and emission characteristics of biodiesel–diesel blend and environmental and economic impacts of biodiesel production: A review”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 74, pp. 938–948, 2017.
- [2].B. He, Y.Shao, Y. Ren, J.Li, Y. Cheng, “Continuous biodiesel production from acidic oil using a combination of cation- and anion-exchange resins”, Fuel Processing Technology, vol. 130, pp. 1-6, 2015.
- [3].M. Çanakcı, “Performance and emissions characteristics of biodiesel from soybean oil”, P. I. Mech. Eng D-J. Aut. Vol. 219, pp. 915–922, 2005.
- [4].O.Özener, L.Yüksek, A.T.Ergenç, A.T. M.Özkan, “Effects of soybean biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics”, Fuel, vol. 115, pp. 875-883, 2014.
- [5].M.Sundaresan, S.Chandrasekaran, P.T. Porai, “Analysis of combustion, performance and emission characteristics of blends of methyl esters of jatropha oil (MEJ) in DI diesel engine”, SAE Technical Paper, 2007.
- [6].M.S.Graboski, R.L. McCormick, “Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines”, Prog Energy Combust Sci, vol. 24, pp. 125–64, 1998.
- [7].A.Monyem, J.H. Van Gerpen, “The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions”, Biomass-Bioenergy, vol. 20, pp. 317–25, 2001.
- [8].İ.Cesur, V.Ayhan,P.Parlak, “Bir Dizel Motorunda Tavuk Yağı Metil Esteri Kullanılmasının Performans Ve Emisyonlara Etkisi”, 10. Uluslararası Yanma Sempozyumu, Sakarya/ Türkiye, 09–10 Ekim 2008.
- [9].C.Haşımoğlu, “Düşük Isı Kayıplı Bir Dizel Motorunda Biyodizel Kullanılmasının Performans ve Emisyon Parametrelerine Etkisi” Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sakarya 2005.
- [10]. İ.Sugoza, F.Aksoy,Ş.A.Baydır, “Bir Dizel Motorunda Ayçiçeği Metil Esteri Kullanımının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 6, No: 2, pp.49-56, 2009.

- [11]. D.Y.C.Leung, Y.Guo, "Transesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production", *Fuel Processing Technology*, vol. 87, pp. 883–890, 2006.
- [12]. H.S.Yücesu, R.Altın, S.Cetinkaya, "Dizel Motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının deneysel incelenmesi", *Turkish Journal Engineering Environment Science*, vol. 25, pp. 39-49, 2001.
- [13]. H.Raheman, A.G.Phadatare, "Diesel engine emissions and performance from blends of karanja methyl ester and diesel", *Biomass and Bioenergy*, vol. 27, pp. 393 – 397, 2004.
- [14]. A.Parlak, V.Ayhan, İ.Cesur, G.Kökkülünk, "Investigation of the effects of steam injection on performance and emissions of a diesel engine fuelled with tobacco seed oil methyl ester", *Fuel Processing Technology*, vol. 116, pp. 101–109, 2015.
- [15]. M.Karabektaş, G.Ergen, M.Hoşöz, "The effects of preheated cottonseed oil methyl ester on the performance and exhaust emissions of a diesel engine", *Applied Thermal Engineering*, vol. 28, pp. 2136–2143, 2008.
- [16]. A.Parlak, H.Karabaş, İ.Ozsert, V.Ayhan, I.Cesur, "Application of Taguchi's methods to investigate factors affecting emissions of a diesel engine running with tobacco oil seed methyl ester", *Int. J. Vehicle Design*, Vol. 59, Nos. 2/3, 2012.
- [17]. D.Chandran, H.K.Ng, H.L.N.Lau, S.Gan, Y.M.Choo, "Investigation of the effects of palm biodiesel dissolved oxygen and conductivity on metal corrosion and elastomer degradation under novel immersion method", *Applied Thermal Engineering*, vol. 104, pp. 294–308, 2016.
- [18]. M.Gürü, A.Koca, Ö. Can, C.Çınar, F.Şahin, "Biodiesel production from waste chicken fat based sources and evaluation with Mg based additive in a diesel engine, *Renew*", *Energy*, vol. 35, no.3, pp. 637–643, 2010.
- [19]. A.N.Ozsezen, M.Canakci, "An investigation of the effect of methyl ester produced from waste frying oil on the performance and emissions of an IDI diesel engine", *J. Fac.Eng. Arch. Gazi Univ.* Vol. 23 no.2, pp. 395–404, 2008.
- [20]. E.Öztürk, "Performance, emissions, combustion and injection characteristics of a diesel engine fuelled with canola oil–hazelnut soapstock biodiesel mixture", *Fuel Processing Technology*, vol.129, pp. 183–191, 2015
- [21]. Ö.Can, "Combustion characteristics, performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with a waste cooking oil biodiesel mixture", *Energy Convers. Manag.*, vol. 87, pp. 676–686, 2014.
- [22]. A.K.Agarwal, L.Das, "Biodiesel development and characterization for use as a fuel in compression ignition engines", *Journal of Engineering Gas Turbines Power*, vol. 123, pp. 123:440–447, 2007.
- [23]. C.A.Sharp, T.W.Ryan, G.Knothe, "Heavy-duty diesel engine emissions tests using special biodiesel fuels", *SAE Technical Paper*, 2005.
- [24]. J.Suryawanshi, N.Deshpande, "Overview of EGR, injection timing and pressure on emissions and performance of CI engine with pongamia methyl ester", *SAE Technical Paper*, 2005.
- [25]. M.B.Sirman, E.C.Owens, K.A.Whitney, "Emissions comparison of alternative fuels in an advanced automotive diesel engine", *SAE Technical Paper*, 2000.
- [26]. Yücesu, H.S., Altın, R., Çetinkaya, S., "Dizel Motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının deneysel incelenmesi", *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, vol. 25, pp. 39-49, 2001.
- [27]. C. D. Rakopoulos, D. C. Rakopoulos, D. T. Hountalas, E. G. Giakoumis, E. C. Andritsakis, "Performance and emissions of bus engine using blends of diesel fuel with bio-diesel of sunflower or cottonseed oils derived from Greek feedstock", *Fuel*, vol. 87, pp. 147-157, 2008.
- [28]. C. Kaplan, R. Arslan, A. Surmen, "Performance Characteristics of Sunflower Methyl Esters as Biodiesel", *Energy Sources, Part A*, vol. 28, pp. 751-755, 2006.

Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli: Bitlis Örneği

^{1*}Ayşegül Demir Yetiş, ¹Leyla Gazigil, ²Recep Yetiş, ³Burçin Çelikezen

¹Bitlis Eren Üniv., Müh.- Mim. Fak., Çevre Müh. Böl. Bitlis, ademir@beu.edu.tr, 

¹Bitlis Eren Üniv., Müh.- Mim. Fak., Çevre Müh. Böl. Bitlis, leylagazigil@hotmail.com, 

²Bitlis Eren Üniv., Sağlık Hizmetleri MYO, Çevre Sağlığı Prog., Bitlis, ryetis@beu.edu.tr, 

³Bitlis İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Bitlis, burcinozer44@gmail.com, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 13.03.2018

Kabul Tarihi: 07.08.2018

Öz

Bu çalışmada, Bitlis ilinin ve ilçelerinin hayvan sayısından oluşan atık miktarlarından biyogaza dönüştürülme potansiyeli ele alınarak oluşabilecek enerji miktarı ve yakıt tasarruf miktarları belirlenmiştir. 2017 yılına ait Bitlis il geneli için büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı (tavuk) hayvan sayısı sırasıyla 82406, 601555 ve 78424 adettir. Bu hayvanlardan oluşan atık miktarları hesaplandıktan sonra Agro-Waste projesi kapsamında belirtilen oranlar ile kullanılabilir atık miktarı büyükbaş için 532425,166 (ton/yıl), küçükbaş için 64125,763 (ton/yıl) ve kanatlı (tavuk) için 2251,553 (ton/yıl) olarak elde edilmiştir. Biyogaza karşılık gelen değerler ise her biri için 17570030,48 m³/yıl, 3719294,25 m³/yıl ve 175621,13 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak büyükbaş hayvan sayısının fazla, toplam hayvan sayısının az olduğu Güroymak ilçesi 5,3 milyon m³/yıl miktarla biyogaz potansiyelinin en yüksek olduğu ilçedir. Ayrıca Bitlis iline ait toplam biyogaz potansiyeli yaklaşık 21,46 milyon m³/yıl olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bitlis, Hayvansal atık, Biyogaz üretimi, Enerji potansiyeli

Biogas Potential from Animal Waste: A Case Study for Bitlis Province

^{1*}Ayşegül Demir Yetiş, ¹Leyla Gazigil, ²Recep Yetiş, ³Burçin Çelikezen

¹Bitlis Eren Univ., Faculty of Engineering and Architecture, Dept. of Environmental Engineering, Bitlis.
ademir@beu.edu.tr

¹Bitlis Eren Univ., Faculty of Engineering and Architecture, Dept. of Environmental Engineering, Bitlis.
leylagazigil@hotmail.com

²Bitlis Eren University, Bitlis Eren University Department of Environmental Health, Bitlis.
ryetis@beu.edu.tr

³Bitlis Directorate of Provincial Agriculture and Forestry, Bitlis
burcinozer44@gmail.com

Abstract

In this study, amount of energy and amount of fuel savings that can be formed by considering the biogas conversion potential from the amount of waste of animal counts of the city of Bitlis and its counties has been determined. The number of bovine, ovine and poultry (chickens) animals belonging to the year 2017 are 82406, 601555 and 78424 for Bitlis provincial. After calculating the amount of wastes generated from these animals, the amount of waste that can be used with the rates specified in the Agro-Waste project was 532425,166 (ton / year), 64125,763 (ton / year) and 2251,553 (ton / year). Biogas response values were calculated as 17570030,48 m³ / year, 3719294,25 m³ / year and 175621,13 m³ / year respectively. As a result, the Güroymak district where the number of bovine animal is high and the number of total animal is low has the highest biogas potential with the approximate 5.3 million m³/year. In addition to this, the total biogas potential belonging to the Bitlis cit has been determined as 21.46 million m³/year.

Keywords: Bitlis, Animals waste, Biogas production, Energy potential

*¹Sorumlu Yazar: Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Rahva Kampüsü, Bitlis, ademir@beu.edu.tr, Tel: +90(434) 222 00 30 / D: 3212

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun zamanla büyük bir artış göstermesi, endüstriyel gelişim ve insanların yaşam standardının yükselmesi, enerjiye olan talebi ve gereksinimi gittikçe artırmaktadır. Bu artışlar mevcut enerjinin bir süre sonra talebi karşılayamamasına ve sonuç olarak artan enerji ihtiyacı ve maliyeti, enerji anlamında yeni arayışlar içerisine girmemize sebep olmaktadır [1;13]. Dünyanın geleceği için enerji çok büyük bir öneme sahip olup ekonomik gelişmenin merkezidir. Bilinen enerji kaynakları; fosil yakıtlar, yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer enerji kaynakları olarak sıralanabilmektedir [7]. Fosil yakıtları ülkemizde olduğu gibi birçok ülkede de enerji ihtiyacının temelini oluşturmaktadır. Dünyanın bir yılda ihtiyacı olan enerji miktarının 400 EJ olduğu ve bunun da yaklaşık %80'ninin fosil yakıttan karşılandığı düşünüldüğünde, çevre kirliliğinin boyutları çevreyi ve bütün canlıları tehdit etme aşamasına gelmiştir. Özellikle 20. yüzyılda fosil yakıtların aşırı kullanımı ile ozon tabakasında meydana gelen incelmeye, asit yağmurlarının daha sık görülmeye başlanması ve küresel ısınma gibi çevreye zarar veren olayların artması ve bu yakıtların tükenebilir kaynaklar olması alternatif enerjiye olan rağbeti arttırmıştır [1;15]. Alternatif enerji kaynağı olarak doğaya zarar vermeyen ve zamanla tükenmeyen yenilenebilir enerji kaynaklarından en çok güneş ve rüzgâr enerjisi tercih edilmektedir [16]. Bunun yanında son zamanlarda hayvansal atıklardan ve çöplerden elde edilen biyogaz üretme reaktörleri önem kazanmaktadır. Günümüzde sürdürülebilir biyoenerji üretiminin artması sayesinde fosil yakıtlardan kaynaklanan çevre kirliliği azalmış olacaktır [10].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biyogaz enerjisinin çevre dostu olması ve maliyet açısından ekonomik olması günden güne önemini arttırmıştır [1;9]. Biyogaz üretimi atık yönetimi açısından; organik atıkların kullanılması, atık bertarafı ve atıklardan enerji elde edilmesi yönünden etkin bir adım olarak karşımıza çıkmaktadır [13]. Birçok ülkede biyokütleinin biyogaza dönüştürülmesi, sürdürülebilir kalkınmaya katkının yanında enerji tasarrufunu sağlar ve sera gazı yayılmalarını azaltır [12]. Biyogaz; orman ürünleri, evsel ve endüstriyel atıklar, tarımsal atıklar ve hayvan gübresi gibi birçok organik atıktan oluşmuş yanıcı bir gaz karışımı olup, dönüştürülmüş enerji olarak tanımlanır [4]. Biyogaz, organik maddelerin mikroorganizma varlığında oksijensiz ortamda, metalaştırma süreci ile oluşmakta ve içeriğinde metan (CH_4), karbondioksit (CO_2), azot (N_2), hidrojen sülfür (H_2S), amonyak (NH_3), hidrojen (H_2) ve karbonmonoksit (CO) bulunmaktadır [2]. Biyogaz üretiminin verimi; pH, sıcaklık, karıştırma gibi parametrelerin uygun olmasına bağlıdır.

Ülkemiz hayvansal ve bitkisel üretim açısından yüksek bir potansiyele sahip ancak bu atıklar biyogaz üretiminde değerlendirilemeyerek, ya tarım topraklarında gübre olarak kullanılmakta veya doğrudan doğruya yakılmaktadır. Biyogazdan enerji üretimi 1980'den önce başlamış, 2000 yılında önemi anlaşılmış ve çalışmalar hız kazanmıştır.

Biyogaz çalışmaları ilk olarak tavuk çiftliklerinde 2004 yılında denenmiş ardından küçükbaş ve büyükbaş çiftliklerinde de çalışmalara devam edilmiştir. Nihai olarak biyogaz üretim tesislerinin birçoğu 2005 yılı itibarıyla kurulmuştur [13]. Bu tesislerin kurulması; kırsal kesimlerde ve köylerde hayvansal atıkların daha sağlıklı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamıştır. Ayrıca yemek pişirme, ısınma, aydınlanma gibi alanlarda elde edilen enerji kullanılarak ekonomiye katkı sağlamıştır [14].

Bu çalışmada; Bitlis ilindeki toplam hayvan sayısına göre 2017 yılı için biyogaz, enerji potansiyeli ve yakıt tasarrufu hesabı yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Bitlis ili, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesinde yer almakta olup, yüzölçümü 8.855 km²'lik bir alana sahiptir. İl 7 ilçeden oluşmakta, bunlardan Adilcevaz, Ahlat ve Tatvan ilçelerinin Van Gölü ile sınırı bulunmaktadır (Şekil 1) [3]. Genel olarak karasal iklim özellikler göstermesine rağmen, gerçekte doğunun sert karasal iklimiyle Akdeniz iklimi arasında bir geçiş niteliği taşımaktadır. Kışlar soğuk ve kar yağışlı, yazlar ise kurak geçmektedir. Temel geçim kaynağı tarım ve hayvancılıktır. Karasal iklimi sahip olan ilde zirai faaliyetler arasında önemli yeri hayvancılık almaktadır [6]



Şekil 1. Bitlis İli ve İlçeleri

2.2. Yöntem

Çalışma kapsamında incelen Bitlis ilinin hayvan sayısı Bitlis İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü'nden alınmıştır. Hayvan sayısı verileri 31.12.2017 tarihine ait olup Bitlis Merkez ve ilçelerini kapsamaktadır. Çalışma üç aşamalı olup, birinci aşamada ilgili hayvan atığının belirlenmesi ve atık miktarının hesaplanması, ikinci aşamada kullanılabilir atık miktarlarının hesaplanması, üçüncü aşamada ortaya çıkan kullanılabilir atık miktarından meydana gelebilecek biyogaz miktarlarının hesaplanması yapılmıştır. Ayrıca biyogaz potansiyelini belirlemek için aşağıdaki kabuller ve araştırma sonuçları kullanılmıştır. Bunlara göre Bitlis ilindeki 2017 yılında toplam hayvan sayısından; gübre, biyogaz ve enerji potansiyeli hesabı yapılmıştır.

Gübre ile ilgili kabuller (Agro-Waste)

Büyükbaş hayvandan 9,94 ton/yıl, küçükbaş hayvandan 0,82 ton/yıl, kanatlı (tavuk) hayvandan 0,029 ton/yıl gübre ortalama olarak elde edildiği kabul edilir. Gübrelerin yaklaşık olarak büyükbaş hayvan için % 65, Küçükbaş için % 13 ve kümes hayvanları için % 99'u hesaba katılarak diğer kısmın meralarda kaybolduğu dikkate alınmıştır [1,2,17,18].

Biyogaz ile ilgili kabuller (Agro-Waste)

1 ton büyükbaş hayvan gübresinden 33 m³ biyogaz, 1 ton küçükbaş hayvan gübresinden 58 m³ biyogaz, 1 ton kanatlı (tavuk) hayvan gübresinden 78 m³ biyogaz elde edildiği dikkate alınmıştır [1,2,17,18].

Biyogazın elektrik enerjisi ve diğer yakıtların eşdeğeri olarak yapılan kabuller

1 m³ biyogazın sağladığı ısı miktarı; 0,63 L gaz yağına, 3,47 kg oduna, 0,43 kg bütan gazına, 4,7 kWh elektriğe ve 0,8 L benzine eş değerdir [1,2,17,18].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bitlis ve ilçelerinde halkın önemli geçim kaynağı hayvancılıktır. Büyük çoğunluk mera hayvancılığı üzerine olup, küçükbaş hayvan yetiştiriciliği daha yüksek bir orana sahiptir. İlin büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı (tavuk) hayvan sayılarının ilçelere göre dağılımı Tablo 1'de sunulmuştur. Buna göre il geneline baktığımızda; en fazla büyükbaş hayvan sayısı Güroymak, en fazla küçükbaş hayvan sayısı Tatvan ve en fazla kanatlı (tavuk) sayısı Adilcevaz ilçelerinde bulunmaktadır. En az büyükbaş hayvan sayısı Adilcevaz, en az küçükbaş hayvan sayısı Bitlis Merkez ve en az kanatlı sayısı Tatvan ilçelerindedir.

Tablo 1. Bitlis Merkez ve İlçeleri bazında hayvan sayısı (31.12.2017)

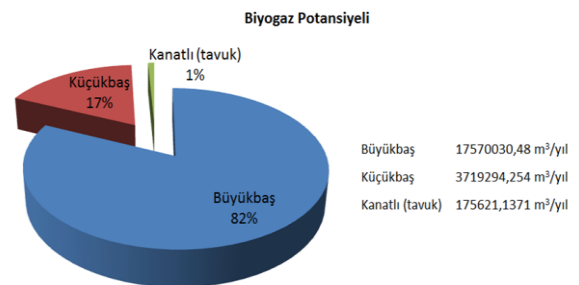
Cins (Adet)	Büyükbaş	Küçükbaş	Kanatlı
Merkez	6246	50603	10648
Adilcevaz	4677	105503	18500
Ahlat	11874	85410	8882
Güroymak	23412	60713	11002
Hizan	7137	65425	9500
Mutki	17571	115575	12892
Tatvan	11489	118326	7000
Toplam	82406	601555	78424

Bu çalışmada Bitlis ilindeki hayvan sayıları göz önünde bulundurularak hayvansal atık potansiyeli ve kullanılabilen miktarlar hesaplanmıştır (Tablo 2). Kullanılabilen atık miktarı toplamda 598802,482 ton/yıl olarak tespit edilmiştir.

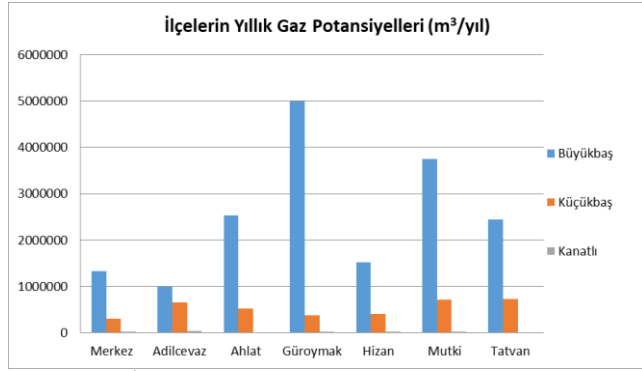
Tablo 2. Toplam atık ve kullanılabilir atık miktarları

Cins	Büyükbaş	Küçükbaş	Kanatlı
Hayvan Sayısı	82406	601555	78424
Kabul (ton/yıl)	9,94	0,82	0,03
Toplam Atık (ton/yıl)	819115,64	493275,1	2274,296
Kullanılabilen Atık (ton/yıl)	532425,17	64125,763	2251,553

Kullanılabilir atık miktarına göre biyogaz potansiyeline ait grafik Şekil 2'de verilmiştir. Buna göre Bitlis Merkez ve ilçelerinin hayvancılıktan elde edilebilecek biyogaz potansiyelinin %82'sini büyükbaş, %17'sini küçükbaş ve %1'lik kısmını kanatlı hayvan oluşturmaktadır. İlçeler bazında değerlendirildiğinde büyükbaş hayvandan elde edilen yıllık biyogaz potansiyelinin en fazla olduğu ilçe Güroymak, en az olduğu ilçe Adilcevaz'dır. Küçükbaş hayvandan elde edilen yıllık biyogaz potansiyelinin en fazla olduğu ilçe Tatvan, en az olduğu ilçe Merkezdır. Kanatlı hayvandan elde edilen yıllık biyogaz potansiyeli yaklaşık olarak birbirine yakın olmakla birlikte düşük bir orana sahiptir (Şekil 3).



Şekil 2. Hayvancılıktan elde edilebilecek toplam gaz miktarı



Şekil 3. İlçelere ve hayvan dağılımlarına göre gaz potansiyelleri

1 m³ biyogazdan 5000 kcal enerji elde edilmekte olup; diğer yakıtlarla karşılaştırıldığında 4,70 kWh elektrik, 0,62 L gazyağı, 3,47 kg odun, 1,46 kg kömür, 1,18 m³ doğalgaz ile eşdeğerdir [5]. Toplam biyogaz miktarının diğer yakıtlardaki karşılığı Tablo 3’de verilmiş olup, buna göre biyogaz miktarının ve yakıt çeşidinin en fazla olduğu ilçe Güroymak’tır.

Tablo 3. Toplam biyogaz miktarının diğer yakıtlardaki karşılığı

Yakıt çeşidi	Biyogaz (m ³)	Elektrik (kWh)	Gazyağı (L)
Merkez	1668442	7841675	1034434
Adilcevaz	1690930	7947369	1048376
Ahlat	3079654	14474375	1909386
Güroymak	5391757	25341257	3342889
Hizan	1947485	9153179	1207441
Mutki	4489813	21102120	2783684
Tatvan	3196866	15025269	1982057
TOPLAM	21464946	100885246	13308266
Yakıt çeşidi	Odun (kg)	Kömür (kg)	Doğalgaz (m ³)
Merkez	5789492	2435925	1968761
Adilcevaz	5867526	2468757	1995297
Ahlat	10686400	4496295	3633992
Güroymak	18709396	7871965	6362273
Hizan	6757773	2843328	2298032
Mutki	15579650	6555127	5297979
Tatvan	11093124	4667424	3772302
TOPLAM	74483362	31338821	25328636

2017 yılına ait hayvan sayısına bağlı olarak yıllık üretilebilen 21,46 milyon m³ biyogaz enerji eşdeğerindeki yakıt oranları belirlenerek güncel fiyatlarla hesaplanan tasarruf miktarları Tablo 4’te görülmektedir. En fazla yakıt tasarrufu yaklaşık 60 milyon TL ile gazyağı, en düşük ise yaklaşık 28 milyon TL tutarı ile kömür yakıtı olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4. Tasarruf miktarları

	Tasarruf miktarı (milyon) TL
Elektrik (kWh)	44,15
Gazyağı (L)	59,88
Odun (kg)	37,24
Kömür (kg)	27,89
Doğalgaz (m ³)	28,38

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Bitlis ilindeki toplam hayvan sayısına göre 2017 yılı için gübre, biyogaz, enerji potansiyeli ve yakıt tasarrufu hesabı yapılmıştır. Biyogaz potansiyeli büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan (tavuk) için sırasıyla 17570030,48 m³/yıl, 3719294,25 m³/yıl ve 175621,13 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. İlin toplam biyogaz miktarı yaklaşık olarak 21,46 milyon m³/yıl olarak elde edilmiştir. Güroymak ilçesinin toplamdaki hayvan sayısının düşük olmasına rağmen, büyükbaş hayvan sayısının fazla olmasından dolayı biyogaz potansiyeli 5,3 milyon m³/yıl değeri ile en yüksek olduğu ilçedir. Yakıt tasarrufu bakımından yaklaşık 60 milyon TL ile gazyağı en fazla, yaklaşık 28 milyon TL tutarı ile Kömür ise en düşük yakıt olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan toplam biyogaz enerji miktarı ile bütün ilin enerji ihtiyacını karşılamasa da mikro ölçekli bir işletme tesisinin enerji ihtiyacını karşılayarak kar elde edilebilir. Bu sayede dışarıdan ithal edilen enerjiye karşılık alternatif bir enerji çeşidi ortaya çıkmış ve oluşan katı atıklar güvenli bir şekilde bertaraf edilerek çevre sorunları önlenmiş olacaktır. Ayrıca ısı üretiminden sonra kalan atık tarlalarda gübre olarak değerlendirilebilir.

5. KAYNAKLAR

- [1].Altıkat, S. ve Çelik, A. (2012). Iğdır İlının Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli Biogas Potential from Animal Waste of Iğdır Province. Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der, 2(1), 61–66.
- [2].Baran, M. F., Lüle, F. ve Gökdoğan, O. (2017). Adıyaman İlının Hayvansal Atıklardan Elde Edilebilecek Enerji Potansiyeli Energy Potential Can Be Produced by Animal Waste of Adıyaman Province. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 4(3), 245–249.
- [3].Duzen, H. ve Aydın, H. (2012). Sunshine-based estimation of global solar radiation on horizontal surface at Lake Van region (Turkey). Energy Conversion and Management, 58, 35–46. doi:10.1016/j.enconman.2011.11.028
- [4].Ergür, H. S. ve Okumuş, F. (2010). Cost and Potential Analysis of Biogas in Eskisehir. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergis, 2(15), 155–160.
- [5].Gümüşçü M., Uyanık S., (2010). Güneydoğu Anadolu Bölgesi Hayvansal Atıklarından Biyogaz ve Biyogübre Eldesi. Tesisat Mühendisliği (MMO), 16 (118), 59-65.
- [6].İÇDR,2016.T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Bitlis İl Çevre Durum Raporu.

- [7].Karaca, C. (2017). Hatay İlinin Hayvansal Gübre Kaynağından Üretilen Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi. Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi YIL/YEAR, 22(1), 34–39.
- [8].Karim, K., Hoffmann, R., Klasson, T.K. Al-Dahhan, M.H., 2005. Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mode of mixing. Water Research, 39: 3597-360
- [9].Kaya, D., Çankakılıç, F., Dikeç, S., Baban, A., Güneş, K., (2005). Türkiye’de tarımsal atıkların değerlendirilmesi rehberi, LIFE 03 TCY/TR/000061 proje raporu, Tubitak.
- [10]. Lijó, L., González-García, S., Bacenetti, J. ve Moreira, M. T. (2016). The environmental effect of substituting energy crops for food waste as feedstock for biogas production. Energy. doi:10.1016/j.energy.2017.04.137
- [11]. Namsaraev, Z. B., Gotovtsev, P. M., Komova, A. V. ve Vasilov, R. G. (2018). Current status and potential of bioenergy in the Russian Federation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, 625–634. doi:10.1016/j.rser.2017.08.045
- [12]. Özer, B.(2017). Biogas energy opportunity of Ardahan city of Turkey. Energy 139 (2017) 1144e1152. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.052>
- [13]. Tınmaz, K. E. (2017). Trakya bölgesinde hayvan gübrelerinin biyogaz enerji potansiyelinin belirlenmesi ve sayısal haritaların oluşturulması. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 23(6), 762–772. doi:10.5505/pajes.2016.33600
- [14]. Ulusoy, Y., Unal, H. ve Alibaş, K. (2009). Bursa İli Karacabey İlçesinde Örnek Bir Biyogaz Tesisinin Kurulabilirliği İçin Tarımsal ve Gıda Artıklarının Enerji Potansiyeli. 25. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresitarımsal mekanizasyon ulusal kongresi içinde (ss. 109–115). Isparta.
- [15]. Yokuş, İ. ve Avcıoğlu, A. O. (2012). Sivas İlindeki Hayvansal Atıklardan Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi. 27. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi içinde (ss. 488–498). Samsun.
- [16]. Zareei, S. (2018). Evaluation of biogas potential from livestock manures and rural wastes using GIS in Iran. Renewable Energy, 118, 351–356. doi:10.1016/j.renene.2017.11.026
- [17]. Kaya, D., Çağman, S., Eyidoğan, M., Aydoner, C., Çoban, V., Tırıs M. (2009) Türkiye'nin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli ve Ekonomisi. Atık Teknolojileri Dergisi Sayı 1 Temmuz Ağustos 2009.
- [18]. Deniz, E., Yeşilören, G., Özdemir, N., İşçi, A. (2015). Türkiye'de Gıda Endüstrisi Kaynaklı Biyokütle ve Biyoyakıt Potansiyeli. GIDA (2015) 40 (1): 47-54 doi: 10.15237/gida.GD14037

DMLS ile Eklemeli İmalatta Dengesiz Sıcaklık Dağılımı ve Parçaya Etkilerinin Araştırılması

*¹Mevlüt Yunus Kayacan, ²Nihat Yılmaz

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv., Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği, Isparta/Türkiye

mevlutkayacan@isparta.edu.tr 

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv., Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği, Isparta/Türkiye

nihatyilmaz@isparta.edu.tr 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 22.03.2018

Kabul Tarihi: 06.11.2018

Öz

Bu Çalışma, eklemeli imalatın en önemli problemlerinden bir tanesi olan dengesiz sıcaklık dağılımı üzerine yapılan çalışmaların araştırılmasını konu almaktadır. İmalat esnasında meydana gelen hatalara etki eden önemli parametrelerden olan heterojen sıcaklık dağılımı, kalıntı gerilmeler ve boyutsal değişimler araştırılmıştır. Farklı tip metal malzemelerin doğrudan metal lazer sinterleme (DMLS) yöntemi ile imalatı esnasında parça üzerinde meydana gelen sorunlar incelenmiştir. İmalat parametrelerinin meydana gelen hatalara olan etkisi incelenmiştir. Sonlu elemanlar analizleri ile imalat öncesi sıcaklık ve hata tahmini konusunda gerçekleştirilmiş farklı yaklaşımlar da ele alınmıştır. Sonuç olarak hataların giderilmesi konusunda yapılması gerekenler, mevcut bilgiler ışığında ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: DMLS, sinterleme, parametre, termal etki, kalıntı gerilmeler, toz yatak eklemeli imalat

The Investigation of Temperature Distribution and Thermal Problems in DMLS Additive Manufacturing

Abstract

In this study, studies on unstable temperature distribution, one of the biggest problems of joint manufacturing, have been evaluated. Heterogeneous temperature distributions, residual stresses and dimensional changes were investigated, which are the most important factors in manufacturing faults. The problems that arise during manufacturing in different types of metal materials have been evaluated in terms of direct metal laser sintering (DMLS) and manufacturing method. The faulty effect of manufacturing parameters has been investigated. Different approaches on pre-manufacturing temperature and error estimation were also discussed with finite element analysis. As a result, what needs to be done to rectify the mistakes is revealed in the light of the available information.

Keywords: DMLS, sintering, parameter, thermal effect, residual stresses, powder bed fusion

1. GİRİŞ

Eklemeli imalat 1980'li yılların başından itibaren gelişim göstermeye başlayan modern bir imalat metodudur. Zaman içerisinde uygulama alanları ve malzeme çeşitliliği açısından bu gelişim süregelmiştir. Günümüzde eklemeli imalat metotları geniş malzeme yelpazesi ve imalat metoduna göre değişiklik göstermektedir. Eklemeli imalat bir parçanın katmanlara bölünerek her katmanın birbiri ardına imal edilmesi işlemidir. Bu yöntemlerle yeni bir

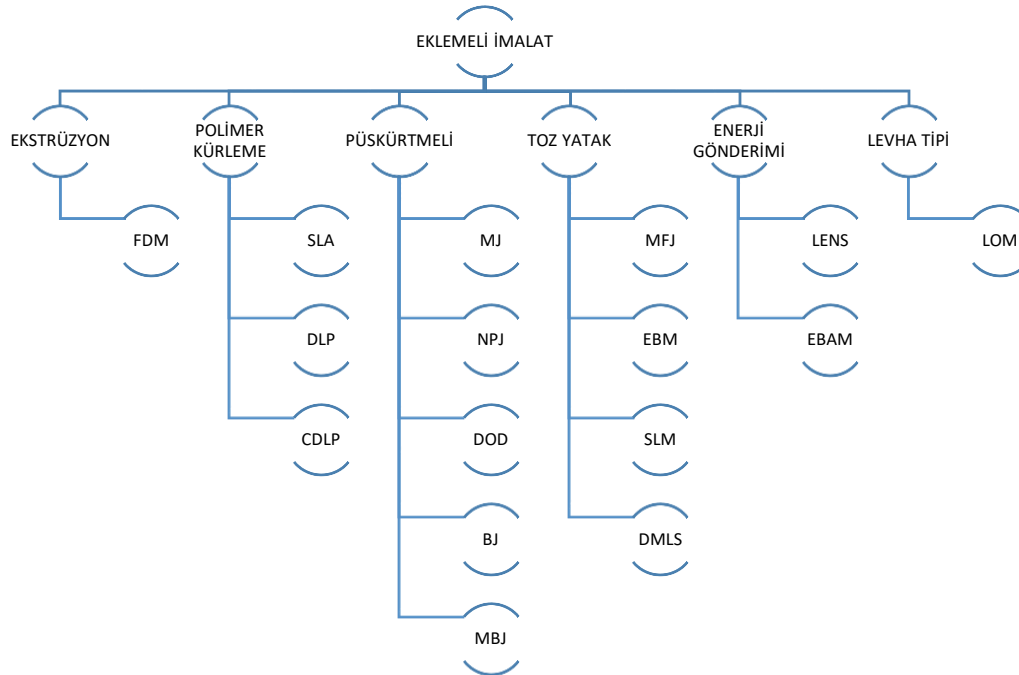
parçanın imalatı yapılabilirken aynı zamanda hasar meydana gelmiş bir parçanın tamirati da yapılabilmektedir. Havacılık, sağlık, dişçilik, mücevherat, kalıpsız imalat, kalıp yapımı, denizcilik ve enerji materyalleri gibi önemli endüstri alanlarında etkin kullanımları ile önem kazanmaya başlamıştır. Eklemeli imalat yöntemleri; polimerler, metaller, kompozitler, seramikler gibi çok çeşitli malzemeleri kapsamaktadır. Eklemeli imalat teknolojileri temelde geleneksel imalat metotlarından beslenmektedirler. Yaygın olarak plastik ekstrüzyon, kaynak, ergitme, sinterleme, kaplama, toz metalürjisi gibi geleneksel

*¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv., Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği, Isparta/Türkiye, mevlutkayacan@isparta.edu.tr, +902462111463

metotları temel almaktadır. Ancak bazı noktalardan yeni bir imalat metodu olarak incelenmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Eklemeli imalat parçaların karakterizasyonu, verimlilik, parametrik optimizasyonlar ve süreç içi ve dışı kontrollerin eklemeli imalata özel olarak geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Eklemeli imalat parçalarının imalat süreçleri, mikro içyapı ve mekanik özellikleri hakkında çeşitli yayın çalışmaları literatürde mevcuttur [2-11]. Eklemeli imalat ilk kullanılmaya başlandığı yıllardan itibaren sürekli olarak bir değişim ve gelişim göstermektedir. Bu değişim sırasıyla; hızlı prototipleme, eklemeli imalat ve seri imalat anlayışı

olarak süregelmiştir. Bu nedenle eklemeli imalata olan bakışın da sürekli olarak eleştirel biçimde değerlendirmesine ihtiyaç olmaktadır. Yapılan çalışma, bu ihtiyacı karşılamaya yönelik olarak ele alınmıştır [1-5].

İmalat metoduna bağlı olarak ise birçok farklılık karşımıza çıkmaktadır. Genel olarak ekstrüzyon, polimer kürleme, püskürtmeli, toz yatak, enerji gönderimi ve levha tipi metotların olduğu söylenebilir. Şekil 1’de eklemeli imalat metotlarının sınıflandırılması gösterilmiştir [6].



Şekil 1. İmalat metotlarının sınıflandırılması [6]

Toz yatak teknolojisinde bir tabla üzerine katman katman toz serme ve serilen tozların uygun bir yöntem vasıtasıyla birleştirilmesidir. Birleştirme işleminde en çok lazer ve elektron ışınları tercih edilmektedir. Burada lazer ve elektron ışınlarının amacı ortamdaki tozlara enerji göndererek tozların birleşmesini sağlamaktır. Ayrıca gönderilen enerji miktarına bağlı olarak eritme veya

sinterleme mekanizması oluşmaktadır. Her bir yöntem, malzeme, enerji kaynağı ve birleştirme mekanizması imal edilen parça özelliklerini tamamı ile değiştirmektedir. Metal eklemeli imalat sistemleri aynı zamanda metallerin birleştirilme metoduna ve enerji kaynağına bağlı olarak da sınıflandırılmıştır. Tablo 1’de bu sınıflandırma ticari unsurlarıyla birlikte yer almaktadır [7-9].

Tablo 1. Metal eklemeli imalat yöntemlerinin sınıflandırılması [7-9]

Tezgâh İmalatçısı	İmalat Yöntemi	İmalat Hacmi (mm)	Enerji Kaynağı
Toz Yatağı			
ARCAM (A2)(a)	EBM	200 × 200 × 350	7 kW elektron ışını
EOS (M280)(b)	DMLS	250 × 250 × 325	200-400 W Yb-fiber lazer
Concept laser cusing (M3)(b)	SLM	300 × 350 × 300	200 W fiber lazer
MTT (SLM 250)(b)	SLM	250 × 250 × 300	100-400 W Yb-fiber lazer
Phoenix system group (PXL)(c)	SLM	250 × 250 × 300	500 W fiber lazer
Renishaw (AM 250)(d)	SLM	245 × 245 × 360	200 veya 400 W lazer
Realizer (SLM 250)(b)	SLM	250 × 250 × 220	100, 200veya 400 W lazer
Matsuura (Lumex Advanced 25)(e)	SLM	250 × 250 çap	400 W Yb fiber lazer; hibrit eklemeli/çıkarmalı sistem

Toz Beslemeli

Optomec (LENS 850-R)(f)	LENS	900 × 1500 × 900	1 veya 2 kW IPG fiber lazer
POM DMD (66R)(f)	DMD	3,200° × 3°, 670° × 360°	1-5 kW fiber diyot veya disk lazer
Accufusion consolidation(g)	laser LC	1,000 × 1,000 × 1,000	Nd:YAG lazer
Irepa laser (LF 6000)(c)	LD		Lazer kaplama
Trumpf(b)	LD	600 × 1,000 uzunluk	
Huffman (HC-205)(f)	LD		CO2 Lazer kaplama

Tel beslemeli

Sciaky (NG1) EBFFF(f)	EBDM	762 × 483 × 508	>40 kW @ 60 kV kaynaklayıcı
MER plasma transferred arc selected FFF(f)	PTAS FFF	610 × 610 × 5,182	Çift 350A DC güç kaynağı kullanarak ark kaynağı
Honeywell ion fusion IFF formation(f)	IFF		Plazma ark kaynağı

İmalatçı Ülkeler: (a) İsveç, (b) Almanya, (c) Fransa, (d) İngiltere, (e) Japonya, (f) ABD, ve (g) Kanada

1.2. DMLS Yöntemi

Doğrudan metal lazer sinterleme (DMLS) yöntemi metal toz yatak eklemeli imalat yöntemlerinden bir tanesidir. Bu yöntemde toz metal teknolojisi kullanılır. Çalışması

esnasında metal tozların bilgisayardan alınan verilere göre bir lazer aracılığıyla sinterlenmesi işlemi yapılır. DMLS ile imalatın adımları şekil 2’de gösterilmiştir [10,11].

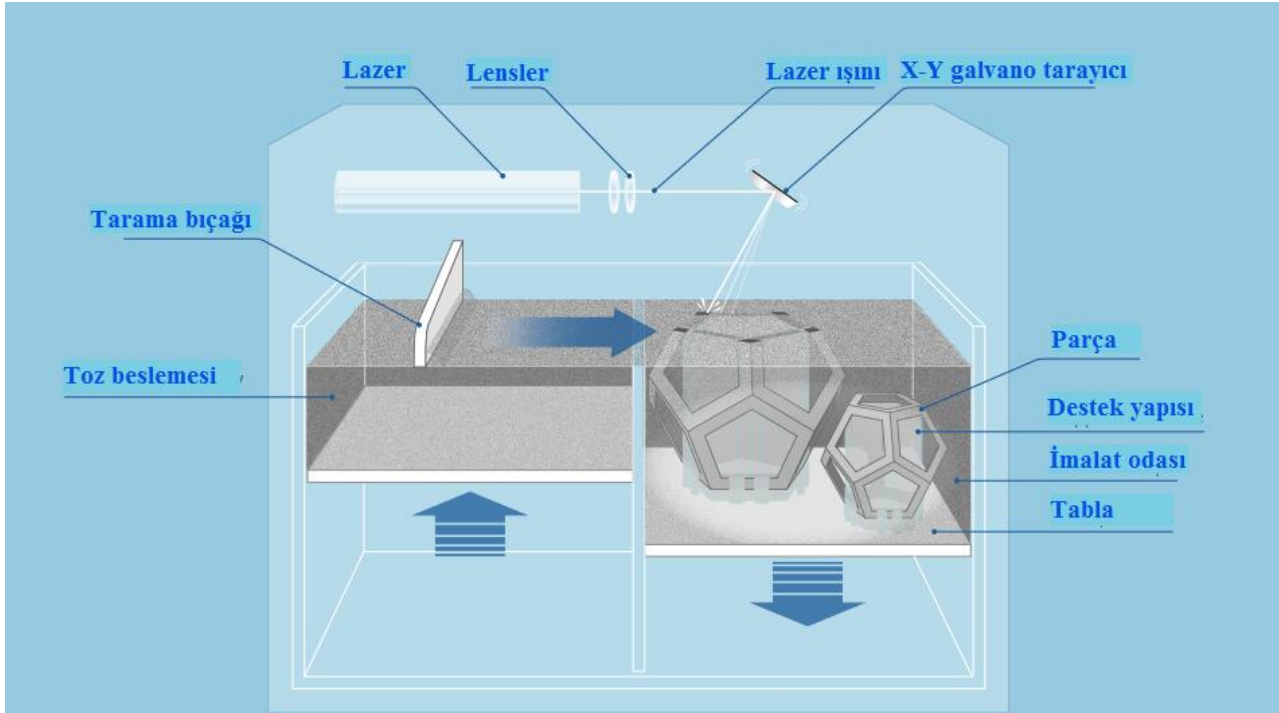


Şekil 2. Eklemeli imalatın aşamaları [10,11]

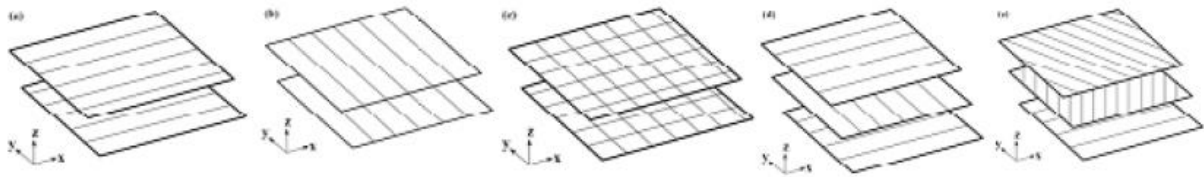
Sinterleme, işlemi metal tozların ana malzemeyi eritmede difüzyon mekanizmaları vasıtasıyla birleşmesi prensibine dayanır. İmalat esnasında bir toz havuzundan toz serici merdane veya serme bıçakları aracılığıyla imalat bölgesine uygun kalınlıkta toz serilir. Toz serme kalınlığı (katman kalınlığı), eriyik nüfuziyeti, toz boyutları ve imalat parametrelerine bağlı olarak tespit edilmelidir. Serilen toz lazerin ortama verdiği enerjiyle sinterlenir. Tüm katmanlar ardı ardına sinterlendikten sonra ürün ortaya çıkmış olur. Şekil 3’de DMLS imalat yönteminin çalışma prensibi gösterilmiştir. [12,13]

Sinterleme mekanizması yaygın olarak sıvı faz sinterlemesi olarak karşımıza çıkar. Çünkü fazlardan en az bir tanesi ergiyik konuma geçmiş ve ana faz katı halde bulunmaktadır. Farklı malzemeler için farklı enerjiler gönderilerek, sıcaklık

artışı sağlanmakta ve sinterleme mekanizmasının gerçekleşmesi sağlanmaktadır. Ancak temelde gerçekleşen sinterleme mekanizması farklılık göstermemektedir [13–19]. İmal edilen parçalarda makine parametrelerinden, ortam şartlarından ve malzeme özelliklerinden kaynaklı bazı kısıtlamaları bulunmaktadır. Bu nedenle her parçanın istenen özelliklerde imal edilmesi mümkün değildir. DMLS yöntemi ile imalat yapabilen çeşitli makinalar kullanılmaktadır. En bilinenleri ise EOS M270, M280 ve M400 olarak karşımıza çıkmıştır [21]. Makineye bağlı parametreler; tarama stratejileri X veya Y çizgisel tarama, ada tarama, hem X hem Y tarama, açılı tarama, katman katman farklı açılı tarama, spiral tarama şeklinde özetlenebilir. Şekil 4’te yaygın tarama stratejilerinin gösterilmiştir [22].



Şekil 3. DMLS imalatı çalışma prensibi[12,13]

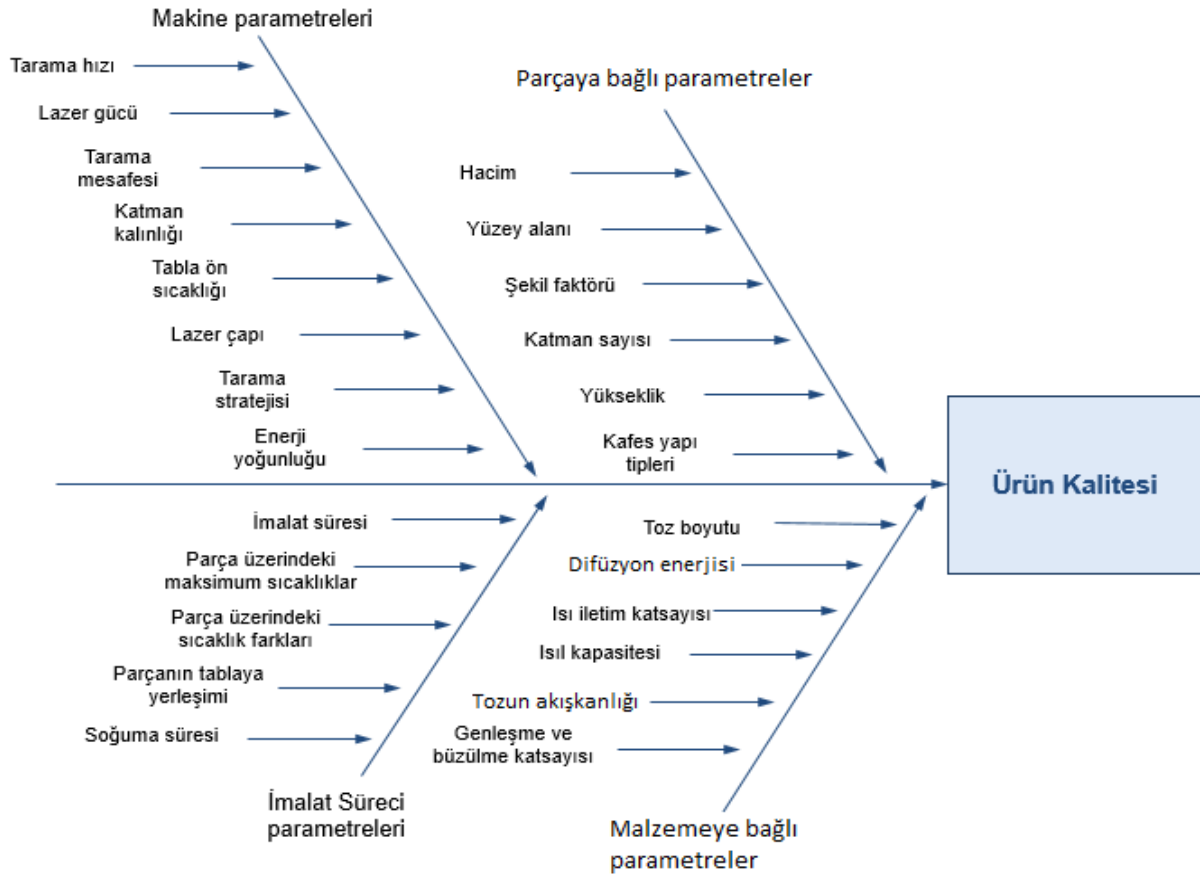


Şekil 4. Yaygın tarama stratejileri; sırasıyla X veya Y çizgisel tarama, ada tarama, hem X hem Y tarama, açılı tarama [21]

1.3. İmalata Etki Eden Parametreler

DMLS ile imalatı parça karakteristiklerini ve kaliteyi belirleyen birçok faktör bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda, bu faktörler 4 farklı temel başlık altında değerlendirilmiştir [11,22–38]. İncelemeler sonucunda ilgili parametreler; makine, malzeme, imalat süreci ve

parça olarak ele alınmıştır. Her bir parametre imal edilen parçaların üzerinde farklı etkiler meydana getirmektedir. Parametrelerin kaynağını ve etkilerini tespit etmek amacıyla sınıflandırmalar yapmak DMLS ile imalatı anlamak açısından kolaylık sağlayacaktır. Şekil 5’de DMLS ile imalatı ürün kalitesini etkileyen parametreleri sınıflandırılmıştır.



Şekil 5. DMLS imalatı girdi parametrelerinin sınıflandırılması

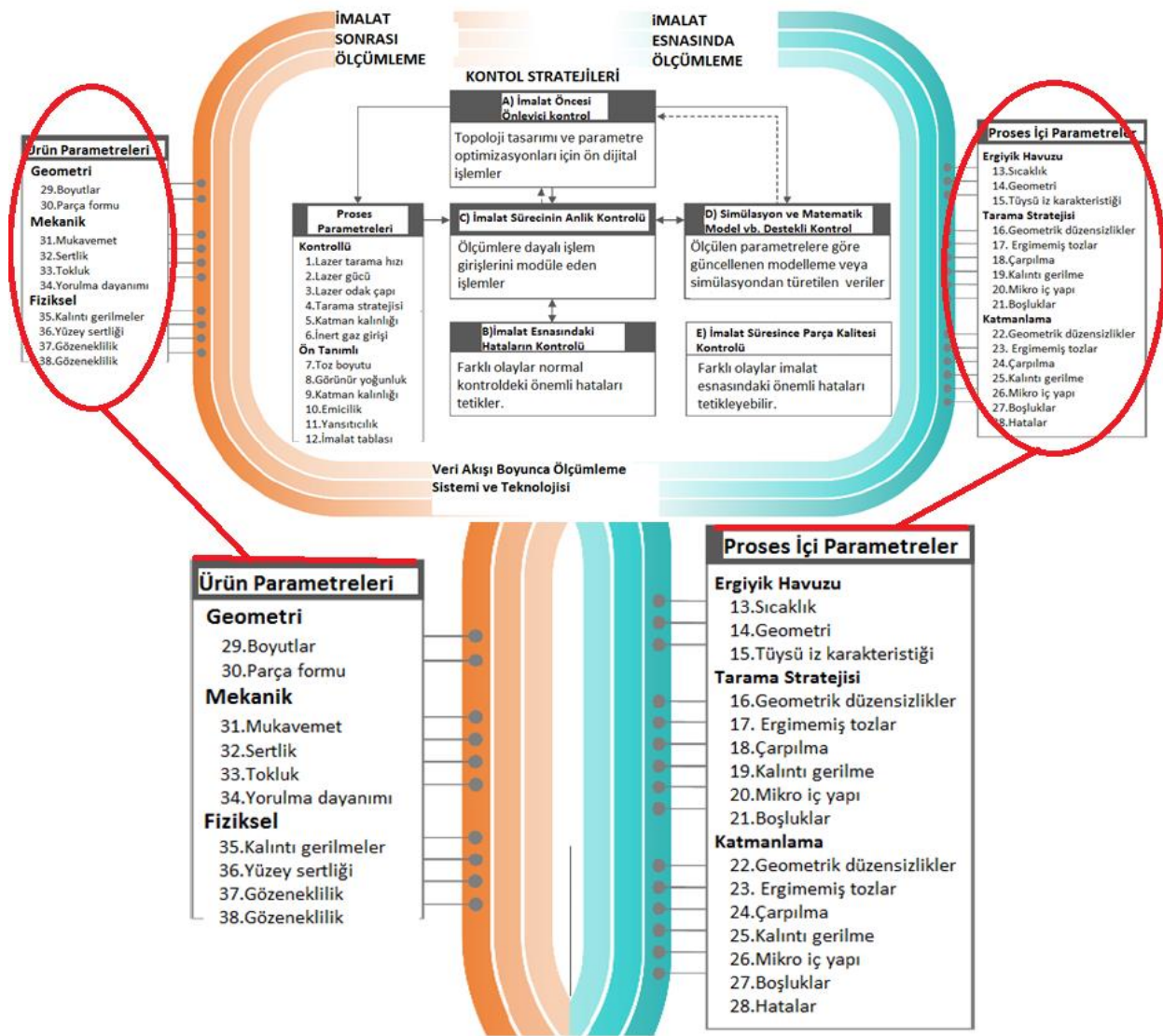
Şekil 5’de belirtilen parametreler parça karakteristiklerinde ve kalitesinde bazı değişiklikler meydana getirecektir. Bu değişiklikler parçanın mekanik özelliklerinde olabileceği gibi fiziksel ve dinamik özellikleri de içerisine alabilir. Bazı çalışmalarda yalnızca kalıntı gerilmelere ve yüzey pürüzlülüğüne odaklanılmışken bazı çalışmalarda ise mekanik özellikler ve dinamik özellikler ön planda tutulmuştur [22, 39–42].

Tüm parametrelerin parça karakteristikleri üzerinde ciddi etkileri olmaktadır. Çalışmalarda; etkilenen parça özellikleri: yüzey pürüzlülüğü, mekanik dayanım, gözeneklilik, sertlik, kalıntı gerilmeler, yorulma dayanımı, boyutsal toleranslar, yüzey ve geometri tamlığı olarak yaygın olarak ifade edilmiş ve üzerinde durulmuştur.

Deneysel çalışmaların yanı sıra, olası hataları önleme amacıyla çeşitli sonlu elemanlar modelleri de yapılmıştır. Modellemeler daha çok termal etkilerin anlaşılması amacıyla yapılmış olsa da mukavemet üzerine olan etkileri de araştırılmıştır. NIST (Ulusal standartlar ve Teknoloji Enstitüsü, ABD) tarafından lazer toz yatak

eklemeli imalat sistemlerindeki hataları en aza indirmek için tezgâh özelindeki çözümleri ve optimizasyonları ortaya koyan bir çalışma yapılmıştır. Temelde odaklanılan problem kalıntı gerilmeler sebebiyle oluşan imalat hatalarıdır. Elde edilen bulgulara göre girdi ve çıktı parametreleri başlıkları altında, bir tezgâhta olması gereken sistemler yer almaktadır. Bu parametreler çalışma içinde ergiyik havuzu, tarama işlemi ve katmanlar arası geçiş etkileri ana başlığı altında açıklanmıştır. Şekil 6’da lazer toz yataklı eklemeli imalat sistemleri için genel bir analiz ve kontrol diyagramı gösterilmiştir. [44].

Yapılan çalışmalarda imalattan ve diğer faktörlerden kaynaklanan sorunlar ve zorluklar; imalatın uzun sürmesi, post proseslerin gerekliliği, boyutsal toleranslar, yüzey pürüzlülüğü, kalıntı gerilmeler, ürün özelliklerinin öngörülebilmesi, toz maliyeti ve seri imalat maliyetleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında sıcaklık değişimleri, şekil hataları, kalıntı gerilmeler ve boyutsal toleranslar konularına irdelenecektir. Kalıntı gerilmeler ve boyutsal değişimler, sıcaklık dağılımının doğrudan bir sonucu olarak gözlenecektir [19,22,33,35-41].



Şekil 6. Lazer toz yataklı imalat sistemleri kontrol ve analiz sistemi elemanları [44]

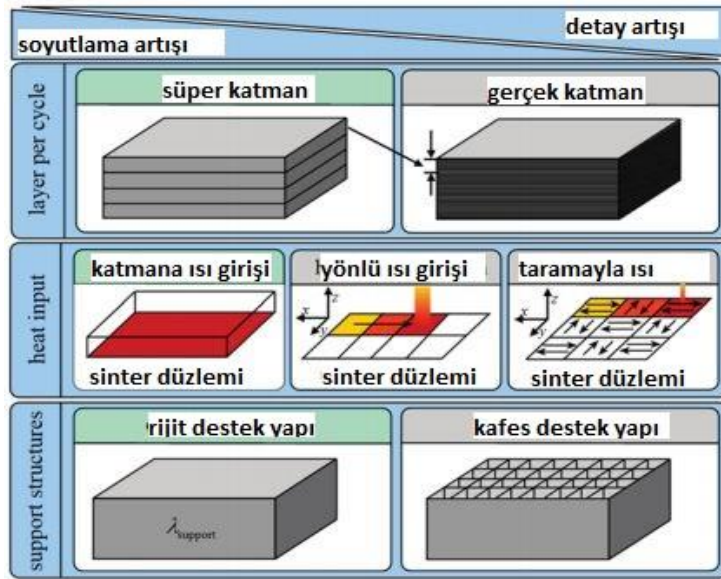
2. İmalat süreci ve Oluşan Hatalar

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde eklemeli imalatın temel sorunları birkaç başlık altında toplanmaktadır. Meydana Gelen hataların temelinde imalat esnasındaki sıcaklık dağılımının dengesizlikleri ortaya çıkmaktadır. Dengesiz sıcaklık dağılımı ilk olarak parçanın farklı oranlarda genleşme ve büzülmesine neden olmaktadır. Bu durum parça üzerinde gerilmelerin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu gerilmeler akma dayanımının üzerine çıkılması durumunda gevşeyerek şekil değişimi kusuruna sebebiyet vermektedir. Gerilim gevşemesinin olmadığı durumlarda ise kalıntı gerilme durumları meydana gelmekte ve ürünün yaşam döngüsünü

(ömrünü) kısaltmaktadır. Aynı zamanda çok hızlı ısınıp soğuyan parça sürekli ısıl şoklara maruz kalmaktadır [51–55]. Bundan sonraki kısımda sıcaklık değişimleri, şekil değişimleri ve kalıntı gerilmeler üzerine yapılan çalışmalar incelenecektir.

2.1. Sıcaklık Değişimleri

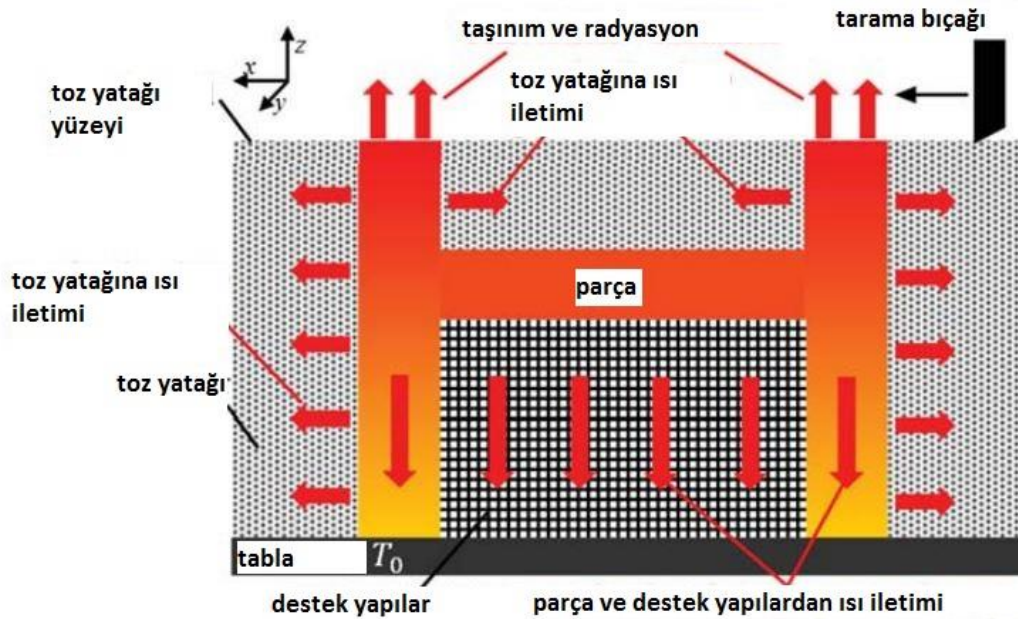
Bu yöntemde ısının ortama girişini ve ortamdan transfer olmasını inceleyen çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Ortama ısı girişinin lazer vasıtasıyla çeşitli mekanizmalar aracılığıyla yapılacağı düşünülmüştür. Şekil 7’te ısı giriş mekanizması verilmiştir. Burada süper katman, birkaç katmanın bir arada olmasını ifade etmektedir [51,52]



Şekil 7. İmalat esnasında ortama ısı giriş mekanizmaları [51,52]

Çalışmalarda ısı transferinin parça, toz partiküller ve destek yapılar aracılığıyla iletim, gaz odası ortamında taşınım ve radyasyon yardımı ile yapılacağı düşünülmektedir. Isı transferleri etkisiyle tablanın, parçanın ve imalat odasının

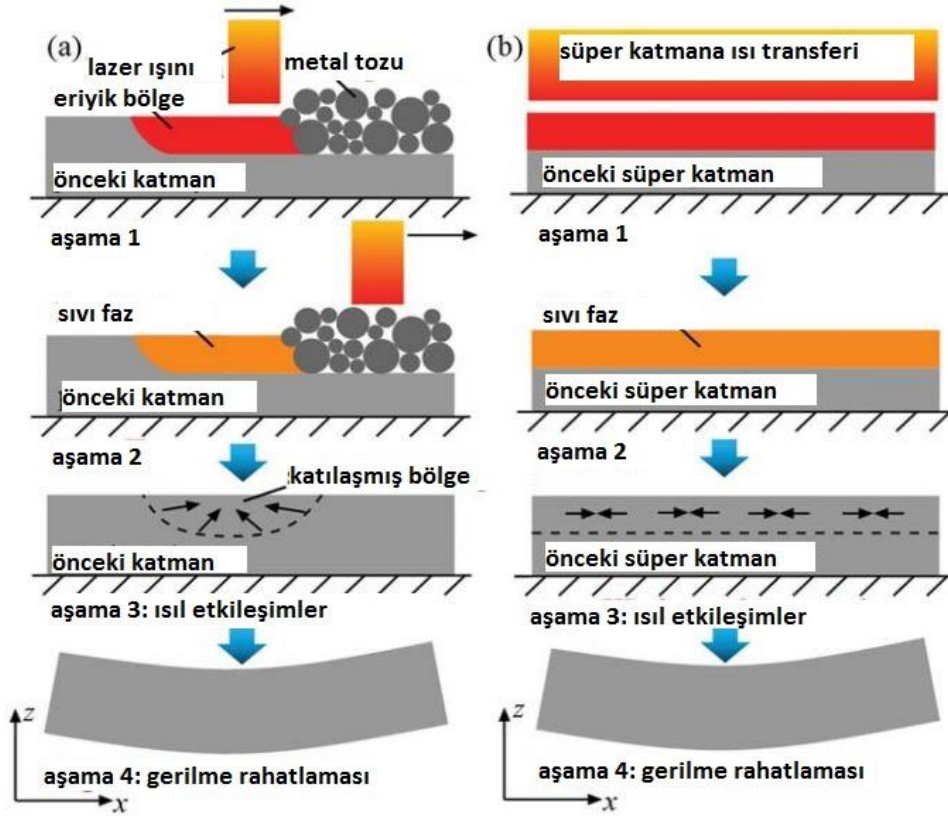
sıcaklıklarının da zaman içerisinde artış göstermesi beklenmektedir. Şekil 8’te parçadan dış ortama doğru olan ısı transferi gösterilmiştir [51,52].



Şekil 8. Parçadan gerçekleşen ısı transferleri [51,52]

Yapılan çalışmalarda ısı etkilerinden dolayı parça imalatı esnasında meydana gelen termomekanik olaylar da açıklanmaya çalışılmıştır. Daha önce bahsedilen süper katman kavramı da işin içerisine katılarak çalışma tamamlanmıştır. Elde edilen bulgular lazer ışınları ile enerji alan ve ısınan parçanın genişlediği ve soğuma esnasında da

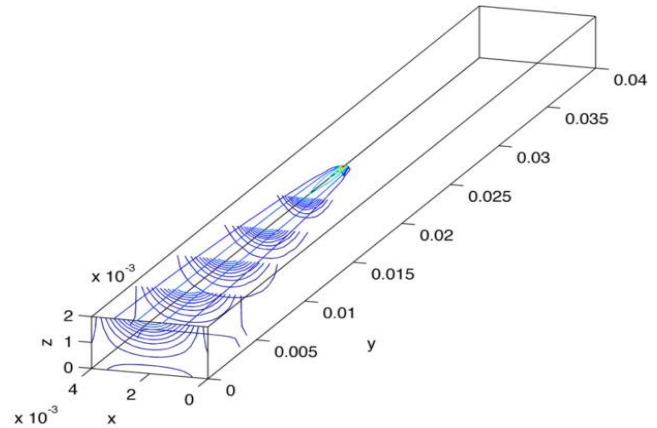
büzülme davranışı gösterdiği yönünde olmuştur. Bu büzülmeye aykırı durumlarda parçada gerilmeler kalmaktadır. Şayet bir şekilde deformasyon oluşursa gerilmeler giderilecektir. Şekil 9’te termomekanik olayların gerçekleşmesi süreci gösterilmiştir [58].



Şekil 9. Termomekanik olaylar a: gerçek katmanlı analiz, b: süper katman modellenli analiz [58]

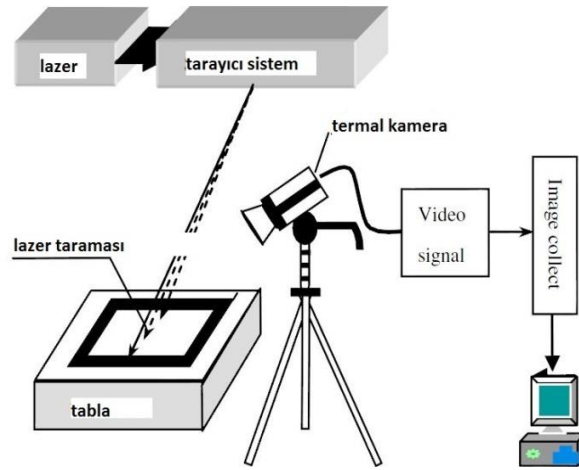
Titanyum esaslı malzemeler ve 316L malzemelerle ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. İki farklı materyalin aynı kısımda verilmesinin sebebi, çalışmaların birçoğunda konunun bu şekilde ele alınıyor olmasıdır. Yapılan çalışmalarda kalıntı gerilmelere sebep olan en önemli etken olarak sıcaklık gradyanı belirlenmiştir. Çalışmalar daha çok sonlu elemanlar modeli olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışmalarda titanyum için parametreler, $19,1 \text{ kW/mm}^2$, tarama hızı $1,2 \text{ m/s}$, 150 W lazer gücü, $30 \text{ }\mu\text{m}$ katman kalınlığı olacak şekilde belirlenmiştir. 316L için parametreler, 50 W lazer gücü, $0,1 \text{ mm/s}$ tarama hızı, $40 \text{ }\mu\text{m}$ katman kalınlığı, 13 kW/mm^2 olacak şekilde ayarlanmıştır.

Ayrıca yalnızca tek yönlü lazer tarama tercih edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda kalıntı gerilmelerin, zaman, sıcaklık, deformasyonlar ve mikro içyapıya bağımlı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca alt parametre olarak da ısı iletkenlik, ısı kapasite, genleşme katsayısı, elastik modül, poisson oranı ve plastisite belirtilmiştir. Çalışmalarda lazer taramanın nasıl bir sıcaklık dağılımına sebep olacağı da incelenmeye çalışılmıştır. Sıcaklıklarla ilgili çalışmaların büyük çoğunluğu sonlu elemanlar modellemeleri sonucu elde edilmiştir. Şekil 10'de ısı davranışlarının modellenmesi gösterilmiştir [59].

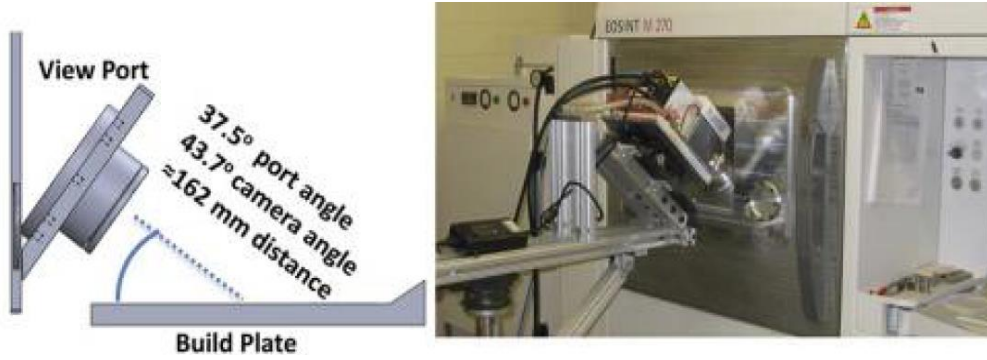


Şekil 10. DMLS ile imalatla tek bir katmanın sinterlenmesinde 3 boyutlu ısı haritalama [58]

Sıcaklık değişimlerinin tespitine yönelik olarak yapılan bir çalışma ile DMLS ile imalatla nasıl sıcaklık gözlemi yapılacağı aktarılmıştır. [59]. 550 ile 1100°C sıcaklıklar arasında ölçüm yapabilen bir termal kamera kullanılarak ergiyik havuzunun sıcaklık ve çapsal ölçüm analizlerini yapmaya yarayan sistem tasarımı anlatılmıştır. Gerekli ölçümleme çalışmaları da yapılarak elde edilen sonuçlar doğrultusunda uygun kamera bağlantı şartları şekilde gösterilmiştir [61]. Şekil 11 ve 12'de deney düzeneği tasarımı gösterilmiştir.



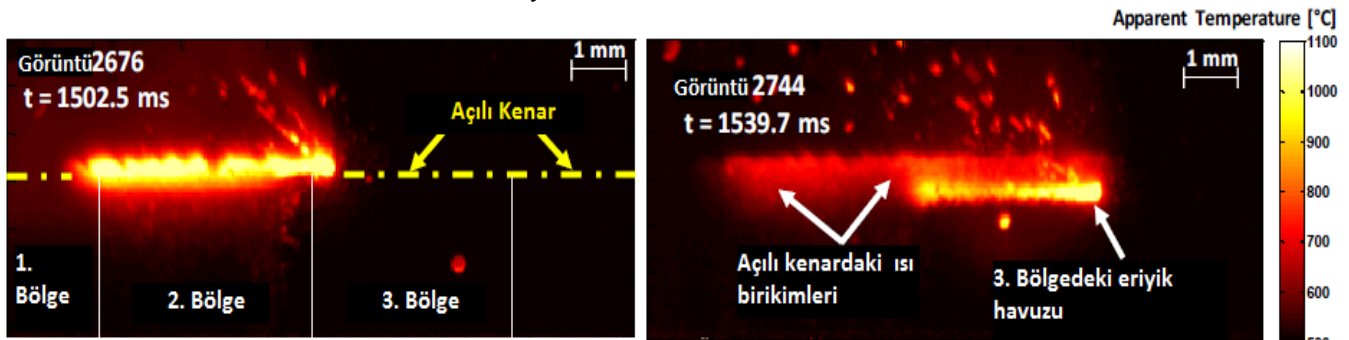
Şekil 11. Termal kamera genel deney düzeneği [59]



Şekil 12. Termal kamera ile gözlem deney düzeneği [61]

Bir çalışmada termal kamera ve hızlı çekim kamerası birlikte kullanılarak, Inconel 625 malzemenin imalat esnasındaki çarpılma vb. etkileri gözlemlemeyi amaçlamıştır. Bunun yanında imalat esnasındaki lazer sıçrantılarını da görmeyi hedeflemiştir. Şekil 13'de 40,5° açıyla imal edilen bir parçanın ilk katmanı ve 68 kare sonraki durumları göstermektedir. Aynı katman için alınan ölçümlerdir. Daha önce yapılan çalışmaların aksine bu çalışmada lazer temas noktasındaki sıcaklıklar maksimum 1100°C seviyelerinde

gözlenmiştir. Ancak burada elde edilen veriler doğrudur denemeyebilir çünkü kameranın veri kaydının milisaniye mertebelerinde olması beklenemez. Ancak önceki çalışmalarda sıcaklıklar sonlu elemanlar analizi ile çok küçük ölçüm aralıklarında verilmişti. Yapılan çalışma önemli iki bilgiyi barındırmaktadır. İlki imalat esnasında kalıntı ısı adı verilen ısı yoğunlaşmış bölgelerin bulunması, ikincisi ise lazerin metal sıçrantılarına sebep olmasıdır. [62]



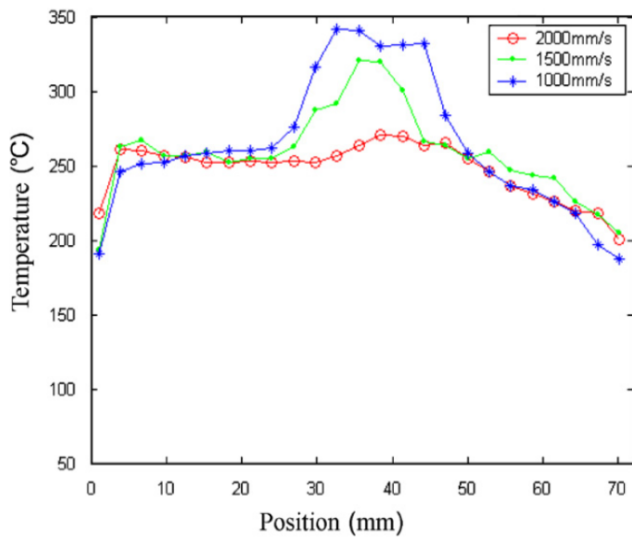
Şekil 13. Çıktıdan hemen sonra termal kameranın görünen sıcaklık verilerinden iki çerçeve: çıkıntı başlangıcında (solda) ve 68 kare sonra (sağda) ortaya çıkar. Çıktı, oluşumdan 37 ms sonra hala yükseltilmiş sıcaklıkta (termal kamera ölçülebilir aralıkta) [62]

Bir diğer çalışmada 7 farklı imalat parametresi ile çizgisel bir hat üzerinde ilerleyen lazer ışınlarının sıcaklık değişimlerine etkisi termal kamera ile fotoğraflanmıştır. Inconel 625 metali için çalışmalar tamamlanmıştır. 200, 500 ve 800 mm/s

tarama hızlarında ve 49, 122 ve 195 W lazer gücü ile deneyler tasarlanmıştır. Lazer gücü artıp tarama hızı azalırken ergiyik havuzu genişliği 0,2 mm'den 0,8 mm'ye kadar ulaşmaktadır. Lazer temas anındaki sıcaklıklar

ortalama olarak 940°C seviyesinde olmaktadır. Çalışma ile tezgâh parametrelerinin lazer ergiyik çapının tayini yapılmış dolayısıyla da nüfuziyet oranları anlaşılmıştır [63].

Ayrıca yapılmış olan çalışma ile lazerin farklı parametreleri için 72*72*72 mm boyutlarında bir küpün imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu esnada İnfrared kamera ile ortam sıcaklığı da incelenmiştir. İncelemelerde nokta, çizgi ve yüzey boyunca sıcaklık değişimleri ele alınmıştır. İnceleme tek bir katmanın sinterlenmesini ifade etmektedir. Yapılan incelemeler sonucunda lazer gücündeki artışın sıcaklıkları artırdığı, tarama hızındaki artışın ise sıcaklığı azalttığı tespit edilmiştir. Şekil 14 ve 15’de deney sonuçları gösterilmiştir [60]. Noktasal sıcaklık dağılımında; numunenin bir noktası için sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Grafikte maksimum sıcaklığın olduğu an lazerin o noktaya temas anını ifade etmektedir.

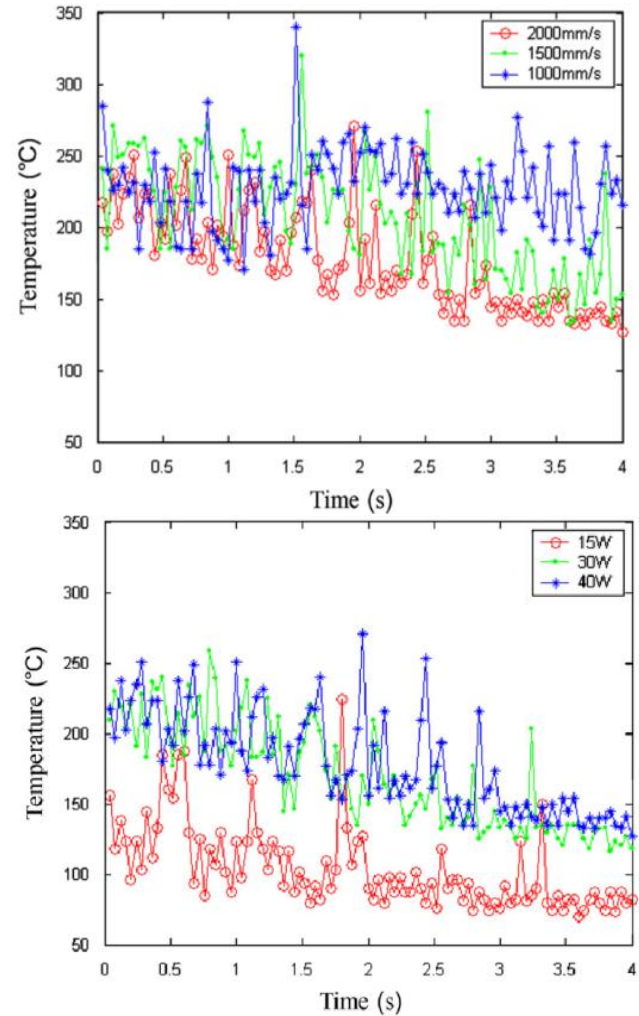


Şekil 14. Lazerin bir çizgi boyunca taramasının sıcaklığı (40 W) [60]

Bunların yanında DMLS ile imalatın ilk anlarında (10sn’de) tabla sıcaklığının aniden artış gösterdiği tespit edilmiştir. Sonrasındaki artışların ise daha dengeli olarak devam ettiği görülmüştür. Tablanın kalınlığı arttıkça sıcaklığın daha da yükseldiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda tabla kalınlığı arttıkça şekil değişiminde azalmalar gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak ise ince tablanın ısıyı daha kolay iletmesi ve böylece sıcaklığa bağlı genleşme ve büzülmenin sınırlandırıldığı söylenebilir [64].

Inconel625 metallerin EOS M280 lazer eklemeli imalat tezgâhında imalatını konusunda çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma ile sonlu elemanlar analizi ve gerçek deney sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Malzemenin imalat anı ve hızlı soğuma sonrasındaki mikro yapı analizleri yapılmıştır. İmalat sonrasında XRD ile yapılan analizlere göre malzeme yüzdesi incelemeleri yapılmıştır. Soğuma hızına bağlı olarak içyapıdaki dentritik yapılarındaki değişimler incelenmiştir. Çalışma ile yalnızca tek bir doğru boyunca lazer ile işlem yaparak sıcaklık

değişimleri incelenmiştir. Gerçek ölçümler yapılmamıştır. Sonuçlara göre lazer temas anında 3328 °K sıcaklıklardan hızlı bir şekilde 1000 °K sıcaklıklara düşüş olduğu tespiti yapılmıştır. Bunun yanında soğuma hızı arttıkça dentritik kol aralıkları da uzamıştır [65].



Şekil 15. Noktasal sıcaklık dağılımı üst: değişken tarama hızlarında sıcaklıklar alt: değişken lazer gücünde sıcaklıklar(2000 mm/s) [60]

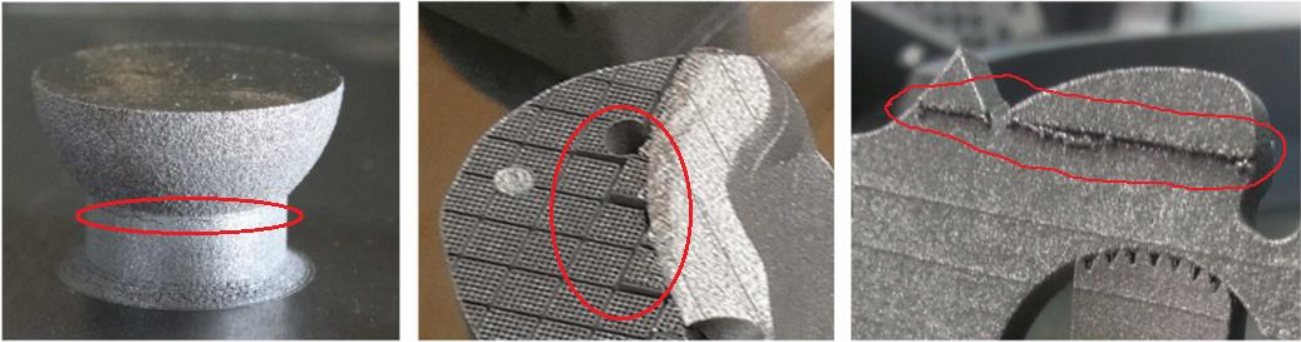
Benzer şekilde yine Inconel 625 metal tozlarının lazer eklemeli imalatında lazer eriyik oluşturma aşamalarını anlamak ve parametrelerin yoğunluğa (gözeneklilik) etkilerini incelemek amacıyla sonlu elemanlar analizi üzerine yapılan bir çalışmada; gerçek deney sonuçları ile ergiyik havuzu boyutları açısından kıyaslamalar da yer almaktadır. Ergime sıcaklığının üzerindeki maksimum sıcaklıklar ve işlem süreleri en etkili parametreler olarak tanımlanmıştır. Bu çalışma aynı zamanda maksimum çıkılan sıcaklığı düşürmek ve yoğunluğu artırmak üzerine kurulmuş bir optimizasyon setini de kapsamıştır. Elde edilen verilere göre eriyik havuzu boyutu ve şekilleri, ısı tesiri altında kalan bölgeler nedeniyle tarama stratejisinden etkilenmektedir. Çalışmadan edilen başka verilere göre de maksimum sıcaklık ve yoğunluk tarama mesafesinin ve tarama hızının artması

ile azalmıştır. Optimum sonuçlar 825 mm/s tarama hızı ve 0,093 mm tarama mesafesi için elde edilmiştir [66].

Bir başka çalışmada; tabla üzerinde imal edilmeye başlanan bir parçanın termal modeli üzerine sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Model kurulurken deney tasarımı yapılarak deney sayısı azaltılmıştır. Inconel 625 malzemenin 16 farklı parametre seti imalatı düşünülmüştür. İmalat kalitesine etki eden parametrelerin önemi anlaşılmaya çalışılmıştır. Lazerin temas ettiği noktada anlık olarak 2500 °K sıcaklık olduğu hızlı bir biçimde (yaklaşık 1 sn) 1000 °K sıcaklığa hızlı bir soğuma olduğu da tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda en etkin parametreler sırasıyla lazer gücü, metalin öz ısısı, tarama hızı olarak tespit edilmiştir [67].

2.2. Kalıntı Gerilmeler

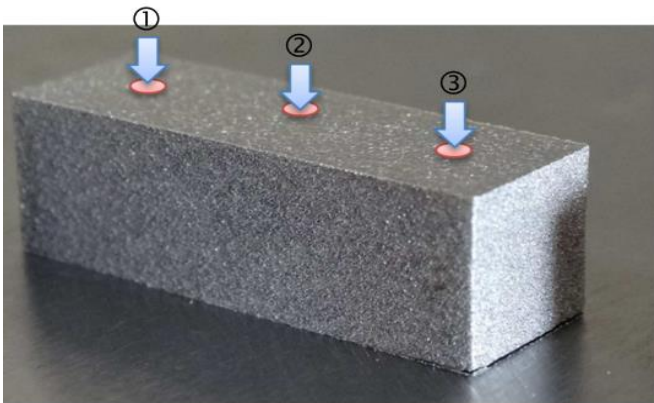
Kalıntı gerilmeler DMLS imalat yönteminde olduğu gibi diğer toz eklemeli imalat yöntemlerinde de en hassas konulardan bir tanesidir. Çünkü kalıntı gerilmeler imalat esnasında sıcaklık ve boyutsal değişimlerin etkisiyle ortaya çıkıp başta mekanik özellikler olmak üzere parçaya ait birçok özelliğe tesir edecektir. Bu bölümde kalıntı gerilmeler üzerine yapılmış olan çalışmalar aktarılacaktır. Aynı zamanda termal durumlar da değerlendirilecektir. Tablo 3’de ilgili parametreler önem sırasına göre aktarılmıştır. Şekil 16’da DMLS ile Ti6Al4V malzeme imalatında karşılaşılan kalıntı gerilme ve termal genleşme kaynaklı hatalar gösterilmiştir [68].



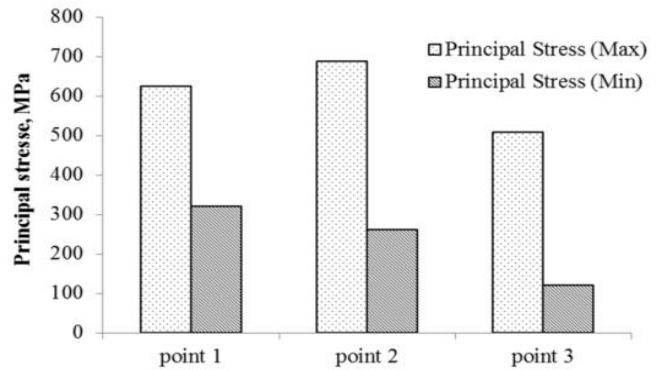
Şekil 16. Ti6Al4V ile DMLS imalatı ortaya çıkan kalıntı gerilme ve termal genleşme kaynaklı deformasyonlar [68]

İmalat esnasında üst katmanlar sinterlendikçe kalıntı gerilmeler artış göstermiştir. Maksimum gerilmeler yüzey kısımlarında ortaya çıkmıştır. Tarama stratejilerine bağlı bir kalıntı gerilme gözlenmiştir. Çalışmalarda ortaya çıkan bir diğer durum da, gerilme ve genleşmelerden dolayı plastik deformasyona uğramış bölgelerde kalıntı gerilmeler çok düşük olarak ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni olarak

deformasyonların gerilme altındaki bölgelerin gerilmelerini giderdiği düşünülmüştür. Ayrıca kalıntı gerilmeleri etkileyen parametrelere ek olarak support şekilleri, geometriler, malzeme özellikleri, proses parametreleri, katman kalınlığı ve ön ısıtma durumları da belirtilmelidir. Şekil 17’de malzemede geometrisi üzerinde imalat esnasında meydana gelen kalıntı gerilmeler gösterilmiştir [67,68].



(a)



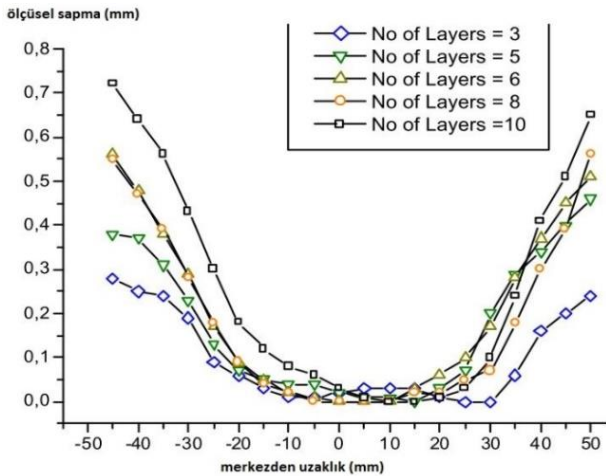
(b)

Şekil 17. Ti6Al4V (ELI) malzemede geometri üzerinde imalat esnasında meydana gelen kalıntı gerilmeler [67],[68]

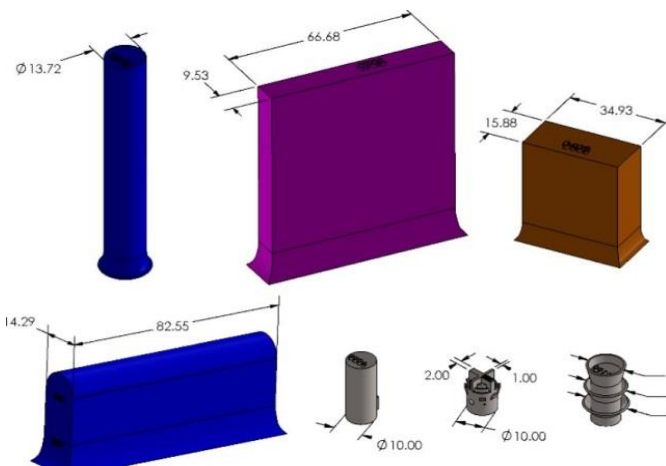
Demir esaslı malzemelerle yapılan çalışmalarda katman kalınlığı 0,05-0,3 mm, 200-215W lazer gücü, 50-175 mm/s tarama hızı, 80°C tabla ön ısıtması, 0,1-0,3 mm tarama mesafesi ve 35 µm toz boyutu tercih edilmiştir. Ayrıca farklı

tarama stratejileri de değerlendirilmiştir. Spiral tarama, çizgisel tarama, kareli tarama ve x-y tarama stratejileri belirlenmiştir. Çalışmalar sonucunda, tarama mesafesi arttıkça kalıntı gerilmeler azalmıştır. Parçaların merkezinde

kalıntı gerilmeler minimum seviyededir. Boyutsal bozulma oranı kalıntı gerilmelere paralel bir eğilim göstermektedir. Kareli tarama ve çizgisel tarama ile minimum kalıntı gerilmeler elde edilmiştir. Spiral taramada ise maksimum kalıntı gerilme ortaya çıkmıştır. Bu durum spiral taramanın dıştan içe doğru tarama yapmasına bağlanabilir. Çünkü ısı verilmesi işlemi dıştan içe doğru yapılarak parçada ısı birikim meydana gelmektedir. Şekil 18'de üst yüzeyde parça merkezinden uzaklaştıkça oluşan ölçüsel sapma miktarları gösterilmiştir.



Şekil 18. DMLS ile imalat esnasında sıcaklık ve kalıntı gerilmelerin etkisiyle meydana gelen boyutsal sapmalar [26]



Şekil 19. İmal edilen bazı temel geometriler DMLS ile imalat esnasında sıcaklık ve kalıntı gerilmelerin etkisiyle meydana gelen boyutsal sapmalar [71]

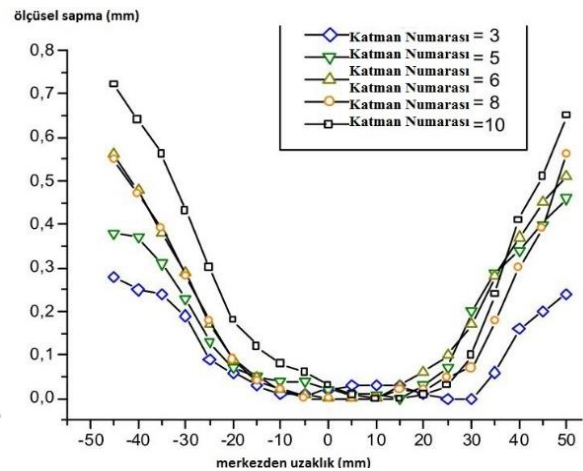
EOS ve Renishaw firmalarının muadil tezgâhları kullanılarak gerçekleştirilen bir çalışmada Ti6Al4V ve Inconel 718 malzemenin imalat esnasında parametrelere ve tabla kalınlığına bağlı olarak nasıl şekil değişimi gösterdiği incelenmiştir. Tabla tabanına DVRT mesafe ölçerler monte edilerek çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda; lazerle işleme esnasında kademeli olarak tablada z eksenine göre yukarı yönlü (+) çarpılmalar oluşmakta, imalat bitip parça soğumaya başladığı durumda ise ters yönde bir kalıcı çarpılma oluşmuştur. Inconel 718 malzemede Ti6Al4V

Kalıntı gerilmelerin azaltılmasının önemi vurgulanmıştır. Böylelikle parça boyutları ve parça performansı istenen seviyede tutulabilmektedir [22,25]. Alüminyum esaslı malzemelerle yapılan çalışmalarda, 400W lazer gücü, 30 µm katman kalınlığı, 100 µm lazer çapı ve 35°C ön ısıtma gibi parametreler tercih edilmiştir.

Çalışmalarda kafes yapılar da kullanılmıştır. Kafes yapılı parça imalatında ısı birikmesi fazla olursa sıcaklık ergime noktasının üzerine çıkarak istenmeyen etkilere sebep olabilir. Bu nedenle hacimsel ve boyutsal sapmalar meydana gelebilir. Bu durum yalnızca kafes yapılar için geçerli değildir. Tüm imalat için geçerlidir [41,65].

2.3. Boyutsal Değişimler

Yapılan başka bir çalışmada parça boyutları açısından çeşitli incelemeler yapılmıştır. Yapılan çalışma numune geometrileri belirlemeleri açısından örnek teşkil edecektir. Numuneler belirlenirken uzun, kısa, dar, geniş, dairesel, silindirik ve bazı özel formlar için örnek teşkil etmektedir. Bu geometriler ve yüzeyde merkezden uzaklaştıkça oluşan ölçüsel sapma miktarları Şekil 19 'te gösterilmiştir [71]. Kalıntı gerilmelerin azaltılmasının en önemli hedeflerden bir tanesi olması gerektiği vurgulanmıştır. Böylelikle parça boyutları ve parça performansı istenen seviyede tutulabilmektedir [22,25].



malzemeye göre çok daha fazla çarpılma gözlenmiştir. Aynı sıcaklık artışı da yine inconel malzemede karşımıza çıkmaktadır. İmalat esnasındaki çarpılma etkisinin zamana bağlı olarak dengeye girdiği gözlenmiştir. Inconel malzemede 0,85mm, Ti6Al4V malzemede 0,4mm kadar bir çarpılma meydana gelmiştir. Aynı zamanda Renishaw tezgâhta çok daha fazla çarpılma etkisi gözlenmiştir. Ti6Al4V malzemede oluşan gerilim gevşemesi etkisinin tablada çarpılma davranışını azalttığı anlaşılmıştır [64].

Tüm çalışmalar incelendiğinde henüz bu alanda yeterli çalışmanın yapılmadığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca sonlu elemanlar modellemesi ile yapılan çalışmaların tamamının eksik öngörüler barındırdığı tespit edilmiştir. Çünkü imalat esnasındaki kalıntı gerilmeler parça özelliklerinin tamamını etkilemektedir. Ayrıca sonlu elemanlar ile modelleme yapılırken yalnızca sinterlenmiş metal öngörülmektedir. Halbuki gerçekte, toz metaller lazer ile enerji alıp rijit bir yapı oluşturmaktadır. Bunlara ek olarak birçok sonlu elemanlar modeli tek bir katman için model kurmaktadır, bütünü anlamaya yönelik bir çalışma yapılması gereklidir. Tablo 2’de belirtilen parametreler çalışmalar sonucunda ortaya çıkarılmıştır. Ancak daha kapsamlı çalışmalar yapılarak tablo doğrulanmalı ve geliştirilmelidir [15-71].

Tablo 2. DMLS ile imalatla kalıntı gerilemelere etki eden parametrelerin önem sırasına göre gösterilmesi

Etkili parametreler
Sıcaklık değişimleri (dolaylı)
Malzeme özellikleri
Enerji yoğunluğu
Parça geometrisi
Katman sayısı
Tarama hızı
Tarama stratejisi
Tarama mesafesi
Ön ısıtma ve ortam sıcaklıkları
Destek yapılar

3. SONUÇLAR

Yapılan çalışma ile eklemeli imalat metotlarından olan DMLS ile imalat incelenmiştir. Çalışmada öncelikli olarak imalat parametrelerinden ve dış etmenlerden kaynaklanan sıcaklık dağılımları ve nedenleri anlaşılmaya çalışılmıştır. Sonraki kısımlarda ise sıcaklık dağılımlarına bağlı olarak parçalarda meydana gelen şekil değişimleri incelenmiştir: DMLS imalatın sıcaklık dağılımları, boyutsal değişimler ve kalıntı gerilmeler açısından anlaşılmasına yönelik deneysel ve teorik çalışmalar sonuç olarak; Kalıntı gerilmelere ve termal etkilerden dolayı meydana gelen boyutsal değişimlere sebep olan parametreler nispeten belirlenmiş olsa da bu parametrelerin etkileri sayısal olarak belirlenmelidir. Kalıntı gerilmeler ve termal sonlu elemanlar analizlerinin daha gerçekçi yapılabilmesi için sınır şartlarını gerçeğe uygun belirlemek gerekmektedir. Gerçekçi sonuçların elde edilebileceği şekilde sınır şartlarını belirlemek ve analiz sonuçlarının gerçek deneylerle kıyaslanması önem arz etmektedir. Ancak bu şekilde yapılacak kapsamlı bir çalışma ile DMLS ile eklemeli imalat derinlemesine anlaşılmış olacaktır.

İmalat esnasındaki termal davranışların ve bu termal davranışlar sonucunda meydana gelecek olan boyutsal değişimlerin deneysel ve sonlu elemanlar modellemesi yapılmalıdır. Elde edilen bağıntılar aracılığıyla sonraki

imalatlarda hatalardan kaçınmak ve istenen özellikleri elde etmek mümkün olacaktır.

Kalıntı gerilmeler ve boyutsal değişimler kontrol altında tutulacak şekilde optimum parametre tayin edilmesi ile daha büyük boyutlu ve daha yüksek performansa sahip parçaların imalatı mümkün hale gelecektir. Böylece DMLS ile imalatın kullanılabilirliği artacaktır. Yöntemin endüstrileşme potansiyeli ve imalatçılar tarafından kabul edilirliği de artacaktır.

4. KAYNAKLAR

- [1] W. J. Sames, F. A. List, S. Pannala, R. R. Dehoff, and S. S. Babu, “The metallurgy and processing science of metal additive manufacturing,” *Int. Mater. Rev.*, vol. 61, no. 5, pp. 315–360, 2016.
- [2] C. Körner, “Additive manufacturing of metallic components by selective electron beam melting - A review,” *Int. Mater. Rev.*, vol. 61, no. 5, pp. 361–377, 2016.
- [3] D. D. Gu, W. Meiners, K. Wissenbach, and R. Poprawe, “Laser additive manufacturing of metallic components: materials, processes and mechanisms,” *Int. Mater. Rev.*, vol. 57, no. 3, pp. 133–164, 2012.
- [4] D. Herzog, V. Seyda, E. Wycisk, and C. Emmelmann, “Additive manufacturing of metals,” *Acta Mater.*, vol. 117, pp. 371–392, Sep. 2016.
- [5] T. DebRoy, H. L. Wei, J. S. Zuback, T. Mukherjee, J. W. Elmer, J. O. Milewski, A. M. Beese, A. Wilson-Heid, A. De, and W. Zhang, “Additive manufacturing of metallic components – Process, structure and properties,” *Prog. Mater. Sci.*, vol. 92, pp. 112–224, Mar. 2018.
- [6] K. V. Wong and A. Hernandez, “A Review of Additive Manufacturing,” *ISRN Mech. Eng.*, vol. 2012, pp. 1–10, 2012.
- [7] S. K. Everton, M. Hirsch, P. Stravroulakis, R. K. Leach, and A. T. Clare, “Review of in-situ process monitoring and in-situ metrology for metal additive manufacturing,” *Mater. Des.*, vol. 95, pp. 431–445, 2016.
- [8] W. E. Frazier, “Metal additive manufacturing: A review,” *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 23, no. 6, pp. 1917–1928, 2014.
- [9] S. S. Kayacan M. Y., “Ürün geliştirme sürecinde hızlı prototip uygulamaları,” *Plast. Derg.*, vol. 125, pp. 122–130, 2014.
- [10] ASTM International, F2792-12a - Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies. 2013.
- [11] D. Manfredi, F. Calignano, E. P. Ambrosio, M. Krishnan, R. Canali, S. Biamino, M. Pavese, E. Atzeni, L. Luliano, P. Fino, and C. Badini, “Direct Metal Laser Sintering: An additive manufacturing technology ready to produce lightweight structural parts for robotic applications,” *Metall. Ital.*, vol. 105, no. 10, pp. 15–24, 2013.
- [12] “https,” wikipedia, 2014. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_sintering.
- [13] Additively.com, “No Title.” [Online]. Available: <https://www.additively.com/en/learn-about/laser-melting>.
- [14] M. Yan, S. D. Luo, G. B. Schaffer, and M. Qian, “Impurity (Fe, Cl, and P)-induced grain boundary and

secondary phases in commercially pure titanium (CP-Ti)," *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, vol. 44, no. 8, pp. 3961–3969, 2013.

[15] M. Yan, M. S. Dargusch, C. Kong, J. A. Kimpton, S. Kohara, M. Brandt, and M. Qian, "In Situ Synchrotron Radiation Study of TiH₂-6Al-4V and Ti-6Al-4V: Accelerated Alloying and Phase Transformation, and Formation of an Oxygen-Enriched Ti₄Fe₂O Phase in TiH₂-6Al-4V," *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, vol. 46, no. 1, pp. 41–45, 2015.

[16] M. Yan, S. D. Luo, G. B. Schaffer, and M. Qian, "TEM and XRD characterisation of commercially pure ??-Ti made by powder metallurgy and casting," *Mater. Lett.*, vol. 72, pp. 64–67, 2012.

[17] M. Yan, M. Qian, C. Kong, and M. S. Dargusch, "Impacts of trace carbon on the microstructure of as-sintered biomedical Ti-15Mo alloy and reassessment of the maximum carbon limit," *Acta Biomater.*, vol. 10, no. 2, pp. 1014–1023, 2014.

[18] K. U. Kainer, "High Temperature Ceramic Matrix Composites," 2006.

[19] M. Qian, Y. F. Yang, S. D. Luo, and H. P. Tang, 12. Elsevier Inc., 2015.

[20] K. Crosby, "Titanium-6Aluminum-4Vanadium For Functionally Graded Orthopedic Implant Applications," Univ. Connect., 2013.

[21] I. Gibson, D. W. Rosen, and B. Stucker, "Additive manufacturing technologies," *Vasa*, no. December, 2010.

[22] J. Wroe, *INTRODUCTION TO Additive Manufacturing TECHNOLOGY*, 1st ed. Shrewsbury: Association, European powder metallurgy, 2012.

[23] A. Simchi and H. Pohl, "Effects of laser sintering processing parameters on the microstructure and densification of iron powder," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 359, no. 1–2, pp. 119–128, 2003.

[24] J. Delgado, J. Ciurana, and C. A. Rodríguez, "Influence of process parameters on part quality and mechanical properties for DMLS and SLM with iron-based materials," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 60, no. 5–8, pp. 601–610, 2012.

[25] F. Calignano, D. Manfredi, E. P. Ambrosio, L. Iuliano, and P. Fino, "Influence of process parameters on surface roughness of aluminum parts produced by DMLS," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 67, no. 9–12, pp. 2743–2751, 2013.

[26] H. Pohl, A. Simchi, M. Issa, and H. C. Dias, "Thermal stresses in direct metal laser sintering," *Proc. SFF Symp.*, pp. 366–372, 2001.

[27] I. Shishkovsky, "Stress-strain analysis of porous scaffolds made from titanium alloys synthesized via SLS method," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 255, no. 24, pp. 9902–9905, 2009.

[28] H. Exner, P. Regenfuss, L. Hartwig, S. Klötzer, and R. Ebert, "Selective laser micro sintering with a novel process," *Proc. SPIE*, vol. 5063, pp. 145–151, 2003.

[29] S. Caro, D. Chablat, R. Ur-Rehman, P. Wenger, and A. Bernard, "Global Product Development," pp. 373–383, 2011.

[30] L. S. Bertol, W. K. Júnior, F. P. Da Silva, and C. Aumund-Kopp, "Medical design: Direct metal laser sintering of Ti-6Al-4V," *Mater. Des.*, vol. 31, no. 8, pp. 3982–3988, 2010.

[31] R. Paul, "Modeling and optimization of powder based additive manufacturing (AM) processes," 2013.

[32] F. Xie, X. He, S. Cao, and X. Qu, "Structural and mechanical characteristics of porous 316L stainless steel fabricated by indirect selective laser sintering," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 213, no. 6, pp. 838–843, 2013.

[33] C. Aumund-Kopp and F. Petzoldt, "Laser Sintering of parts with complex internal structures," *Proc. 2008 world Congr. powder Metall. Part. Mater.*, vol. 1, no. 3, pp. 385–397, 2008.

[34] T. Hayashi, K. Maekawa, M. Tamura, and K. Hanyu, "Selective Laser Sintering Method Using Titanium Powder Sheet Toward Fabrication of Porous Bone Substitutes," *JSME Int. J. Ser. A*, vol. 48, no. 4, pp. 369–375, 2005.

[35] L. Ventola, F. Robotti, M. Dialameh, F. Calignano, D. Manfredi, E. Chiavazzo, and P. Asinari, "Rough surfaces with enhanced heat transfer for electronics cooling by direct metal laser sintering," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 75, pp. 58–74, 2014.

[36] Y. Ning, "Process Parameter Optimization for Direct Metal Laser Sintering (DMLS)," p. 167, 2005.

[37] M. H. Farshidianfar, A. Khajepour, and A. P. Gerlich, "Effect of real-time cooling rate on microstructure in Laser Additive Manufacturing," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 231, pp. 468–478, 2016.

[38] Y. Ningy, J. Y. H. Fuhy, Y. S. Wongy, and H. T. Lohy, "An intelligent parameter selection system for the direct metal laser sintering process," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 42, no. 1, pp. 183–199, 2004.

[39] Y. Ning, Y. S. Wong, J. Y. H. Fuh, and H. T. Loh, "An approach to minimize build errors in direct metal laser sintering," *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 73–80, 2006.

[40] S. Merkt, C. Hinke, J. Bultmann, M. Brandt, and M. Xie, "The mechanical response of TiAl₆V₄ lattice structures manufactured by SLM in quasi static and dynamic compression tests," vol. 17006, pp. 3–10, 2015.

[41] J. Parthasarathy, B. Starly, and S. Raman, "A design for the additive manufacture of functionally graded porous structures with tailored mechanical properties for biomedical applications," *J. Manuf. Process.*, vol. 13, no. 2, pp. 160–170, 2011.

[42] C. Yan, L. Hao, A. Hussein, P. Young, J. Huang, and W. Zhu, "Microstructure and mechanical properties of aluminium alloy cellular lattice structures manufactured by direct metal laser sintering," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 628, pp. 238–246, 2015.

[43] M. Yan and P. Yu, "An Overview of Densification, Microstructure and Mechanical Property of Additively Manufactured Ti-6Al-4V — Comparison among Selective Laser Melting, Electron Beam Melting, Laser Metal Deposition and Selective Laser Sintering, and with Conventional Powder," *Sinter. Tech. Mater.*, pp. 76–106, 2015.

- [44] A. Vlasea, M., Lane, B., Lopez, F., Mekhontsev, S., Donmez, "DEVELOPMENT OF POWDER BED FUSION ADDITIVE MANUFACTURING TEST BED FOR ENHANCED REAL-TIME PROCESS CONTROL," *Proc. Int. Solid Free. Fabr. Symp.*, vol. 1, no. 1, pp. 527–539, 2015.
- [45] J. Živčák, M. Šarik, and R. Hudák, "FEA simulation of thermal processes during the direct metal laser sintering of Ti64 titanium powder," *Measurement*, vol. 94, pp. 893–901, 2016.
- [46] O. Kayabaşı, E. Yüzbaşıoğlu, and F. Erzincanlı, "Static, dynamic and fatigue behaviors of dental implant using finite element method," *Adv. Eng. Softw.*, vol. 37, no. 10, pp. 649–658, 2006.
- [47] J. Romano, L. Ladani, and M. Sadowski, "Thermal Modeling of Laser Based Additive Manufacturing Processes within Common Materials," *Procedia Manuf.*, vol. 1, pp. 238–250, 2015.
- [48] a. Cerardi, M. Caneri, R. Meneghello, G. Concheri, and M. Ricotta, "Mechanical characterization of polyamide cellular structures fabricated using selective laser sintering technologies," *Mater. Des.*, vol. 46, pp. 910–915, 2013.
- [49] G. Campoli, M. S. Borleffs, S. Amin Yavari, R. Wauthle, H. Weinans, and a. a. Zadpoor, "Mechanical properties of open-cell metallic biomaterials manufactured using additive manufacturing," *Mater. Des.*, vol. 49, pp. 957–965, 2013.
- [50] R. Guo, "Numerical Analysis on Static Mechanical Properties of the Periodic Multilayer Lattice Material," *Engineering*, vol. 3, no. 12, pp. 1149–1154, 2011.
- [51] W. Gao, Y. Zhang, D. Ramanujan, K. Ramani, Y. Chen, C. B. Williams, C. C. L. Wang, Y. C. Shin, S. Zhang, and P. D. Zavattieri, "The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering," *Comput. Des.*, vol. 69, pp. 65–89, 2015.
- [52] H. W. Mindt, O. Desmaison, M. Megahed, A. Peralta, and J. Neumann, "Modeling of Powder Bed Manufacturing Defects," *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 27, no. 1, pp. 32–43, 2018.
- [53] D. M. Jacobson and G. Bennett, "Practical Issues in the Application of Direct Metal Laser Sintering," *Solid Free. Fabr. Symp.*, pp. 728–739, 2006.
- [54] M. L. Vlasea, B. Lane, F. Lopez, S. Mekhontsev, and A. Donmez, "Development of powder bed fusion additive manufacturing test bed for enhanced real-time process control," *26th Annu. Int. Solid Free. Fabr. Symp.*, pp. 527–539, 2015.
- [55] S. Mounsey, B. Hon, and C. Sutcliffe, "Performance modelling and simulation of metal powder bed fusion production system," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 65, no. 1, pp. 421–424, 2016.
- [56] A. E. Patterson, S. L. Messimer, and P. A. Farrington, "Overhanging Features and the SLM/DMLS Residual Stresses Problem: Review and Future Research Need," *Technologies*, vol. 5, no. 2, p. 15, 2017.
- [57] H. Peng, D. B. Go, R. Billo, S. Gong, M. R. Shankar, B. A. Gatrell, J. Budzinski, P. Ostiguy, R. Attardo, C. Tomonto, J. Neidig, and D. Hoelzle, "Part-scale model for fast prediction of thermal distortion in DMLS additive manufacturing ; Part 1 : a thermal circuit network model," in *Proceedings of the 27th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium*, 2016, pp. 361–381.
- [58] H. Peng, D. B. Go, R. Billo, S. Gong, M. R. Shankar, B. A. Gatrell, J. Budzinski, P. Ostiguy, R. Attardo, C. Tomonto, J. Neidig, and D. Hoelzle, "Part-scale model for fast prediction of thermal distortion in DMLS additive manufacturing ; Part 2 : a quasistatic thermomechanical model," in *Proceedings of the 27th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium*, 2016, pp. 382–397.
- [59] Y. Gao, J. Xingb, J. Zhanga, N. Luoa, and H. Zheng, "Research on measurement method of selective laser sintering (SLS) transient temperature," *Opt. Opt.*, vol. 119, pp. 1–6, 2007.
- [60] J. Lee and V. Prabhu, "Simulation modeling for optimal control of additive manufacturing processes," *Addit. Manuf.*, 2016.
- [61] B. Lane, S. Moylan, E. P. Whintont, and L. Ma, "Thermographic measurements of the commercial laser powder bed fusion process at NIST," *Rapid Prototyp. J.*, vol. 22, no. 5, pp. 778–787, 2016.
- [62] B. Lane, E. Whintont, and S. Moylan, "Multiple sensor detection of process phenomena in laser powder bed fusion," *Thermosense Therm. Infrared Appl.*, vol. 9861, no. 986104–1, pp. 1–9, 2016.
- [63] J. C. Heigel and B. M. Lane, "Measurement of the Melt Pool Length During Single Scan Tracks in a Commercial Laser Powder Bed Fusion Process," *Vol. 2 Addit. Manuf. Mater.*, no. April, p. V002T01A045, 2017.
- [64] A. J. Dunbar, E. R. Denlinger, M. F. Gouge, T. W. Simpson, and P. Michaleris, "Comparisons of laser powder bed fusion additive manufacturing builds through experimental in situ distortion and temperature measurements," *Addit. Manuf.*, vol. 15, pp. 57–65, 2017.
- [65] T. Keller, G. Lindwall, S. Ghosh, L. Ma, B. M. Lane, F. Zhang, U. R. Kattner, E. A. Lass, J. C. Heigel, Y. Idell, M. E. Williams, A. J. Allen, J. E. Guyer, and L. E. Levine, "Application of finite element, phase-field, and CALPHAD-based methods to additive manufacturing of Ni-based superalloys," *Acta Mater.*, vol. 139, pp. 244–253, 2017.
- [66] L. E. Ciales, Y. M. Arisoy, B. Lane, S. Moylan, A. Donmez, and T. Özel, "Predictive modeling and optimization of multi-track processing for laser powder bed fusion of nickel alloy 625," *Addit. Manuf.*, vol. 13, pp. 14–36, 2017.
- [67] L. Ma, J. Fong, B. Lane, S. Moylan, J. Filliben, A. Heckert, and L. Levine, "Using Design of Experiments in Finite Element Modeling To Identify Critical Variables for Laser Powder Bed Fusion," *Solid Free. Fabr. Symp.*, pp. 219–228, 2015.
- [68] I. Yadroitseva and I. Yadroitsev, "Residual stress in metal specimens produced by direct metal laser sintering," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [69] F. State, "RESIDUAL STRESSES IN DIRECT METAL LASER SINTERED PARTS," *Interim Interdiscip. J.*, vol. 14, no. 1, pp. 110–123, 2015.
- [70] C. Yan, L. Hao, A. Hussein, S. L. Bubbs, P. Young, and D. Raymont, "Evaluation of light-weight AlSi10Mg

periodic cellular lattice structures fabricated via direct metal laser sintering,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 214, no. 4, pp. 856–864, 2014.

[71] W. F. Mitchell, D. C. Lang, T. A. Merdes, E. W.

Reutze, and G. S. Welsh, “DIMENSIONAL ACCURACY OF TITANIUM DIRECT METAL LASER SINTERED,” in *Proceedings of the 27th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium*, 2016, pp. 2029–2042.

TiB₂ ve La₂O₃ Partikül Takviyelerinin Mekanik Alaşımlama ve Aktifleştirilmiş Sinterleme ile Üretilen Volfram Matrisli Kompozitler Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

*¹Duygu Ağaoğulları, ²Özge Balcı, ³Hasan Gökçe, ⁴Didem Ovalı, ⁵M. Lütfi Öveçoğlu

*¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Partikül Malzemeler Laboratuvarları (PML), 34469 Maslak, Ayazağa Kampüsü, İstanbul, Türkiye, bozkurtd@itu.edu.tr, 

²Koç Üniversitesi, Kimya Bölümü, Rumelifeneri Yolu, 34450 Sarıyer, İstanbul, Türkiye, obalci@ku.edu.tr, 

³İstanbul Teknik Üniversitesi, Prof. Dr. Adnan Tekin Malzeme Bilimleri ve Üretim Teknolojileri UYG-AR Merkezi, 34469 Maslak, Ayazağa Kampüsü, İstanbul, Türkiye, gokceh@itu.edu.tr, 

⁴Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 80000 Osmaniye, Türkiye, didem.ovalı@gmail.com, 

⁵İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Partikül Malzemeler Laboratuvarları (PML), 34469 Maslak, Ayazağa Kampüsü, İstanbul, Türkiye, ovecoglu@itu.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 28.03.2018

Kabul Tarihi: 22.10.2018

Öz

Bu çalışmada, farklı miktarlarda TiB₂ ve La₂O₃ partikülleri ile takviye edilmiş ve ağırlıkça % 1 Ni ile aktifleştirilmiş volfram matrisli (W1Ni) kompozitler mekanik alaşımlama, soğuk presleme ve basınçsız sinterleme yöntemleri kullanılarak üretilmiştir. Bu kapsamda, farklı miktarlardaki TiB₂ (ağ.% 3 ve 4) ve La₂O₃ (ağ.% 0,5 ve 1) partikülleri W1Ni matris içerisine katkılanmış ve farklı sürelerde (6 ve 12 sa) mekanik alaşımlama prosesi uygulanmıştır. Karıştırılmış ve mekanik alaşımlanmış tozlar tek eksenli hidrolik pres kullanılarak soğuk preslenmiş ve pekiştirilen büneler Ar/H₂ gaz akış şartlarında sinterlenmiştir. Farklı miktarlardaki TiB₂ ve La₂O₃ partikülleri ile takviye edilmiş, preslenmiş ve sinterlenmiş W1Ni matrisli kompozitlerin fiziksel, mikroyapısal ve mikrosertlik özellikleri incelenmiştir. TiB₂ veya La₂O₃ katkılarının, numunelerin yoğunluk ve/veya mikrosertlik değerlerinde artışa neden olduğu saptanmıştır. Mekanik alaşımlama süresinin, sinter ürün özelliklerinde ve mikroyapıda önemli bir etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. Ağ.% 3 veya 4 miktarındaki TiB₂ ve ağ.% 1 miktarındaki La₂O₃ katkılarının birlikte kullanımı, sinterlenme sonrasında, baskın W fazına ek olarak W₂B faz oluşumuna neden olmuştur. En yüksek rölatif yoğunluk ve mikrosertlik değerleri sırasıyla % 92,14 ve 6,27±1,54 GPa olup, 6 sa mekanik alaşımlama uygulanmış, preslenmiş ve sinterlenmiş olan W1Ni-ağ.% 3 TiB₂-ağ.%1 La₂O₃ kompozisyonu için elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Volfram matrisli kompozitler, Titanyum diborür, Lantanyum oksit, Mekanik alaşımlama, Aktifleştirilmiş sinterleme

Effects of TiB₂ and La₂O₃ Particle Reinforcements on the Tungsten Matrix Composites Fabricated by Mechanical Alloying and Activated Sintering

*¹Duygu Ağaoğulları, ²Özge Balcı, ³Hasan Gökçe, ⁴Didem Ovalı, ⁵M. Lütfi Öveçoğlu

*¹Istanbul Technical University, Chemical and Metallurgical Engineering Faculty, Metallurgical and Materials Engineering Department, Particulate Materials Laboratories (PML), 34469 Maslak, Ayazağa Campus, Istanbul, Turkey, bozkurtd@itu.edu.tr

²Koç University, Chemistry Department, Rumelifeneri Road, 34450 Sarıyer, Istanbul, Turkey, obalci@ku.edu.tr

³Istanbul Technical University, Prof. Dr. Adnan Tekin Materials Science and Production Technologies Applied Research Center, 34469 Maslak, Ayazağa Campus, Istanbul, Turkey, gokceh@itu.edu.tr

⁴Osmaniye Korkut Ata University, Mechanical Engineering Department, 80000 Osmaniye, Turkey, didem.ovalı@gmail.com

⁵Istanbul Technical University, Chemical and Metallurgical Engineering Faculty, Metallurgical and Materials Engineering Department, Particulate Materials Laboratories (PML), 34469 Maslak, Ayazağa Campus, Istanbul, Turkey, ovecoglu@itu.edu.tr

* Sorumlu Yazar: İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Partikül Malzemeler Laboratuvarları (PML), 34469 Maslak, Ayazağa Kampüsü, İstanbul, Türkiye, bozkurtd@itu.edu.tr, 0212 285 68 58/ Istanbul Technical University, Chemical and Metallurgical Engineering Faculty, Metallurgical and Materials Engineering Department, Particulate Materials Laboratories (PML), 34469 Maslak, Ayazağa Campus, Istanbul, Turkey, bozkurtd@itu.edu.tr, +90 212 285 68 58.

Abstract

In this study, 1 wt.% Ni activated tungsten matrix composites (W1Ni) reinforced with different amounts of TiB_2 and La_2O_3 particles were fabricated using mechanical alloying, cold pressing and pressureless sintering methods. In this scope, different amounts of TiB_2 (3 and 4 wt.%) and La_2O_3 (0.5 and 1 wt.%) particles were incorporated into W1Ni matrix and mechanical alloying process was conducted for different durations (6 and 12 h). As-blended and mechanically alloyed powders were cold pressed using a uniaxial hydraulic press and green bodies were sintered under Ar/H_2 gas flowing condition. The physical, microstructural and hardness properties of cold pressed and sintered W1Ni composites reinforced with different amounts of TiB_2 and La_2O_3 particles were investigated. The addition of TiB_2 and La_2O_3 reinforcements led an increase in the density and/or microhardness values of the composites. It was observed that mechanical alloying time had a significant effect on the properties and microstructure of the sintered products. The combined usage of 3 or 4 wt.% TiB_2 with 1 wt.% La_2O_3 reinforcement resulted in the formation of W_2B phase in addition to the dominant W phase after sintering. The highest relative density and microhardness values were obtained as % 92.14 and 6.27 ± 1.54 GPa, respectively, for the W1Ni-3 wt.% TiB_2 -1 wt.% La_2O_3 composite after mechanical alloying for 6 h, cold pressing and sintering.

Keywords: Tungsten matrix composites, Titanium diboride, Lanthanum oxide, Mechanical alloying, Activated sintering

1. GİRİŞ

Volfram (W) ve kompozitleri, yüksek ergime sıcaklığı, yüksek elastik modül, yüksek termal şok direnci, iyi korozyon direnci ve iyi yüksek sıcaklık mukavemeti gibi sahip olduğu mükemmel özellikler nedeniyle birçok alanda kullanılan ya da kullanım potansiyeli bulunan malzemelerdir [1-3]. Kullanım alanları arasında, füzyon aygıtları, kinetik enerji penetratörleri, havacılık, otomobil ve elektronik sektörleri yer almaktadır [4-6]. Volframın yüksek ergime sıcaklığı ve düşük süneklik özellikleri nedeniyle üretiminde bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Aktifleştirilmiş sinterleme kullanılarak, geleneksel yöntemlere kıyasla daha düşük sıcaklıklarda ve daha kısa sürelerde yüksek yoğunluğa sahip W ve W alaşımlarının elde edilmesi mümkündür [7-9]. Aktifleştirilmiş sinterlemenin sağladığı bu avantaj, çok az miktarda ilave edilen Ni, Co, Fe, Pt ve Pd gibi elementlerin sinterleme için gerekli aktivasyon enerjisini düşürmesi nedeni ile oluşmaktadır [9]. Ancak, bu yöntem ile üretilen sinterlenmiş W ürünlerin oldukça kırılgan bir yapıda olduğu görülmüştür [10]. Bu etkinin ortadan kaldırılması amacıyla, takviye edici malzemeler ile W esaslı kompozitlerin geliştirilmesi konusunda birçok çalışma yapılmaktadır. Buna yönelik olarak, aktifleştirici elementlerin yanı sıra, W ve alaşımlarının mekaniksel özelliklerinin geliştirilmesi için karbürler (TiC , HfC , vb.) [2, 3, 11, 12], borürler (CrB_2 , HfB_2 , ZrB_2 , TiB_2 , vb.) [6, 13-15], oksitler (Y_2O_3 , La_2O_3 , HfO_2 , ZrO_2 , vb.) [5, 6, 12, 13-18] gibi takviye elemanları kullanılarak çalışmalar yapılmaktadır. Bu malzemeler arasından, TiB_2 , yüksek ergime sıcaklığı, yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci ve iyi kimyasal kararlılığı nedeniyle öne çıkmaktadır [15, 19, 20].

Volfram esaslı kompozitler için kullanılan takviye edici malzemeler incelendiğinde, metal oksitlerin de oldukça önemli olduğu görülmektedir. Homojen dağıtılmış ve az miktardaki oksit katkıları, W ve içerdiği katkı malzemelerinin daha da iyi dağılmasını sağlayarak, dispersiyon mukavetlendirmesinin kazandırdığı mekanik özellikleri arttırmaktadır [6, 11, 13, 14]. En çok çalışılan

metal oksitlerin başında La_2O_3 ve Y_2O_3 gelmektedir [17, 18]. Özellikle takviye edici malzeme olarak La_2O_3 kullanılmış çalışmalarda, La_2O_3 'ün kompozitlerin düşük sıcaklıktaki kırılganlığını ve yüksek sıcaklıktaki aşınma miktarını azalttığı gösterilmiştir [11, 18]. İki farklı takviye malzemesi kullanılarak üretilen W esaslı hibrit kompozitler ile ilgili çalışmalar da literatürde yer almaktadır: Bu çalışmalarda, W matrisinin özellikleri, W esaslı hibrit kompozitler oluşturularak daha da geliştirilmiştir [11, 13, 14]. Chen ve ark. [11] yaptığı çalışmada, volfram esaslı kompozitlerin özellikleri, TiC ve La_2O_3 partiküllerinin birlikte ve ayrı ayrı kullanıldığı durumlar için incelenmiştir. Raporlanan bu çalışmada, artan TiC katkısı ile rölatif yoğunluk değerlerinde bir düşüş gözlenmesine rağmen sertlik değerlerinin arttığı vurgulanmıştır [11]. Benzer şekilde, Ni-W katı eriyiği matrisine WC ve Y_2O_3 'ün etkilerinin incelendiği bir çalışmada ise, yoğunluk ve mikrosertlik değerlerinde kayda değer bir artış gözlenmezken, yapılan aşınma testleri bu iki fazın bir arada kullanıldıklarında çok daha etkili olduklarını açıkça ortaya koymaktadır [13].

Volfram esaslı kompozitler genel olarak mekanik alaşımlama ve sonrasında gelen farklı sinterleme teknikleri ile yani toz metalurjisi yöntemleri ile üretilmektedirler. Mekanik alaşımlama, toz hammaddelerin düşük veya yüksek enerjili değirmenler kullanılarak öğütülmesi işlemidir. Bu esnada, mikroskopik boyutta tekrarlanan çarpışma, soğuk kaynaklanma ve kırılma işlemleri ile istenilen tozların üretilmesi sağlanmaktadır [21]. Ayrıca, bu yöntem, homojen ve kontrol edilebilir bir mikroyapıya sahip kompozit tozların üretilmesi imkanını vermektedir [22]. Literatürde, mekanik alaşımlama ve aktifleştirilmiş sinterleme yöntemleri kullanılarak üretilen W kompozitler için bazı araştırmalar mevcuttur. TiB_2 , ZrC , HfB_2 , CrB_2 , ZrB_2 , TiC gibi takviye elemanlarının W-Ni matris üzerindeki mikroyapısal ve mekaniksel özellikleri incelenmiş ve belli bir sınır değere kadar kullanılan takviyelerin kompozit yapısını geliştirdiği raporlanmıştır [3, 6, 13, 14, 23]. Bu çalışmada ise, ağırlık % 3 ve 4 TiB_2 ile ağırlık % 0,5 ve 1 La_2O_3 katkıları takviye edilerek, mekanik alaşımlama ve aktifleştirilmiş sinterleme

yöntemleri kullanılarak W esaslı hibrit kompozitler üretilmiş ve bu kompozitlerin mikroyapısal ve bazı mekaniksel özellikleri karakterize edilmiştir.

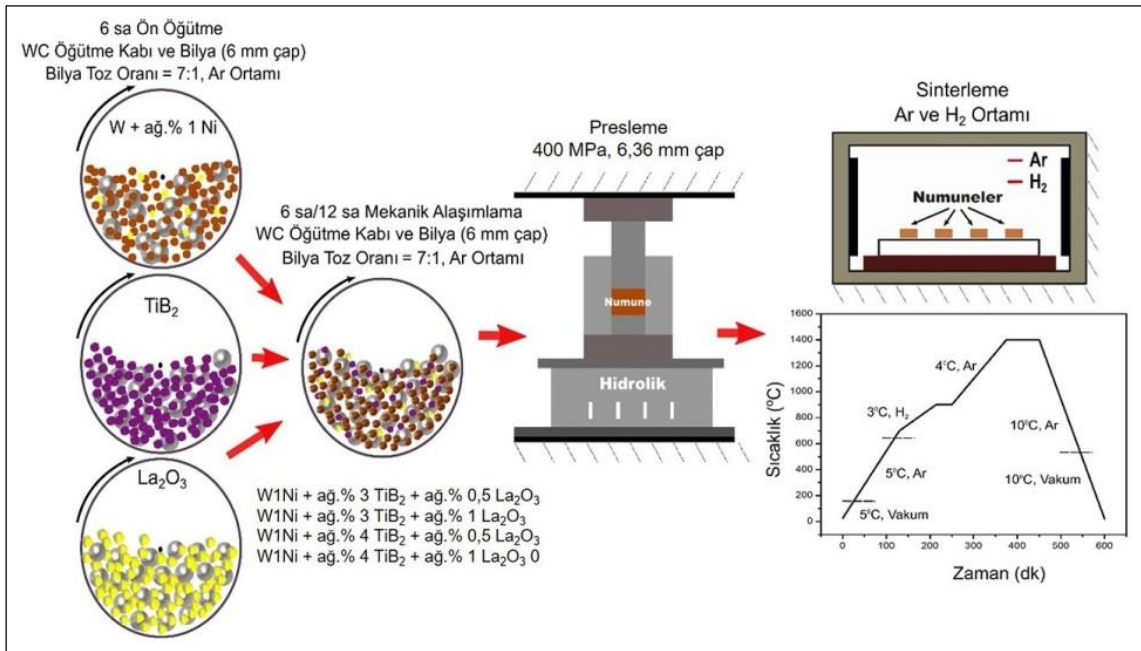
2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Kompozit Malzemelerin Üretimi

Bu çalışmada, W (Eurotungstene, % 99,9 safiyet ve 4-5 μm partikül boyut aralığı), Ni (ABCR, % 99,9 safiyet ve 3-7 μm partikül boyut aralığı), TiB_2 (Alfa Aesar, % 99,9 safiyet ve 40-44 μm partikül boyut aralığı) ve La_2O_3 (ABCR, % 99,99 safiyet ve 25-34 μm partikül boyut aralığı) başlangıç tozları kullanılmıştır. W tozlarına, ağırlık % 1 Ni tozları ilave edilerek 6 sa ön alaşımlama işlemi uygulanmıştır. Ön alaşımlanmış tozlar, W1Ni olarak adlandırılmıştır. Ön alaşımlanmış W1Ni matris malzemesine takviye malzemesi olarak eklenecek olan TiB_2 ve La_2O_3 tozlarına da 6 sa ön öğütme işlemi yapılmıştır. Ön alaşımlanan W1Ni matrisine öğütülmüş TiB_2 ve La_2O_3 tozları birlikte katılarak W1Ni-x TiB_2 (x=ağırlık % 3 ve 4)-y La_2O_3 (y=ağırlık % 0,5 ve 1) hibrit karışımları oluşturulmuş ve bunlar WAB T2C Turbula cihazı kullanılarak karıştırılmıştır. Oluşturulan farklı bileşimdeki tozlar (7 g), 6 veya 12 sa olmak üzere iki farklı sürede yüksek enerjili değirmende mekanik olarak alaşımlanmıştır. Mekanik alaşımlama (MA) olmaksızın sadece karıştırılmış

tozlar, 0 sa MA olarak adlandırılmıştır. MA süreçleri, Spex 8000D karıştırıcı/öğütücü (1200 devir/dk hız) ile 50 ml kapasitedeki volfram karbür (WC) kaplar ve 6 mm çapa sahip WC bilyalar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bütün öğütme işlemleri için bilya:toz oranı ağırlıkça 7:1 olacak şekilde ayarlanmıştır. Öğütme sırasında meydana gelebilecek kirliliğin ve oksitlenmenin en aza indirgenmesi için tüm tozlar, kapalı ortam kutusunda vakuma alınıp ve sonrasında Ar gazı (% 99,999 safiyet) ortamında kaplara doldurulmuştur ve öğütme kaplarının sızdırmazlıkları sağlanmıştır. Deneysel çalışmalarda yararlanılan ön alaşımlama ve ön öğütme işlemleri de MA ile aynı koşullarda gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalara ait proses akış şeması Şekil 1'de sunulmuştur. Karıştırılmış (0 sa MA) ve mekanik alaşımlanmış tüm tozlar, 400 MPa basınç uygulanarak MSE tek yönlü hidrolik pres ile oda sıcaklığında preslenerek pelet haline getirilmiştir. Kullanılan pres kalıbının çapı 6,36 mm'dir. Peletlenmiş numuneler, Linn yüksek sıcaklık fırını kullanılarak sinterlemeye tabi tutulmuşlardır. Sinterleme rejimi Şekil 1'deki proses akış şemasında verildiği şekilde uygulanmıştır. Sinterleme işlemi, H_2 , Ar ve/veya vakum altında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Deneysel çalışmalara ait proses akış şeması.

2.2. Karakterizasyon Çalışmaları

Mekanik alaşımlama süreçleri sonucunda elde edilen tozların ve sinterleme işlemi sonrası elde edilen numunelerin faz analizleri ve karakterizasyonları, Bruker D8 X-ışınları difraktometresi (XRD, $\text{CuK}\alpha=1,54060 \text{ \AA}$) ile $2^\circ/\text{dk}$ tarama hızı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, mekanik alaşımlama süresine bağlı olarak tüm tozlardaki W fazına ait

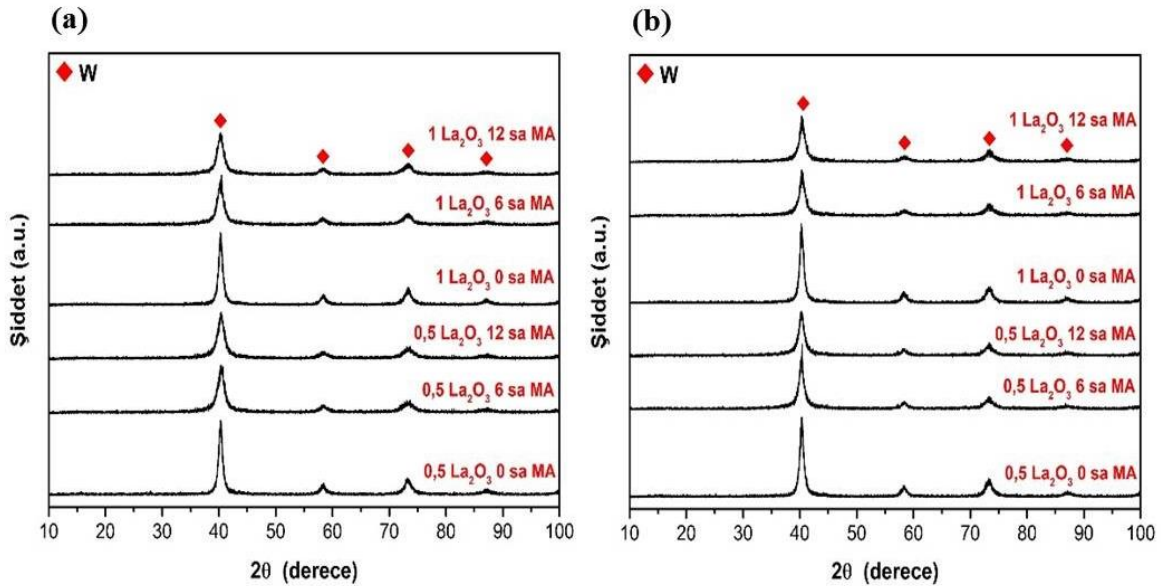
ortalama kristalit boyutu ve ortalama kafes deformasyonu değerleri Bruker-AXS TOPAS 4.2 yazılımı ile, volframa ait en şiddetli difraksiyon pikleri ((110), (200) ve (211) düzlemlerinin yansımalarından kaynaklı) baz alınarak ve modifiye edilmiş Scherrer formülü uygulanarak hesaplanmıştır [23, 24]. Kullanılan ve üretilen tozların partikül boyut dağılımlarının belirlenmesinde Malvern marka Mastersizer 2000 lazer saçılımı partikül boyut analiz

cihazı kullanılmıştır. MA prosesinden geçen tozların partikül boyut ölçümleri sırasında topaklanmayı engellemek için, tozlara ultrasonik banyoda 1 dk süre ile titrasyon yapılmıştır. Sinter sonrası numunelerin yoğunluk değerleri ise, Precisa XB220A hassas terazide Arşimet yoğunluk kiti kullanılarak ölçülmüş ve her numuneden ölçülen 5 değerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Metalografik hazırlama işlemleri, sinterlenmiş olan tüm numuneler için Struers Labopress-1 bakelite alma makinası ve Struers Tegrapol-15 otomatik parlatma cihazı kullanılarak yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri, yüzeyleri uygun olarak hazırlanmış olan numunelerde, Shimadzu HV2 Vickers mikrosertlik cihazı kullanılarak 100 g yük altında ve 10 s batma süresi ile gerçekleştirilmiştir. Her numune için 25 başarılı ölçüm yapılmış ve aritmetik ortalamaları alınarak ortalama sertlik değerleri belirlenmiştir. Sinterleme sonrası farklı kompozisyonlardaki malzemelerin mikroyapıları, optik mikroskop (OM, Nikon Eclipse L150) kullanılarak incelenmiştir. Seçilen kompozit toz ürünün ve sinterlenmiş malzemelerin detaylı mikroyapısal karakterizasyonu, taramalı elektron mikroskobu (SEM, JEOL JSM T-330A, 15 kV) ve mikroskoba entegre edilmiş enerji dağılımlı spektrometre (EDS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Toz Numunelerin Karakterizasyonu

Şekil 2(a) ve (b)'de karıştırılmış ve 6 ve 12 sa MA uygulanmış $W1Ni-3TiB_2-yLa_2O_3$ ($y=0,5$ ve 1) ve $W1Ni-4TiB_2-yLa_2O_3$ ($y=0,5$ ve 1) tozlarının XRD paternleri verilmiştir. Beklendiği üzere, karıştırılmış ve alaşımlanmış tozların XRD piklerinde W (ICDD kart no: 04-0806, Bravais kafesi: Hacim merkezli kübik, $a=b=c=0,316$ nm) fazı baskın tek faz olarak bulunmaktadır. TiB_2 ve La_2O_3 fazlarına ait XRD piklerinin bulunmaması, bu fazların yapı içindeki miktarlarının azlığından veya şiddetli W piklerinin baskılamasından kaynaklanmaktadır. MA süresindeki artışla birlikte XRD piklerinin şiddeti azalmakta, pikler genişlemekte ve yayvanlaşmaktadır. Buna benzer bir değişim, 0, 6 ve 12 sa MA'lanmış $W1Ni-xLa_2O_3$ ($x=0,5$ ve 1) tozlarının XRD piklerinde de rastlanmıştır [17]. 6 ve 12 sa MA uygulanmış tozların yapılarında, W, Ni, TiB_2 ve La_2O_3 başlangıç tozları arasındaki reaksiyonlar sonucu meydana gelmiş ikincil fazlar da bulunmamaktadır. Literatürde, 6 ve 12 sa MA sonrası XRD analizi yapılmış $W1Ni-xTiB_2$ ($x=2, 3$ ve 4) tozlarında da sadece baskın W fazı bulunduğu raporlanmıştır [15].



Şekil 2. Karıştırılmış (0 sa MA) ve mekanik alaşımlanmış (6 ve 12 sa) tozlara ait XRD paternleri: (a) $W1Ni-3TiB_2-yLa_2O_3$ ($y=0,5$ ve 1) ve (b) $W1Ni-4TiB_2-yLa_2O_3$ ($y=0,5$ ve 1).

Tablo 1'de karıştırılmış ve 6 veya 12 sa mekanik alaşımlanmış $W1Ni-xTiB_2-yLa_2O_3$ ($x=3$ ve 4 ; $y=0,5$ ve 1) toz numunelerindeki W fazının Bruker-AXS TOPAS analizlerine göre hesaplanan ortalama kristalit boyutları ve kafes deformasyon miktarları verilmiştir. Tablo 1'e genel olarak bakıldığında, bütün toz kompozisyonları için artan MA süresi ile ortalama kristalit boyutlarında azalma ve kafes deformasyonlarında artış meydana geldiği görülmektedir. $W1Ni-4TiB_2-0,5La_2O_3$ ve $W1Ni-4TiB_2-1La_2O_3$ toz

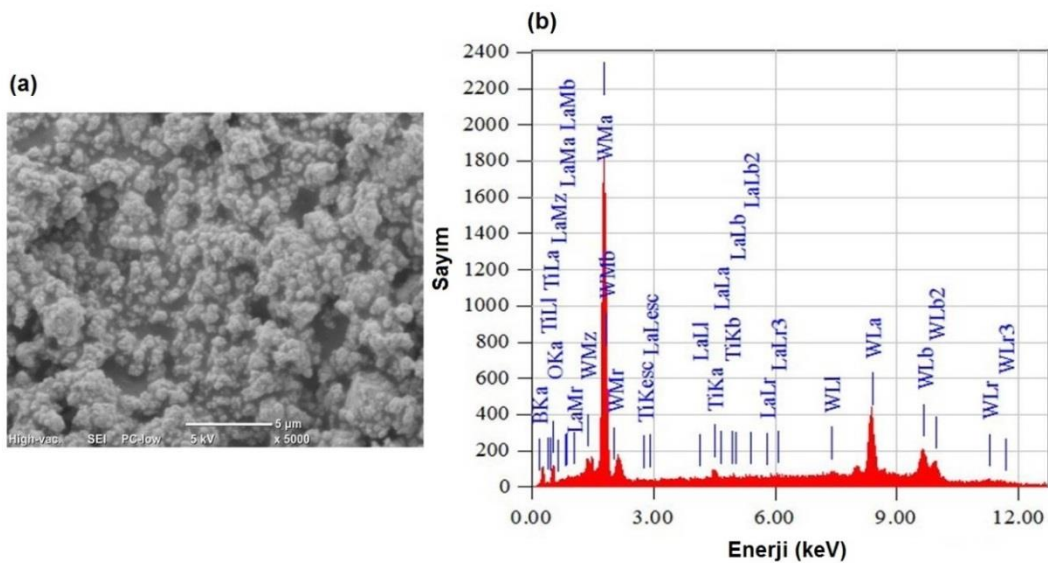
karışımlarının kristalit boyutları ve kafes deformasyonlarındaki değişim ise, ağırlık % 3 TiB_2 kullanılması durumunda meydana gelen değişimlerden önemsenerek farklı bir sonuç vermemiştir. Ayrıca literatürdeki bir çalışmada bulunan, 0, 6 ve 12 sa MA uygulanmış $W1Ni-2TiB_2-yLa_2O_3$ ($y=0,5$ ve 1) tozlarına ait ortalama kristalit boyutlarındaki düşüş ile ortalama kafes deformasyonlarındaki artış miktarları, bu çalışmada hesaplanan değerler ile örtüşmektedir [14].

Tablo 1. Karıştırılmış (0 sa MA), 6 ve 12 sa mekanik alaşımlanmış W1Ni-xTiB₂-yLa₂O₃ (x=3 ve 4; y=0,5 ve 1) tozlarının XRD paternlerindeki W fazına ait pikler için hesaplanmış ortalama kristalit boyutları ve kafes deformasyon miktarları.

Numune Adı	Kristalit Boyutu (nm)	Kafes Deformasyonu (%)
0 sa MA	15,20	1,70
W1Ni-3TiB ₂ -0,5La ₂ O ₃ 6 sa MA	9,70	2,64
12 sa MA	6,40	3,97
0 sa MA	15,10	1,76
W1Ni-3TiB ₂ -1La ₂ O ₃ 6 sa MA	10,00	2,55
12 sa MA	6,90	3,73
0 sa MA	14,40	1,82
W1Ni-4TiB ₂ -0,5La ₂ O ₃ 6 sa MA	8,00	2,95
12 sa MA	7,00	3,66
0 sa MA	13,60	1,89
W1Ni-4TiB ₂ -1La ₂ O ₃ 6 sa MA	10,30	2,50
12 sa MA	7,80	3,35

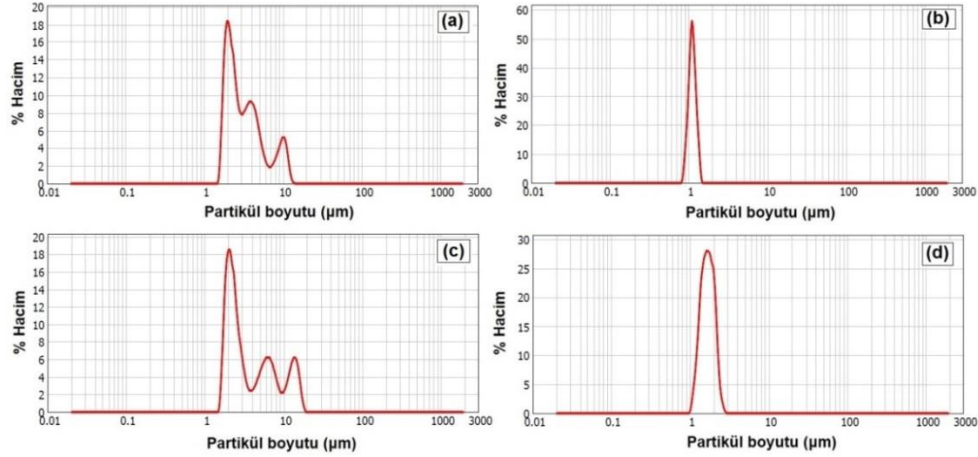
W1Ni-xTiB₂-yLa₂O₃ (x=3 ve 4; y=0,5 ve 1) toz numunelerinin içinden temsili olarak seçilen, 12 sa mekanik alaşımlanmış W1Ni-3TiB₂-1La₂O₃ tozunun SEM görüntüsü ve alansal EDS analizi, sırasıyla Şekil 3(a) ve (b)'de sunulmuştur. Şekil 3(a)'daki SEM görüntüsünde görüldüğü üzere, 12 sa MA sonrası elde edilen kompozit toz, homojen bir partikül boyutu dağılımına sahiptir. Ayrıca, bu partiküllerin boyutlarının 1 µm altında olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, uzun süren MA prosesi aglomerasyona meyilli açık partikül yüzeyleri oluşturduğundan, bazı bölgelerde partiküllerin kümelenmiş olduğu görülmektedir. Şekil 3(b)'deki EDS spektrumu Şekil 3(a)'da verilen SEM görüntüsündeki genel alandan alınmıştır. EDS analizinde W elementinin şiddetli pikleri ile birlikte nispeten az şiddetlere sahip Ti, B, La ve O

elementlerinin varlığı tespit edilmiştir. Beklenildiği gibi, ilgili toz kompozisyonunda ağırlık % 1 miktarındaki Ni elementinden herhangi bir pik görülmemiştir. Uzun süreli öğütme kap ve bilyalarının toz partikülleri ile sürekli çarpışması neticesinde, öğütülen tozda kabın ve bilyaların malzemesine bağlı olarak bir miktar kirlilik gözlenmektedir. Şekil 3(b)'deki EDS analizine göre, toz bünyesinde karbon piki tespit edilmemiştir, dolayısıyla 12 sa MA sonrası, öğütme kabı ve bilyalardan kaynaklanan herhangi bir WC kirliliği izine rastlanmamıştır. Bu durum, tozda WC kirliliğinin bulunmadığı ya da meydana gelen WC kirliliğinin spektrometrenin analiz limitleri dışında küçük bir miktarda olduğu gibi iki farklı şekilde yorumlanabilmektedir.

**Şekil 3.** 12 sa mekanik alaşımlanmış W1Ni-3TiB₂-1La₂O₃ tozunun (a) SEM görüntüsü ve (b) alansal EDS analizi.

Şekil 4(a)-(d)'de 6 sa mekanik alaşımlanmış $W1Ni-xTiB_2-yLa_2O_3$ ($x=3$ ve 4 ; $y=0,5$ ve 1) tozlarının partikül boyut dağılım grafikleri verilmektedir. Şekil 4(a) ve (b)'deki grafiklerden, $W1Ni-3TiB_2-0,5La_2O_3$ tozlarının ortalama $3,94 \mu m$ ($D_{50}=2,91 \mu m$), $W1Ni-3TiB_2-1La_2O_3$ tozlarının ise ortalama $1,12 \mu m$ ($D_{50}=1,11 \mu m$) partikül boyutuna sahip olduğu belirlenmiştir. TiB_2 miktarının ağırlık % 4'e çıktığı

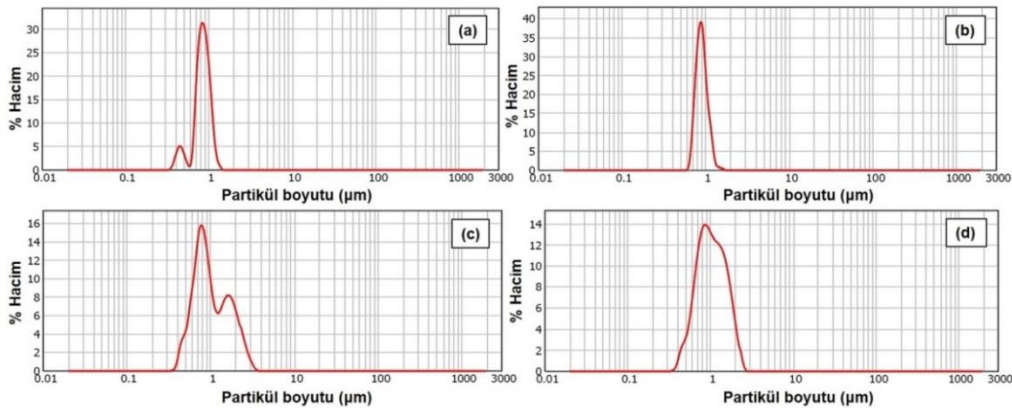
numunelerde ortalama partikül boyutu, ağırlık % 0,5 La_2O_3 katkısı için $5,23 \mu m$ ($D_{50}=2,89 \mu m$), ağırlık % 1 La_2O_3 katkısı için ise $1,75 \mu m$ ($D_{50}=1,52 \mu m$) olarak bulunmuştur. Şekil 4(a) ve (c)'deki üç pikli histogramlar, La_2O_3 katkısının artırılması ile tek pikli histogramlar haline dönüşmüştür, bu durum ise La_2O_3 partiküllerinin diğer partiküller üzerindeki dağıtıcı/homojenleştirici etkisini açıklamaktadır.



Şekil 4. 6 sa mekanik alaşımlanmış $W1Ni-xTiB_2-yLa_2O_3$ ($x=3$ ve 4 ; $y=0,5$ ve 1) tozlarının partikül boyut dağılım grafikleri: (a) $W1Ni-3TiB_2-0,5La_2O_3$, (b) $W1Ni-3TiB_2-1La_2O_3$, (c) $W1Ni-4TiB_2-0,5La_2O_3$ ve (d) $W1Ni-4TiB_2-1La_2O_3$.

Şekil 5(a)-(d)'de 12 sa mekanik alaşımlanmış $W1Ni-xTiB_2-yLa_2O_3$ ($x=3$ ve 4 ; $y=0,5$ ve 1) tozlarının partikül boyut dağılım grafikleri görülmektedir. Şekil 5(a) ve (b)'deki toz boyut dağılımlarından, $W1Ni-3TiB_2-0,5La_2O_3$ tozlarının ortalama 845 nm ($D_{50}=848 \text{ nm}$), $W1Ni-3TiB_2-1La_2O_3$ tozlarının ise ortalama 915 nm ($D_{50}=895 \text{ nm}$) partikül boyutuna sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 5(c) ve (d)'deki toz boyut dağılımlarından, $W1Ni-4TiB_2-0,5La_2O_3$ tozlarının ortalama partikül boyutları için $1,14 \mu m$ ($D_{50}=923 \text{ nm}$), $W1Ni-4TiB_2-1La_2O_3$ tozlarının ortalama partikül boyutları ise $1,11 \mu m$ ($D_{50}=1,02 \mu m$) civarında olduğu saptanmıştır. 6 ve 12 sa MA uygulanmış numunelerde, TiB_2 katkısının artması ile partiküllerin ortalama boyutlarında artma olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, TiB_2 başlangıç partikül

boyutunun W ve Ni tozlarına göre daha yüksek olmasıdır. Bununla birlikte, Şekil 5(b) ve 5(d)'deki tek pike sahip histogramlar ile Şekil 5(a) ve (c)'deki iki pikli histogramlar karşılaştırıldığında, La_2O_3 içeriğinin artırılmasının daha homojen bir partikül boyut dağılımı yarattığı açıkça görülmektedir. Şekil 4 ve 5'de bulunan dağılım grafikleri değerlendirildiğinde ise, MA süresinin artırılmasının partikül boyut dağılım aralığında önemli bir değişime neden olduğu anlaşılmaktadır. 12 sa MA süresi uygulanmış tüm numunelerin histogramları, 6 sa MA süresi uygulanmış numunelerinkine göre, $1 \mu m$ değerinden sola doğru kayma göstermiştir.

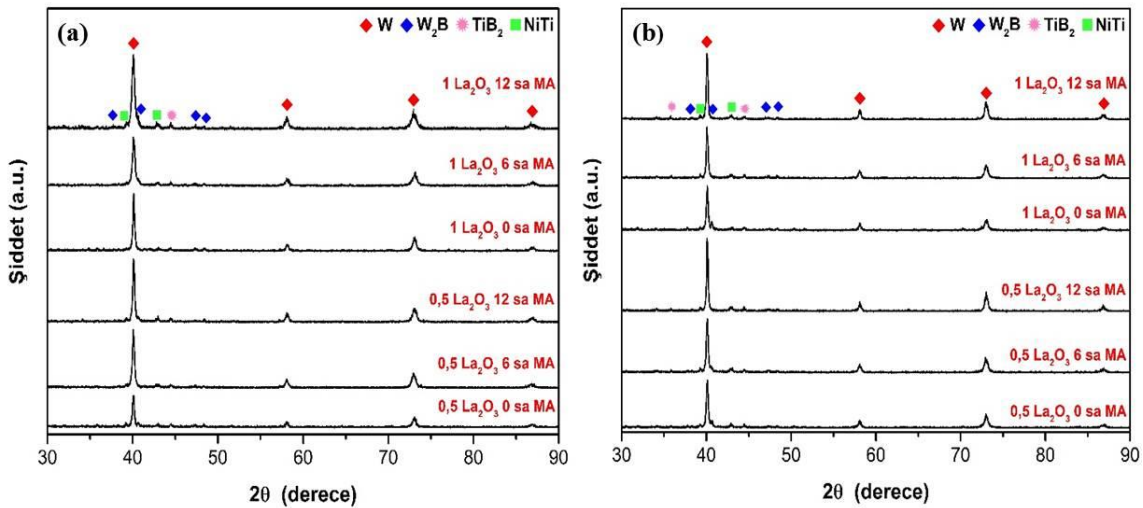


Şekil 5. 12 sa mekanik alaşımlanmış $W1Ni-xTiB_2-yLa_2O_3$ ($x=3$ ve 4 ; $y=0,5$ ve 1) tozlarının partikül boyut dağılım grafikleri: (a) $W1Ni-3TiB_2-0,5La_2O_3$, (b) $W1Ni-3TiB_2-1La_2O_3$, (c) $W1Ni-4TiB_2-0,5La_2O_3$ ve (d) $W1Ni-4TiB_2-1La_2O_3$.

3.2. Sinterlenmiş Kompozitlerin Karakterizasyonu

Şekil 6'da karıştırılmış, 6 sa ve 12 sa mekanik alaşımlanmış $W_{1Ni-3TiB_2-yLa_2O_3}$ ve $W_{1Ni-4TiB_2-yLa_2O_3}$ ($y=0,5$ ve 1) kompozitlerinin sinter sonrası XRD paternleri verilmektedir. Şekil 6(a)'da verilen XRD paternlerine göre, sinterleme sonrası $W_{1Ni-3TiB_2-yLa_2O_3}$ ($y=0,5$ ve 1) kompozitlerinin yapısında, W (ICDD kart no: 04-0806, Bravais kafesi: Hacim merkezli kübik, $a=b=c=0,316$ nm) ana fazı ile birlikte TiB_2 (ICDD kart no: 35-0741, Bravais kafesi: Basit hekzagonal, $a=b=0,303$ nm, $c=0,323$ nm) ve $NiTi$ (ICDD kart no: 19-0850, Bravais kafesi: Basit kübik, $a=b=c=0,297$ nm) fazlarının olduğu tespit edilmiştir. $W_{1Ni-3TiB_2-1La_2O_3}$ kompozitlerinde ise, W_2B (ICDD kart no: 25-0990, Bravais kafesi: Taban merkezli tetragonal, $a=b=0,557$ nm, $c=0,474$ nm) fazının olduğu saptanmıştır. Kompozitlerin yapısındaki, ağırlık % TiB_2 oranının 3'den 4'e çıkarılması (Şekil 6(b)), ilave bir faz oluşumuna neden olmamıştır. 12 sa MA ile birlikte, XRD'lerdeki TiB_2 ve $NiTi$ fazlarına ait piklerde artış gözlemlenmiştir. Bu durum, kompozit tozları içindeki TiB_2 fazının MA süresindeki artışla birlikte homojen olarak

dağıtılması ve pik şiddetlerinde artışa neden olması ile açıklanabilir. Ayrıca, TiB_2 fazının toz yapısı içinde homojen dağılmasının $NiTi$ fazının daha çok oluşmasına neden olduğu da söylenebilir. XRD paternlerinde yaklaşık olarak $2\theta=44^\circ$ değerinde bulunan küçük pikin $Ni(W)$ katı çözelti fazı ile de örtüştüğü bilinmektedir [6, 23]. $Ni(W)$ katı çözelti reaksiyonuna dahil olmayan küçük bir miktar serbest Ni ise, TiB_2 fazının yüksek sıcaklık sinterlemesi nedeniyle dekompozisyonu sonucu oluşan serbest Ti partikülleri ile reaksiyona girerek $NiTi$ intermetalik bileşiğini oluşturmuştur. Ayrıca, TiB_2 dekompozisyonu neticesinde serbestleşen B partiküllerinin W matrisi ile reaksiyonu sonrasında, W_2B intermetalik fazı ortaya çıkmıştır. Benzer şekilde, ağırlık % 2, 3 ve 4 TiB_2 ile takviye edilerek 12 sa MA ve aktifleştirilmiş sinterleme ile üretilmiş W_{1Ni} kompozitlerine ait bir çalışmada, TiB_2 takviyesinin sinterleme sıcaklığı etkisiyle kararlılığını kaybederek bir miktar bozunması ve sonrasında $NiTi$ fazını oluşturması ile ilgili bilgilere yer verilmiştir [15]. İlâveten, sinterleme sonrasında da, toz yapısında öğütme kap ve bilyalarından kaynaklanan WC kirliliğini işaret eden XRD piklerine rastlanmamıştır.



Şekil 6. Karıştırılmış (0 sa MA), mekanik alaşımlanmış (6 ve 12 sa) ve sinterlenmiş kompozitlere ait XRD paternleri: (a) $W_{1Ni-3TiB_2-yLa_2O_3}$ ($y=0,5$ ve 1) ve (b) $W_{1Ni-4TiB_2-yLa_2O_3}$ ($y=0,5$ ve 1).

Tablo 2'de karıştırılmış, 6 ve 12 sa mekanik alaşımlanmış $W_{1Ni-3TiB_2-yLa_2O_3}$ ve $W_{1Ni-4TiB_2-yLa_2O_3}$ ($y=0,5$ ve 1) kompozitlerinin sinter sonrası rölatif Arşimet yoğunluğu ve mikrosertlik değerleri verilmiştir. Tablo 2'ye bakıldığında genel olarak, her bir kompozisyon için MA süresinin artması ile rölatif yoğunluklarında artma olduğu görülmüştür. Ancak, artan rölatif yoğunluğu ile birlikte sertlik değerlerinde beklenildiği gibi bir artma görülmemiştir. Bu durum Şekil 6'daki XRD paternlerinde MA süresinin artması ile pik şiddeti artan $NiTi$ ve W_2B ikincil fazları ile ilişkilendirilebilir. MA, toz partiküllerinin birbirleri ve öğütme ortamı ile sürekli olarak ve yüksek hızda çarpışması sonucu meydana gelmektedir. Darbe enerjisinin yoğun olduğu bu sistemde, kararlı bileşikler bile bağlarındaki zayıflama veya yapılarında oluşan kusurlar neticesinde dekompoze olabilmektedir. MA süresi arttıkça, TiB_2 'nin

yapısı daha çok deforme olmuş ve deforme olan TiB_2 , Ni ve W elementleri ile kolayca reaksiyona girerek kısmen daha çok miktarda $NiTi$ ve W_2B bileşiklerini oluşturmuştur. Kompozit bünyesindeki TiB_2 'nin kararsızlaşması ve ikincil bileşiklerin oluşmasına neden olması ise beklenen mikrosertlik değerlerine ulaşılmasını kısıtlamıştır. TiB_2 'nin kararlı kalması durumunda, daha yüksek mikrosertlik değerlerinin elde edilebileceği öngörülmektedir. TiB_2 katkısının ağırlık % 3'den 4'e yükselmesi ile genel olarak yoğunluklarda düşüş gözlenirken, sertliklerinde artma olduğu görülmüştür. Yoğunluk değerlerindeki azalmanın nedeni, ağırlık % 4 TiB_2 içeren numunelerde daha çok ortaya çıkan W_2B intermetalik fazıdır. Bu durum, yüksek sertliğe sahip TiB_2 fazının mikrosertlik üzerindeki pozitif etkisini ve yoğunlaşma üzerindeki negatif etkisini göstermektedir. La_2O_3 katkısının etkisi incelendiğinde, yoğunluk ve sertlik

değerlerinde bir artış eğiliminin söz konusu olduğu söylenebilir. Elde edilen en iyi sonucu, % 92,14 rölaf yoğunluk ve $6,27 \pm 1,54$ GPa mikrosertlik değerlerine sahip olan 6 sa mekanik alaşımlanmış ve sinterlenmiş $W1Ni-3TiB_2-1La_2O_3$ kompozisyonunun sağladığı görülmüştür. Konu ile ilgili yayınlanan bir çalışmada, 6 sa mekanik alaşımlanmış ve sinterlenmiş $W1Ni$ matris alaşımının % 96,39 rölaf yoğunluk değerine ve $4,08 \pm 0,28$ GPa mikrosertlik değerine sahip olduğu raporlanmıştır [17]. Aynı çalışmada, $W1Ni$ matrisine ağırlık % 0,5 La_2O_3 katkılandırılması ile mikrosertlik değerinin $4,80 \pm 0,23$ GPa'a yükseldiği ve La_2O_3 miktarının ağırlık % 1'e artırılması ile mikrosertliğin $5,24 \pm 0,35$ GPa değerine ulaştığı açıklanmıştır [17]. Literatürdeki bir başka çalışmada, 6 sa MA uygulanmış $W1Ni-3TiB_2$ ve $W1Ni-4TiB_2$ kompozitlerinin sırasıyla $4,54 \pm 0,60$ GPa ve $4,96 \pm 0,35$ GPa mikrosertlik değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir [15]. Bu çalışmalar gözönüne alındığında, $W1Ni$ matrisine ayrı ayrı eklenen TiB_2 ve La_2O_3 takviye partiküllerinin mikrosertlik üzerinde çok olumlu bir

etki yarattığı anlaşılmaktadır. TiB_2 ve La_2O_3 etkisinin birlikte incelendiği bir çalışmada ise, 6 sa MA'lanmış ve sinterlenmiş $W1Ni-2TiB_2-yLa_2O_3$ ($y=0,5$ ve 1) kompozitlerinin sırasıyla $4,60 \pm 0,44$ GPa ve $5,34 \pm 0,18$ GPa mikrosertlik değerlerine sahip olduğu açıklanmıştır [14]. Bu çalışmada, 6 sa MA ve sinterleme uygulanmış numunelerde elde edilen mikrosertlik değerleri de, literatürdeki çalışmalarda raporlanan değerlerin üzerinde elde edilmiştir. Ayrıca, literatürde, toz metalurjisi yöntemleri ile üretilen $W1Ni$ -ağırlık % 1 x-ağırlık % 2 y ($x=La_2O_3$ ve Y_2O_3 ; $y=CrB_2$, HfB_2 ve ZrB_2) ve $W1Ni$ -ağırlık % 2 ZrC -ağırlık % 1 Y_2O_3 kompozitlerinin rölaf Arşimet yoğunluk ve mikrosertlik değerlerinin % 88-98 ve 6-7 GPa aralıklarında olduğu raporlanmıştır [6, 23]. Kompozitin bünyesinde $NiTi$ ve W_2B gibi intermetalik bir faz oluşmasına izin verilmeksizin, uygun sürelerde yapılan MA prosesi ve uygun miktarlarda ilave edilen TiB_2 takviye elemanı, yoğunluk ve sertlik gibi temel kompozit özellikleri için daha olumlu sonuçlar vermektedir [3, 6, 13-15].

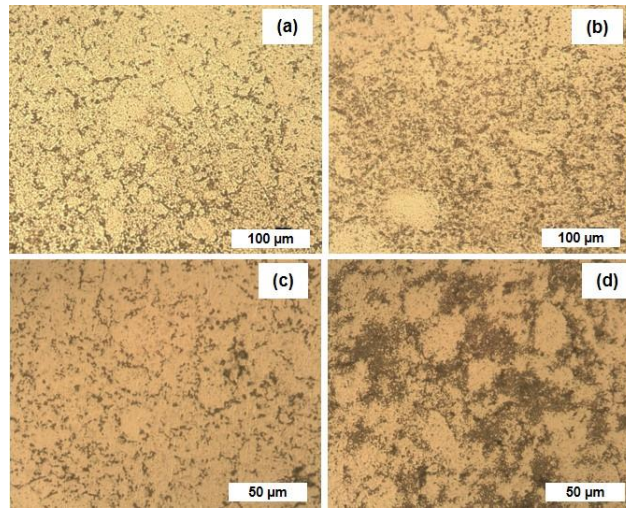
Tablo 2. Karıştırılmış (0 sa MA), 6 ve 12 sa mekanik alaşımlanmış ve sinterlenmiş $W1Ni-xTiB_2-yLa_2O_3$ ($x=3$ ve 4 ; $y=0,5$ ve 1) kompozitlere ait yoğunluk ve mikrosertlik değerleri.

Numune Adı		Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	Rölaf Arşimet Yoğunluğu (%)	Vickers Mikrosertlik (GPa)
$W1Ni-3TiB_2-0,5La_2O_3$	0 sa MA		89,34	$3,10 \pm 0,83$
	6 sa MA	17,24	90,64	$5,58 \pm 0,50$
	12 sa MA		92,24	$4,52 \pm 0,53$
$W1Ni-3TiB_2-1La_2O_3$	0 sa MA		85,74	$4,28 \pm 0,36$
	6 sa MA	17,10	92,14	$6,27 \pm 1,54$
	12 sa MA		92,48	$6,07 \pm 1,38$
$W1Ni-4TiB_2-0,5La_2O_3$	0 sa MA		73,45	$4,75 \pm 0,30$
	6 sa MA	16,76	83,25	$6,71 \pm 0,80$
	12 sa MA		85,29	$4,74 \pm 0,59$
$W1Ni-4TiB_2-1La_2O_3$	0 sa MA		72,77	$4,75 \pm 0,48$
	6 sa MA	16,62	85,59	$5,88 \pm 0,55$
	12 sa MA		86,67	$5,12 \pm 0,82$

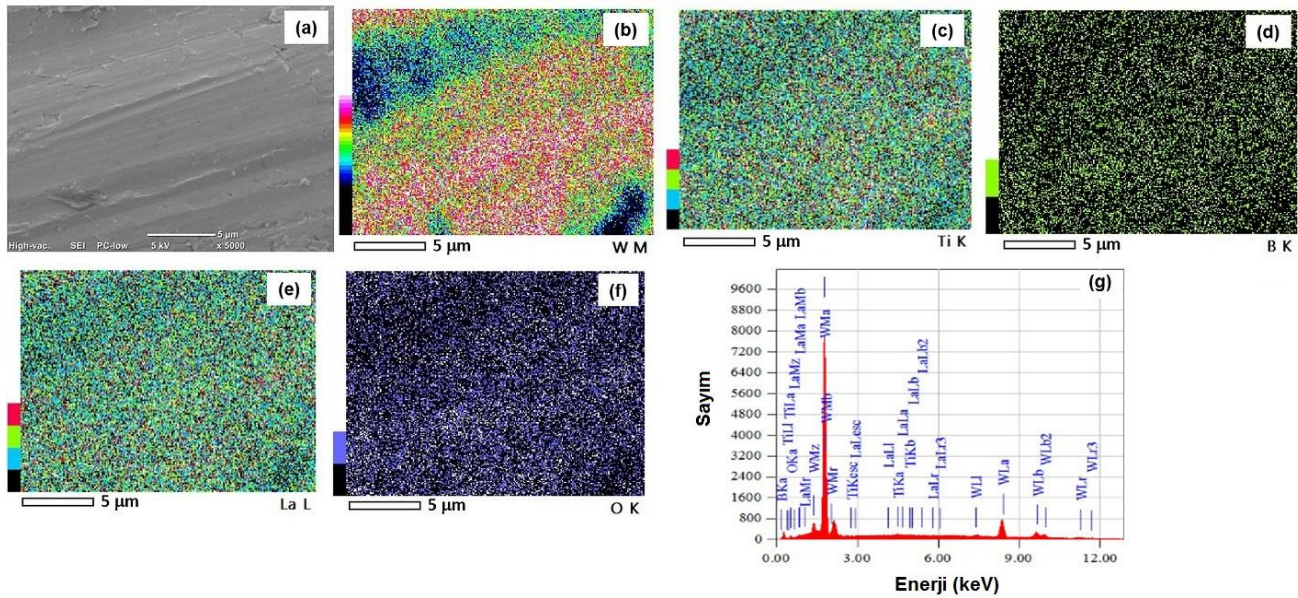
Şekil 7(a)-(d)'de 12 sa mekanik alaşımlanmış ve sinterlenmiş $W1Ni-xTiB_2-yLa_2O_3$ ($x=3$ ve 4 ; $y=0,5$ ve 1) kompozit numunelerin OM görüntüleri sunulmuştur. TiB_2 miktarının artması ile (Şekil 7(a) ile (c) ve Şekil 7(b) ile (d) karşılaştırıldığında) mikroyapıda çok önemsenicek bir değişiklik görünmemektedir. Artan La_2O_3 katkısının faz dağılımlarına etkisi karşılaştırıldığında (Şekil 7(a) ile (b) ve Şekil 7(c) ile (d)), ağırlık % 0,5 La_2O_3 katkılı kompozitlerin mikroyapılarındaki bazı bölgelerde partikül kümelenmeleri görüne de, bu numunelerin daha iyi bir dağılıma sahip olduğu ve ağırlık % 1 La_2O_3 içeren numunelerde ikincil fazların kümelenmeye/topaklanmaya daha çok eğilimli olduğu görülmektedir.

Şekil 8(a)-(g)'de karıştırılmış (0 h MA) ve sinterlenmiş

$W1Ni-3TiB_2-1La_2O_3$ kompozit numunesine ait SEM görüntüsü, elementel haritalamaları ve alansal EDS analiz sonucu verilmektedir. SEM analizi ikincil elektron görüntüleme tekniği ile gerçekleştirilmiş olup, yığın yapıya getirilmiş tam sinter görüntüsü sunmaktadır. Yapıda bulunan W matrisin ve TiB_2 ve La_2O_3 partiküllerinin dağılımı, Şekil 8(b)-(f)'de sunulan elementel haritalamalardan açıkça görülmektedir. MA uygulanmadan sinterlenmiş numunede partikül takviyeleri homojen olarak dağıtılamadığından dolayı, W haritalamasında heterojenlik söz konusudur (Şekil 8(b)). Numunenin EDS spektrumunda (Şekil 8(g)) ise W elementine ait şiddetli pikler ve düşük şiddette Ti , B , La ve O elementlerine ait pikler saptanmıştır. Şekil 3(a)'daki toz SEM görüntüsünden alınan EDS spektrumunda (Şekil 3(b)) olduğu gibi Ni elementine ait pikler saptanamamıştır.



Şekil 7. 12 sa mekanik alaşımlanmış ve sinterlenmiş W1Ni-xTiB₂-yLa₂O₃ (x=3 ve 4; y=0,5 ve 1) kompozitlerin optik mikroskop (OM) görüntüleri: (a) W1Ni-3TiB₂-0,5La₂O₃, (b) W1Ni-3TiB₂-1La₂O₃, (c) W1Ni-4TiB₂-0,5La₂O₃ ve (d) W1Ni-4TiB₂-1La₂O₃.



Şekil 8. Karıştırılmış (0 sa MA) ve sinterlenmiş W1Ni-3TiB₂-1La₂O₃ kompozit numunesine ait SEM/EDS analizi: (a) SEM görüntüsü, (b-f) W, Ti, B, La ve O elementel haritaları, ve (g) alansal EDS analizi.

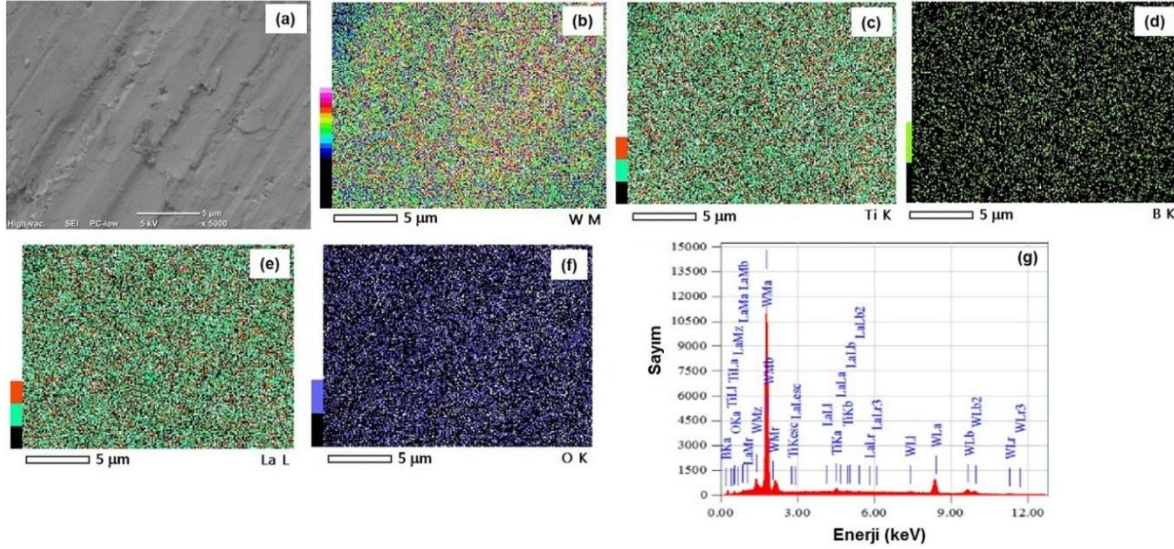
Şekil 9(a)-(g)'de 12 sa mekanik alaşımlandırılmış ve sinterlenmiş W1Ni-3TiB₂-1La₂O₃ kompozit numunesine ait SEM görüntüsü, elementel haritalamaları ve aynı görüntünün EDS spektrum analizi verilmektedir. Şekil 9(b)-(f)'deki elementel haritalar incelendiğinde, takviye elemanlarının yapı içerisinde homojen olarak dağıtıldığı ve W matrisinin de homojen bir dağılım sergilediği gözlemlenmektedir. Şekil 9(g)'deki EDS spektrumunda ise, şiddetli W pikleri ve düşük şiddette Ti, B, La ve O pikleri saptanmıştır. Şekil 8(b)-(f) ve 9(b)-(f) birbiriyle karşılaştırıldığında, mekanik alaşımlamanın kompozit ürünler üzerindeki olumlu etkisi açığa çıkmaktadır. 12 sa mekanik alaşımlanarak sinterlenmiş numunenin mikroyapısında önemli bir iyileşme görülmüştür. TiB₂ ve La₂O₃ takviye elemanları yapı içerisinde homojen olarak

dağıtılmıştır. Bu durum, mekanik alaşımlandırma yapılarak sinterlenmiş numunelerin, karışım numunelere kıyasla yoğunluk ve mikrosertlik değerlerindeki artışın nedenini açıklamaktadır (Tablo 2).

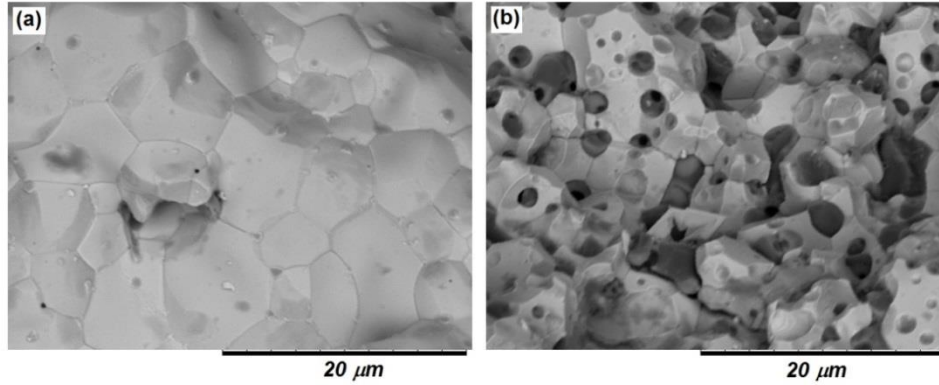
Analizler neticesinde, en iyi yoğunluk ve mikrosertlik korelasyonunun 6 sa mekanik alaşımlanmış ve sinterlenmiş W1Ni-3TiB₂-1La₂O₃ kompozisyonu için elde edildiği anlaşılmıştır. Bu numuneye ait yüzeylerin detaylı SEM görüntüleri Şekil 10(a) ve (b)'de verilmektedir. Sinterleme sonrası, yüzeye metalografik işlemler uygulanmadan alınan SEM görüntüsü (Şekil 10(a)), farklı boyutlardaki taneleri (< 3 μm) ve tane sınırlarını ve tane sınırlarına veya tane içlerine çöken TiB₂ ve La₂O₃ takviye partiküllerini açıkça göstermektedir. Şekil 10(b)'de ise numuneye ait kırık yüzey

SEM görüntüsü verilmektedir. W1Ni matris boyunca, tane sınırları ve tane içlerinde bulunan 2 μm boyutundan küçük TiB_2 ve La_2O_3 partikülleri görünmektedir. Benzer mikroyapılar literatürdeki çalışmalarda da elde edilmiştir

[15, 17]. Ayrıca, mikroyapıda büyütme limitleri dahilinde kaydadeğer bir porozite bulunmaması, numunenin yoğunluk ve mikrosertlik değerleri ile örtüşmektedir.



Şekil 9. 12 sa mekanik alaşımlanmış ve sinterlenmiş W1Ni-3TiB₂-1La₂O₃ kompozit numunesine ait SEM/EDS analizi: (a) SEM görüntüsü, (b-f) W, Ti, B, La ve O elementel haritaları, ve (g) alansal EDS analizi.



Şekil 10. 6 sa mekanik alaşımlanmış ve sinterlenmiş W1Ni-3TiB₂-1La₂O₃ kompozit numunesine ait SEM görüntüleri: (a) sinter sonrası yüzey ve (b) kırık yüzey.

Bu çalışma kapsamında mekanik alaşımlama ve aktifleştirilmiş sinterleme yöntemleriyle üretilmiş, TiB_2 ve La_2O_3 partikülleri ile takviye edilmiş W matrisli kompozitler, farklı kullanım alanlarında değerlendirilmek üzere geliştirilecek olan farklı kompozisyonlardaki takviye elemanları ile katılandırılmış W matrisli kompozitler için detaylı bir ön bilgi oluşturacaktır. Mekanik alaşımlama ile W1Ni matrisine katılandırılan TiB_2 ve La_2O_3 takviye elemanlarının homojen partikül boyut dağılımı, yoğunluk ve sertlik gibi bazı toz ve sinter özelliklere belirli aralıklar dahilinde katkı sağladığı anlaşılmıştır. Genel anlamda da, hem mekanik alaşımlama yönteminin hem de seramik esaslı takviye edici partiküllerin birlikte kullanımının sinter bünyelerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde olumlu etkiler yapacağı öngörülmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, TiB_2 ve La_2O_3 katkıları ile beraber mekanik alaşımlama süresinin W esaslı kompozitler üzerindeki etkileri mikroyapısal ve sertlik özellikleri bakımından incelenmiştir. Artan TiB_2 ve La_2O_3 katkılarının ortalama kristalit boyutları ve kafes deformasyonları üzerinde kayda değer bir etkisi bulunmamış, fakat artan mekanik alaşımlama süresinin ortalama kristalit boyutunu azalttığı ve kafes deformasyonunu arttırdığı gözlenmiştir. Sinterleme sonrası tüm kompozitlerde, NiTi faz oluşumuna rastlanmıştır. Ağ.% 3 ve 4 miktarındaki TiB_2 ve ağ.% 1 miktarındaki La_2O_3 katkılarının birlikte kullanımı sinterlenme sonrasında, W₂B faz oluşumuna neden olmuştur. Mekanik alaşımlama uygulanmamış ve sinterlenmiş kompozitlere kıyasla, mekanik alaşımlamanın kompozitlerin rölatif yoğunlukları

ve mikrosertlik değerleri üzerinde önemli bir katkısı olduğu görülmüştür. Ayrıca, mekanik alaşımlama uygulanmamış ve uygulanmış kompozitler birbiriyle karşılaştırıldığında, 12 sa mekanik alaşımlanarak sinterlenmiş numunenin mikroyapısında önemli bir iyileşme görülmüştür: TiB_2 ve La_2O_3 takviye elemanları yapı içerisinde homojen olarak dağıtılmıştır. Elde edilen en iyi sonuç, 6 sa mekanik alaşımlama uygulanmış ve sinterlenmiş olan $W1Ni-3TiB_2-1La_2O_3$ kompozisyonuna ait % 92,14 rölaf yoğunluk ve $6,27 \pm 1,54$ GPa mikrosertlik değerleri olarak saptanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen 110M130 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

REFERANSLAR

- [1] E. Lassner and W. D. Schubert, *Tungsten: Properties, Chemistry, Technology of the Element, Alloys and Chemical Compounds*, New York: Kluwer Academic, 1999.
- [2] W. Song and Y. Zhou, "Thermomechanical properties of TiC particle-reinforced tungsten composites for high temperature applications", *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.*, vol. 21, pp. 1-12, March 2003.
- [3] A. Genç, S. Coşkun and M. L. Öveçoğlu, "Microstructural characterizations of Ni activated sintered W-2 wt% TiC composites produced via mechanical alloying", *J. Alloys Compd.*, vol. 497, no 1-2, pp. 80-89, May 2010.
- [4] T. Tanabe, M. Wada, T. Ohgo, V. Philipps, M. Rubel, A. Huber, J. Seggernd, K. Ohya, A. Pospieszczykd, B. Schweerd, Textor team, "Application of tungsten for plasma limiters in TEXTOR", *J. Nucl. Mater.*, vol. 283-287, pp. 1128-33, December 2000.
- [5] M. A. Monge, M. A. Auger, T. Leguey, Y. Ortega, L. Bolzoni, E. Gordo and R. Parejaa, "Characterization of novel W alloys produced by HIP", *J. Nucl. Mater.*, vol. 388, pp. 613-7, April 2009.
- [6] D. Ağaoğulları, Ö. Balcı, H. Gökçe, M. L. Öveçoğlu and İ. Duman, "Comparative investigations of the activated sintered W-1 wt.% Ni composites reinforced with various oxide and boride particles", *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.*, vol. 41, pp. 577-584, November 2013.
- [7] C. Li and R. M. German, "The properties of tungsten processed by chemically activated sintering", *Metall. Trans. A*, vol. 14, no 10, pp. 2031-2041, October 1983.
- [8] R. M. German and Z. A. Munir, "Enhanced low-temperature sintering of tungsten", *Metall. Mater. Trans. A*, vol. 7, pp. 1873-1877, December 1976.
- [9] H. W. Hayden and J. H. Brophy, "The activated sintering of tungsten with Group VIII elements", *J. Electrochem. Soc.*, vol. 110, no 7, pp. 805-810, February 1963.
- [10] S. W. Kim, S. I. Lee, Y. D. Kim and I. H. Moon, "High temperature compressive deformation and fracture characteristics of the activated sintered W-Ni compacts", *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.*, vol. 21, pp. 183-192, May 2003.
- [11] Y. Chen, Y. C. Wu, F. W. Yu and J. L. Chen, "Microstructure and mechanical properties of tungsten composites co-strengthened by dispersed TiC and La_2O_3 particles", *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.*, vol. 26, pp. 525-529, November 2008.
- [12] T. Zhang, Y. Wang, Y. Zhou and G. Song, "Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of ZrC particles reinforced tungsten-matrix composites", *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 512, no 1-2, pp. 19-25, June 2009.
- [13] A. Genç, S. Coşkun and M. L. Öveçoğlu, "Fabrication and properties of mechanically alloyed and Ni activated sintered W matrix composites reinforced with Y_2O_3 and TiB_2 particles", *Mater. Charact.*, vol. 61, no 7, pp. 740-748, July 2010.
- [14] H. Gökçe, Ö. Balcı, D. Ağaoğulları, Ö. U. Demirkan, A. Genç, M. L. Öveçoğlu and İ. Duman, "Characterization investigations of W-Ni matrix composites reinforced with TiB_2 and La_2O_3 ", *Acta Phys. Pol. A*, vol. 123, no 2, pp. 309-11, April 2013.
- [15] D. Ağaoğulları, Ö. Balcı, Ö. U. Demirkan, H. Gökçe, A. Genç, M. L. Öveçoğlu and İ. Duman, "Development of mechanically alloyed and sintered W-1 wt.% Ni matrix composites reinforced with TiB_2 ", *Solid State Phenomena*, vol. 194, pp. 194-198, November 2013.
- [16] Y. M. Kim, K. H. Lee, E. P. Kim, D. Cheong and S. H. Hong, "Fabrication of high temperature oxides dispersion strengthened tungsten composites by spark plasma sintering process", *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.*, vol. 27, pp. 842-846, September 2009.
- [17] Ö. Balcı, Ö. U. Demirkan, D. Ağaoğulları, H. Gökçe, A. Genç, M. L. Öveçoğlu and İ. Duman, "Effects of La_2O_3 addition on the microstructure and properties of activated sintered W-Ni compacts", *Solid State Phenomena*, vol. 194, pp. 217-221, March 2013.
- [18] M. Mabuchi, K. Okamoto, N. Saito, T. Asahina and T. Igarashi, "Deformation behavior and strengthening mechanisms at intermediate temperatures in W- La_2O_3 ", *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 237, pp. 241-249, September 1997.
- [19] J. Castaing and P. Costa, *Boron and Refractory Boride*, 1st edition, New York: Springer-Verlag, Berlin 1977.
- [20] R. G. Munro, "Material properties of titanium diboride", *J. Res. Nat. Inst. Stand.*, vol. 105, no 5, pp. 709-720, July 2000.
- [21] R. M. German, *Powder Metallurgy Science*, 2nd edition, NJ: Metal Powder Industries Federation, Princeton, 1994.
- [22] C. Suryanarayana, "Mechanical alloying and milling", *Prog. Mater. Sci.*, vol. 46, no 1-2, pp. 1-184, January 2001.
- [23] D. Ağaoğulları, Ö. Balcı, M. L. Öveçoğlu, "Effect of milling type on the microstructural and mechanical properties of W-Ni-ZrC- Y_2O_3 composites", *Ceram. Int.*, vol. 43, no 9, pp. 7106-7114, June 2017.
- [24] C. Suryanarayana and M. G. Morton, *X-ray diffraction: A Practical Approach*, New York: Plenum Press, 1998.

Kaya Gazı Ekstraksiyonu ve Kaya Gazı Atıksuyunun Arıtımı

*¹Hanife Sarı Erkan, ¹Nouha Bakaraki Turan, ¹Güleda Önkall Engin

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34220, Davutpaşa, Esenler, İstanbul, Türkiye,

hsari@yildiz.edu.tr, 

nahnoouha87@hotmail.com, 

gengin@yildiz.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 02.04.2018

Kabul Tarihi: 16.11.2018

Öz

Günümüzde kaya gazı yeni bir enerji kaynağı olarak ele alınmakta ve kaya gazı ekstraksiyonuna yönelik araştırmalar tüm dünyada hız kesmeden devam etmektedir. Düşey ve yatay sondajın birlikte kullanıldığı ekstraksiyon çalışmalarında kaya gazının açığa çıkarılabilmesi için kaya formlarına yüksek hacimlerde basınçlı su enjekte edilmektedir. Kaya formlarına enjekte edilen suyun geri çekilmesi ile kullanılan suyun yaklaşık %10'u ila %80'i atıksu olarak karşımıza çıkmaktadır. Oluşacak atıksu hacmini minimize edebilmek için kaya gazı atıksuyunun ön arıtımı yapılarak ekstraksiyon çalışmalarında yeniden kullanımı son derece önemlidir. Diğer yandan kaya gazı atıksuyu yüksek miktarlarda toplam çözünmüş katı madde, ağır metal, hidrokarbon ve organik madde içerir ve bu nedenle atıksuyun deşarj edilmeden önce arıtılması gerekmektedir. Bu derleme çalışmasında kaya gazı ekstraksiyonunda kullanılan yöntemler ve ekstraksiyon esnasında üretilen atıksuyun özellikleri ve arıtım metodları irdelenmiştir. Kaya gazı atıksuyunun mekanik buhar kompresyonu ile buharlaştırılması, membran distilasyonu, ters ozmos, ileri ozmos, ileri kimyasal arıtma yöntemleri ve biyolojik arıtma yöntemleri ile arıtılabilirliği araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kaya gazı ekstraksiyonu, kaya gazı atıksuyu, membran prosesler, ileri arıtma prosesleri, biyolojik arıtma

Shale Gas Extraction and Treatment of Shale Gas Wastewater

*¹Hanife Sarı Erkan, ¹Nouha Bakaraki Turan, ¹Güleda Onkal Engin

¹Yildiz Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Environmental Engineering, 34220, Davutpaşa, Esenler, İstanbul, Türkiye, hsari@yildiz.edu.tr, nahnoouha87@hotmail.com, gengin@yildiz.edu.tr

Abstract

Nowadays, shale gas is considered as a new source of energy and researches on shale gas extraction continue to increase all over the world. Shale gas extraction uses high volumes of pressurized water which are injected in the shale rock during the horizontal and vertical drilling. About 10% to 80% of the water injected into the rock forms returns back and emerges as wastewater. In order to minimize the volume of generated wastewater, a pre-treatment of shale gas wastewater is on a great importance making their reuse possible in extraction studies. On the other hand, shale gas wastewater contains the high amounts of total dissolved solids, heavy metals, hydrocarbons, and organic matter and it must be treated before being discharged. In this review, shale gas extraction methods, the properties and treatment methods of the wastewater produced during extraction were examined. The treatability of shale gas wastewater by evaporation with the mechanical vapor compression, membrane distillation, reverse osmosis, forward osmosis, advanced chemical treatment methods, and biological treatment methods have been investigated.

Keywords: Shale gas extraction, shale gas wastewater, membrane processes, advanced treatment processes, biologic treatment

1. GİRİŞ

Dünya genelinde toplam birincil enerji kaynaklarından olan doğal gaz (%21,3), petrol (%31,5) ve kömür (%28,8) üç ana fosil yakıt türüdür [1]. Doğal gaz, ulaşım, ısınma ve elektrik üretiminde kullanılan çevre dostu bir kaynaktır ve küresel enerji marketinde anahtar rol oynamaktadır [2, 3]. Kaya gazı konvansiyonel olmayan doğal gaz olarak karşımıza çıkmaktadır. Kaya gazı rezervuarlarında doğal gazın tutulması jeoloji ve geçirimsizlik gibi özelliklere ve gazın hareketinin engellenmesine bağlıdır [4-7]. Şeyl kaya formasyonu organik açıdan oldukça zengindir ve ince damarlı çökelmiş kayalardır. Sedimentlerin birikimi ve basınçlı sıkışma şeyl kayalarının ince tabaka bileşenlerini oluşturur. Kaya gazı, kaya formasyonunda organik çökelmelerin ve maddelerin anaerobik bozunmasıyla oluşan doğal bir gaz formudur [8]. Şeyl kayaları geçirimsizdir ve kayalarda gazın hareketinin oldukça fazla engellenmesi ve hapsedilmesi söz konusudur [9].

2000'li yılların başlangıcından beri yatay sondaj ve hidrolik çatlatma yöntemi kullanılarak elde edilen kaya gazı, dünya genelinde doğal gaz ve petrol fiyatlarında düşüşlere yol açmıştır. İlk olarak Amerika'da başlayan kaya gazı ekstraksiyonu hızla diğer ülkelerde de öncelikli araştırma planlarına dâhil edilmiştir ve Amerika'nın ardından İngiltere, Polonya ve Çin'de de kaya gazı ekstraksiyonu desteklenmeye başlanmış ve araştırmalar hızla artış göstermiştir. Günümüzde Türkiye'de de kaya gazı rezervuarlarının olduğu tespit edilmiş olup, araştırmalar Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) öncülüğünde devam etmektedir. Kaya gazı, doğal bir gaz olarak dünya genelinde yeni bir enerji kaynağı olarak heyecan uyandırmakla birlikte çevresel açıdan atmosferik kirlilik, hava kalitesi, su kirliliği, trafik ve gürültü kirliliği gibi pek açıdan riskler oluşturmaktadır [9]. Ekstraksiyonun hidrolik çatlatma aşamasında ihtiyaç duyulan milyonlarca litre su, su yönetimi açısından en önemli bir konudur.

Kaya gazı atıksuyu yüksek konsantrasyonlarda toplam çözünmüş katı madde (TÇM), hidrokarbonlar, metaller ve organik bileşenler içerir. Ekstraksiyon aşamasında kullanılan su, ön arıtım prosesleri ile arıtılarak tekrar kullanılabilir. Diğer yandan üretilen atıksu hacmini azaltmak için su yerine alternatif çatlatma sıvıları kullanılabilir. Tüm bu atıksu önleme ve minimizasyon çabalarına rağmen en yaygın kullanılan çatlatma sıvısı su olduğu için kaya gazı ekstraksiyonunda fazla miktarda su kullanımının önüne geçilememektedir. Üretilen kaya gazı atıksuyunun direkt olarak alıcı ortama veya kanalizasyona deşarjı içerdiği yüksek konsantrasyonlardaki kirleticilerden dolayı söz konusu değildir. Kaya gazı atıksuyu mekanik buhar kompresyonu ile buharlaştırma, membran distilasyonu, ters ozmos, ileri ozmos ve ileri kimyasal arıtma yöntemleri ile arıtılabilir. Kentsel ve endüstriyel atıksu arıtımında ilk aşamada akla gelen biyolojik atıksu arıtma yöntemleri ile kaya gazı atıksuyunun arıtımı yüksek TÇM konsantrasyonundan dolayı kısıtlı olsa da aktif çamur

prosesleri ile arıtımı da araştırılmıştır. Kaya gazı atıksuyunun arıtımında henüz araştırma aşamasında olan bir diğer arıtma metodu ise mikrobiyal kapasitif desalinasyon hücreleri ile üretilen atıksuyun tuzsuzlaştırılmasıdır.

Bu çalışmada tüm dünyada yeni bir enerji kaynağı olarak araştırılmaya devam eden kaya gazının ekstraksiyonu ve ekstraksiyon aşamasında oluşan atıksuların yönetimi ve arıtımı incelenmiştir. Çalışmanın ana hedefi, ülkemizde son birkaç yıldır özellikle Güneydoğu Anadolu havzasında araştırılan kaya gazının ekstraksiyonu aşamasında oluşacak atıksuyun arıtımının gerekliliğine dikkat çekmektir. Bu yönüyle çalışma bu konuda ülkemizde yapılmış ilk çalışma olma niteliğindedir.

2. KAYA GAZI REZERVUARLARI VE EKSTRAKSİYONU

2.1. Dünya'daki kaya gazı rezervuarları

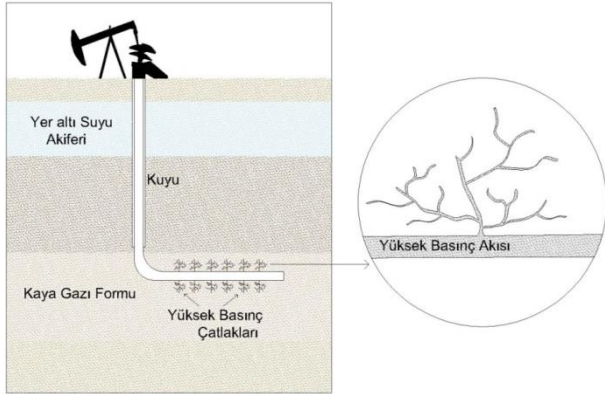
Enerji Bilgi Ajansı'nın (Energy Information Agency (EIA)) yayınlamış olduğu rapora göre kaya gazı ve kaya petrol kaynaklarının tespitine ve çıkarılmasına 41 ülkede devam edilmektedir. Çin'in 31,6 trilyon metre küp rezervuara sahip olduğu ve aynı zamanda dünyadaki en yüksek geri kazanım oranına sahip olduğu bildirilmiştir. Arjantin ikinci bölge iken (22,7), Cezayir (20,0), Amerika (18,8), Kanada (16,2), Meksika (15,4), Avustralya (12,4), Güney Afrika (11,0), Rusya (8,1) ve Brezilya (6,9) sırasıyla diğer rezervuarlara sahiptir. Güney Amerika, Polonya, İngiltere, İspanya, Doğu ve Batı Avrupa, Fas, Tunus, Libya, Mısır, Moğolistan, Tayland, Endonezya, Hindistan, Pakistan, Ürdün ve Türkiye 43,5 trilyon metre küp toplam kaya gazı rezervuarına sahiptir [7, 10]. Türkiye'de iki ana kaya gazı havzası bulunmaktadır. Bunlar, Türkiye'nin Avrupa yakasındaki Trakya havzası ve güneydoğusundaki Anadolu havzasıdır. Diğer yandan Karadeniz havzası ve Akdeniz bölgesinde de araştırmalar hâlâ devam etmektedir [11, 12]. Uzmanlar, Türkiye'deki toplam gaz rezervuarının en fazla 20 trilyon metre küp olduğunu tahmin etmektedirler [13].

2.2. Kaya Gazı Ekstraksiyonu

Kaya gazı ekstraksiyonu ilk olarak 1945 yılında Nagasaki'de şeyl formasyonuna atom bombası atıldığında gerçekleşmiştir ve bu durum doğal gazın serbest kalmasını sağlamıştır. Ekstrakte edilen doğal gazın kaliteli yüksek radyoaktif ve Rulison içerdiği tespit edilmiştir. Zamanla daha az tehlikeli ekstraksiyon teknolojileri bulunmuştur [14]. Günümüzde kaya gazı ekstraksiyonunda yatay sondaj ve hidrolik çatlatma teknolojilerinin kombinasyonu, yüksek hacimlerde kaya gazının alınmasına olanak sağladığı için kullanılmaktadır (Şekil 1) [15,16].

Yatay sondaj kaya özellikleri ile maksimum teması ve kaya içlerinde metrelerce dikey maksimum penetrasyonu sağlamaktadır. Kaya gazı yüksek konsantrasyonda bulunan rezervuarlar için sismik araştırma taramaları yapılmakta ve taramalardan elde edilen görüntüler kullanılmaktadır. Bu

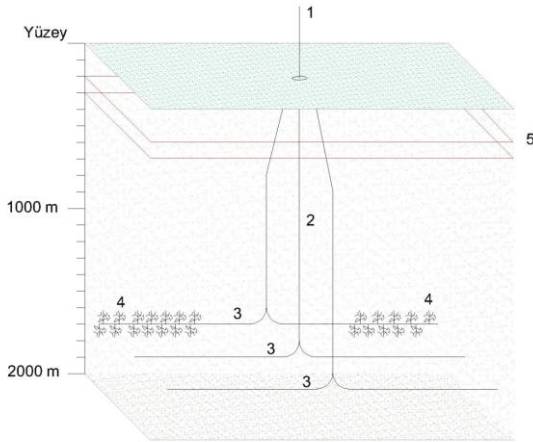
görüntüler sondaj yapılacak zonların seçilmesine yardım etmektedir.



Şekil 1. Kaya gazının elde edilmesine dair şematik gösterim

Kaya özelliklerinde maksimum nüfuzdan emin olmak ve maksimum kaya gazı hacmine ulaşmak için düşey sondaj sonrasında yatay sondaja geçilmelidir [8]. Yatay sondaj teknolojisi dikey sondaja göre daha maliyetli olmasına rağmen bir yatay sondaj ile pek çok dikey kuyunun verimine ulaşılmaktadır [8,17].

Bu yüzden düşey sondaj yerine yatay sondaj kullanılması çok daha makul ve uygulanabilir. Sondaj yapıldığında, ekstraksiyon prosesi hidrolik çatlatma uygulanarak devam eder. Hidrolik çatlatma yüksek miktarlarda çatlatma sıvısının (genellikle su) (10-50 m³/kuyu) yüksek akış hızında ve yüksek basınçta yatay kuyuya enjeksiyonudur (Şekil 2). Bu enjeksiyon ile çok yüksek basınç sağlanır ve kayaların gerilmesine ve diğer tektonik kuvvetlere yol açarak kayanın çatlamasına ve oyuk formu oluşmasına sebep olur. Çoğunlukla propant gibi bazı çatlatma materyalleri çatlatma sıvısına eklenir ve kaya çatlaklarının açık kalması sağlanır ve böylece kaya gazı elde edilir [8]. Yüzey aktif maddeler, inhibitörler, pH ayarlayıcı ajanlar, korozyon inhibitörleri ve biyositler de çatlatma sıvısına eklenebilmektedir [18-21].



Şekil 2. Kaya gazı ekstraksiyonunda çoklu kuyu tekniğinin şematik gösterimi, (1) kuyu başı, (2) dikey kuyular, (3) yatay sondaj, (4) çatlaklar, (5) yüzlerce metre derinlikteki akifer

Hidrolik çatlatma prosesi boyunca 3 milyon ile 4 milyon galon arasında yüksek hacimlerde su kullanılmaktadır. Kullanılan su çoğunlukla diğer çatlatma maddeleri ile karışık haldedir [9]. Çatlatma maddeleri suya %1 oranında düşük miktarlarda eklenir ve kuartz ve seramik gibi dolgu maddelerinden oluşur. Çatlatma materyali ile basınç uygulaması sonlandırıldıktan sonra çatlakların bir süre daha açık kalması sağlanır. Aynı zamanda çatlakların açık kalması H₂S üretimi yapan mikrobiyal çoğalmanın da biosit uygulanmasıyla önlenmesine olanak sağlar ve böylece ekstrakte edilen doğal gazın ve diğer kimyasal katkı maddelerinin kontamine olması engellenmiş olur [8, 22].

Hidrolik çatlatma aşamasında kullanılan hidrolik çatlatma sıvısı %10 ila %80 oranında yüzeye fazla hacimde atıksu olarak geri döner ve bu atıksuyun deşarj edilmeden veya tekrar kullanılmadan önce arıtılması gerekmektedir [22].

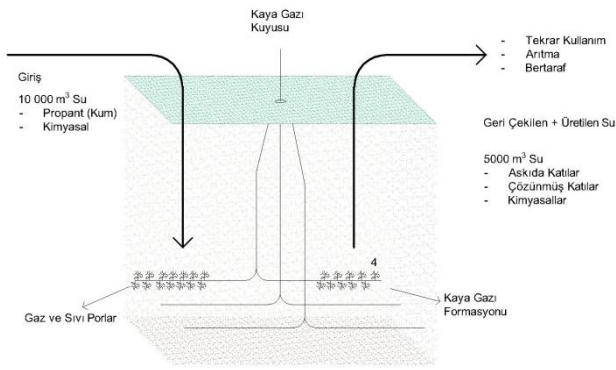
2.3. Kaya gazı ekstraksiyonunda çevresel riskler

Kaya gazı ekstraksiyonu boyunca fazla miktardaki su kullanımından ve çatlatma sıvısında bulunan toksik kimyasal ve katkı maddelerinden dolayı, kaya gazı ekstraksiyonu istenmeyen çevresel etkilere yol açmakta, su ve hava kalitesini değiştirerek insan sağlığı ve bitki yaşamını etkilemektedir. Sera gazı emisyonları da kaya çatlatma prosesleri esnasında zaman zaman atmosfere yayılmakta ve küresel ölçekte çevre ve iklim değişikliğini etkilemektedir [23]. Diğer yandan kaya gazı araştırma çalışmalarında düşük şiddetli depremler meydana gelebilmekte, ancak bu depremler çoğunlukla insan yaşamını olumsuz etkilememektedir [24]. Çevresel riskler lokasyona, bölgenin jeolojisine ve prosesin süresine bağlıdır ve bu nedenle özel çevresel değerlendirmeler ve düzenlemelere ihtiyaç duyulmaktadır [25].

3. KAYA GAZI EKSTRAKSİYONUNDA OLUŞAN ATIKSULAR

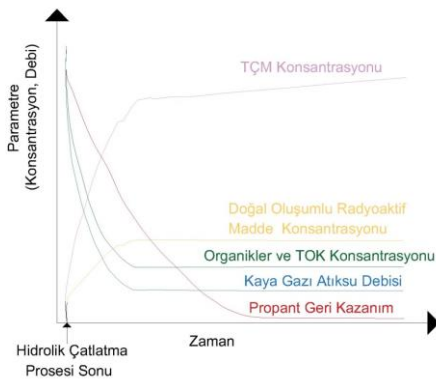
3.1. Kaya gazı atıksuyunun özellikleri

Kaya gazı çıkarılması esnasında üç çeşit atıksu oluşumu söz konusudur ve bunlar, sondaj çamurları (drilling mud), geri çekilen su (flowback) ve üretilen tuzlu sudur (brine). Sondaj çamurları genellikle sondaj esnasında sondaj ekipmanlarını soğutmak ve yağlamak için kullanılır. Sondaj çamurları yüksek yoğunluklu ve kil açısından zengin atıksulardır. Sondaj çamuru atıksuyu hacmi diğer atıksu türlerine göre nispeten düşük hacimdedir. Flowback, üretim için kuyu açıldıktan hemen sonra yüzeye geri gönderilen atıksudur. Flowback yüksek toplam çözünmüş katı madde (TÇM), hidrokarbonlar, metaller, organik bileşenler ve radyonüklidler içerir. Son atıksu türü olan tuzlu atıksu ise kuyudan üretim yapılmaya başlandıktan sonra uzun bir süre sonrasında yüzeye çekilen atıksudur (Şekil 3). Tuzlu atıksuyun üretilmesi ve yüzeye geri çekilmesi zaman aldığı için kaya formasyonu ile çok uzun süre temas etmektedir [7].



Şekil 3. Kaya gazının ekstraksiyonu esnasında oluşan atıksu ve içerdiği temel bileşenler

Kaya gazı atıksuyu genellikle yeraltındaki kaya formasyonlarının yüksek tuzluluğundan kaynaklanan yüksek TÇM konsantrasyonu ile bilinir ve jeolojik şartlara bağlı olmakla birlikte ortalama 100000 mg/L (5000-250000 mg/L) TÇM içerir [26, 27]. Tuz içeren deniz suyu ile kıyaslandığında deniz suyundan yaklaşık 6 kat daha fazla tuz içermektedir. Askıda katı madde (AKM) konsantrasyonu 0-3000 mg/L arasında değişirken, atıksuyun yağ içeriği 5-1000 mg/L aralığındadır. Klorür (3000-200,000 mg/L) ve sodyum (2000-100,000 mg/L) iyonları ana iki iyon olarak kaya gazı atıksuyunda bulunur ve klorür konsantrasyonu kuyunun yaşı arttıkça artış göstermektedir (Şekil 4). Aynı durum sodyum için geçerli değildir, çünkü sodyum ilk başlarda hızlı bir artış gösterirken, ardından uzun vadede sodyum iyonlarının yerini kalsiyum ve magnezyum alır [19, 28, 29]. Potasyum (0-750 mg/L), stronyum (0-5000 mg/L), baryum (0-10000 mg/L), magnezyum (0-2000 mg/L) ve kalsiyum (0-20000 mg/L) atıksuda bulunan diğer iyonlardır [29]. Diğer yandan atıksu sülfat (0-5000 mg/L), karbonat (0-1000 mg/L) ve bikarbonat (100-6000 mg/L) bileşenlerini de içermektedir. İyodür ve amonyum gibi diğer iyonlar ise sırasıyla 56 mg/L ve 420 mg/L konsantrasyonlarında bulunabilirler [30]. Kaya gazı atıksuyunun toplam sertlik seviyesi 10000 ile 55000 mg/L arasında değişmektedir [28]. Yeraltındaki kayalardan ve propantdan dolayı toplam askıda katı konsantrasyonu 300 ile 3000 mg/L arasında değişmektedir [31].



Şekil 4. Hidrolik çatlatma işlemi sonrasında atıksuyun içerdiği bileşenlerin zamanla değişimi

Methanol, isopropanol, naftalin ve diğer bazı kimyasallar çatlatma sıvısına eklendiği için kaya gazı atıksuyunda 0,01 ile 0,25 mg/L konsantrasyonları aralığında bulunabilirler [21]. Bu kimyasallar sebebiyle kaya gazı atıksuyunda TOK, KOİ ve BOİ₅ konsantrasyonları sırasıyla 500 mg/L, 175-21900 mg/L ve 3-2070 mg/L değer aralıklarında değişmektedir [32]. Demir kaya gazı atıksuyunda bulunan en önemli metallerden biridir ve konsantrasyonu maksimum 500 mg/L değerlerine kadar ulaşabilir. Ayrıca ağır metaller de µg/L konsantrasyon biriminde kaya gazı atıksuyunda mevcut olabilir. BTEX (Benzen, Toluene, Etilbenzen ve Ksilen) ise 0-100 mg/L aralığında atıksuda bulunabilmektedir. Son olarak, radyoaktif izotoplar kaya formasyonunda genellikle bulunduğu için radyum izotopu gibi bazı izotoplar da suda çözünerek atıksuda bulunabilir [21]. Kaya gazı atıksuyu aynı zamanda 0-10⁵ MPN/100 mL bakteri de içerebilmektedir [33].

3.2. Kaya gazı atıksuyu arıtım ve bertaraf metotları

Kaya gazı atıksuyunun deniz suyundan yaklaşık 6 kat daha yüksek TÇM seviyesinden dolayı biyolojik atıksu arıtımı yapılan kentsel atıksu arıtma tesislerinde arıtımı mümkün olmayabilmektedir (TÇM: 5000-250000 mg/L) [34]. Daha önce de bahsedildiği gibi çevreyi tehdit eden unsurlardan dolayı kaya gazının etkili ve çevre dostu metotlarla yönetilmesi gerekmektedir. Bu yüzden, kaya gazı atıksuyunun yönetilmesinde endüstriyel atıksu arıtma tesislerine deşarj, yeraltına enjeksiyon ve bertaraf, faydalı tekrar kullanım ve geri kazanım gibi farklı metotlar uygulanmaktadır [35].

3.2.1. Kaya gazı atıksuyunun tekrar kullanımı

Kaya gazı atıksuyunun dahili olarak tekrar kullanımı olası yönetim yollarından biridir. Dahili kullanımda kaya gazı atıksuyu farklı zamanlarda uygulanan hidrolik çatlatma işlemleri boyunca tekrar tekrar kullanılmaktadır. Suyun yeniden kullanımı, temiz su tüketimini minimize etmekte, çevresel negatif etkileri azaltmakta ve arıtma maliyetlerini düşürmektedir. Bu yönetim stratejisi ilk başlarda bölgesel olarak temiz su ulaşılabilirliğinin az olduğu ve başka uygun alternatif bertaraf yöntemlerinin olmadığı yerlerde kullanılmaktaydı [28]. Ancak zamanla en çok tercih edilen yöntem olmuştur. Örneğin Amerika Marcellus havzasında kaya gazı ekstraksiyonunda üretilen suların %90'ı yeniden kullanılmaktadır. Ancak bu atıksulardaki yüksek TÇM konsantrasyonları bazı işletme problemlerine yol açmaktadır. Bu sebeple suyun sıklıkla filtrasyon, graviteli çöktürme veya kimyasal çöktürme gibi yöntemlerle ön arıtımı sağlanarak tekrar kullanım için kalite standartlarının sağlanması gerekmektedir [15, 27, 28].

3.2.2. Yeraltına enjeksiyon ve bertaraf

Kaya gazı atıksuyunun yönetiminde diğer kabul edilebilir metot ise yüksek konsantrasyonlu tuzlu suya rağmen kaya gazının yeraltına enjeksiyonudur. Yeraltına enjeksiyon, sadece yeraltı jeolojisinin ve porozitesinin uygun olduğu

durumlarda uygulanabilir. Çünkü deprem risklerine sebep olabilmektedir [21]. Mekanik buhar kompresyonu ile buharlaştırma, ters ozmos, membran distilasyonu, ileri ozmos ve biyolojik yöntemler gibi teknolojilerle ileri arıtma uygulanarak atıksudaki yüksek TÇM konsantrasyonu düşürülebilir ve böylece arıtılmış atıksuyun tekrar kullanımı veya yeraltına enjeksiyonu yapılarak bertaraf edilebilir [36].

Yeraltına enjeksiyon kaya gazı atıksuyu aşırı kontamine olduğunda yaygın kullanılan bir bertaraf yöntemidir. Klasik olmayan gaz kaynaklarından gelen atıksu, toz çöktürme ve spreyleme amacı ile özel yönetmelikler kapsamında toprağa uygulanabilir [34]. Bu atıksulardaki yüksek TÇM seviyesi bu atıksuların sulama amaçlı kullanımını bitki yaşamına zarar verdiği için uygun kılmanmaktadır [37].

3.2.3. Kaya gazı atıksuyunun ileri arıtma teknolojileri ile arıtımı

Mekanik Buhar Kompresyonu ile Buharlaştırma

Buharlaştırma teknikleri, yüksek TÇM konsantrasyonuna sahip tuzlu su ile temiz suyun buharlaştırarak ayrılmasıdır. Buharlaştırma teknolojileri, farklı dizayn ve işletme stratejileri ile üretilen suyun arıtımı için uygun olmaktadır. Yüksek tuz konsantrasyonuna sahip suların buharlaştırılmasında ısı transferinin optimizasyonu yapılmalıdır. Dikey tüp, düşen film ve mekanik buhar kompresyonu buharlaştırma teknikleri arasındadır [38]. Mekanik buhar kompresyon sisteminde, tüp buharlaştırıcıda aşırı ısıtılmış buhar vasıtasıyla tuzlu suya ısı sağlanmaktadır. Bu sistem enerji gereksinimini minimize etmek için 70 °C sıcaklıkta güvenilir ve etkili olmaktadır [39, 40].

Ters Ozmos

Ters ozmos, deniz suyunun desalinasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu teknoloji TÇM konsantrasyonu 40000 mg/L'den yüksek olduğu durumlarda uygun değildir [28]. Geleneksel petrol ve gaz üretiminden kaynaklanan yüksek TÇM içeren suların arıtımında titreşimli geliştirilmiş ozmos alternatif olarak kullanılmaktadır. Ancak kaya gazı atıksuyunda TÇM konsantrasyonu çok daha yüksek olduğundan uygulamayı engellemektedir. TÇM konsantrasyonu 30000 mg/L'den düşük olduğundan ters ozmos sistemlerinin kullanımı uygundur. Çoğunlukla kısmi bir arıtma sonrasında kaya gazının tekrar kullanımı çok daha ekonomik ve çevre dostu bir teknik olmaktadır [36].

Membran Distilasyonu

Membran distilasyonu, yüksek tuzluluk içeren suların desalinasyonunda yeni geliştirilen ve gelecek vaat eden bir tekniktir. Bu ayırma teknolojisinde su ısıtılmakta ve buhar moleküllerinin poroz hidrofobik membran ile soğuk ya da ortam sıcaklığının hakim olduğu bölgeye geçmesi sağlanmaktadır. Genellikle tuzlu suların kaynama noktasına kadar ısıtılmasına gerek duyulmamakta ve iki bölge arasındaki sıcaklık farkı 10-20 °C olduğunda bile proses

gerçekleşmektedir [41, 42]. Sadece deniz suyunun desalinasyonunda değil, aynı zamanda kaya gazı atıksuyunun arıtımında da membran distilasyonu oldukça önemli bir uygulamadır.

Yapılan bir çalışmada düşük TÇM (48000 mg/L) ve orta derecede yüksek TÇM (71000 mg/L) içeren kaya gazı atıksuyunda 70 °C ve 30 °C sıcak ve soğuk bölgelerin olduğu membran distilasyonu ile araştırılan her iki TÇM konsantrasyonunda da %99,7'den daha fazla TÇM rejeksiyonu sağlanmıştır ve membran akısı 20-25 L/m².sa arasında iken 12 gün boyunca membran tıkanması olmadan işletmeye devam edilmiştir [41]. 250000 mg/L TÇM içeren atıksu ile yapılan bir diğer çalışmada ise 50 °C ve 25 °C sıcak ve soğuk bölgelerin olduğu membran distilasyonunda 1-9 L/m².sa akıda %99,7'den daha fazla TÇM rejeksiyonu sağlanmıştır [43]. Membran distilasyonunun geniş bir kullanım potansiyeli olmasına rağmen proses esnasında uçucu organik maddelerin membrandan süzöntü akısına geçme durumu söz konusudur. Ayrıca alkol ve yüzey aktif maddelerin de geçişi söz konusu olabilmektedir. Ancak membran distilasyonu öncesinde potansiyel kirletici ve organiklerin ön arıtımı ile bu durum önlenabilmektedir [41, 42].

İleri Ozmos

İleri ozmos, yarı geçirgen bir membranda arıtılmış atıksu ile oldukça konsantre hale gelen çözelti arasındaki basınç farkından dolayı gerçekleşmektedir. Bu proseslerde konsantre çözelti arıtmak istenen atıksudan çok daha yüksek konsantrasyonlarda kirleticileri içermektedir [44]. İleri ozmos prosesi iki aşamada gerçekleşir; birincisi su membrandan geçer ve "draw" çözeltisi adı verilen çözelti seyrelir. İkinci aşamada ise bu suyun draw çözeltisinden ayrılmasıdır. Böylece yüksek kalitede su elde edilirken draw çözeltisi tekrar konsantre hale gelir. Bu ikinci aşama genellikle ters ozmos veya termal distilasyon prosesidir [45]. Oldukça kompleks bir sistem olmasına rağmen ileri ozmos prosesi pek çok avantaja sahiptir. Düşük akıda işletme yapıldığı için membran tıkanması problemi daha düşüktür ve bu durum ileri ozmos prosesi öncesinde yapılması gereken ön arıtım ihtiyacını azaltmaktadır. Aynı zamanda bakım ve onarım maliyetleri de daha az olmakla birlikte kullanılan membranların ömrü çok daha uzundur [15].

Draw çözeltisinin seçimi ileri ozmos prosesinde anahtar rol oynamaktadır. Draw çözeltisi pahalı olmamalı ve geri kazanım basamağında tıkanma problemlerine yol açmamalıdır. Ayrıca draw çözeltisi membrandan akının geçişi boyunca gereken ozmotik basıncı sağlamalıdır. En yaygın kullanılan draw çözeltisi termolitik tuzlardır (sıcaklık değişimi ile faz değiştirme yeteneğine sahiptirler) [15, 45]. İleri ozmos prosesi, evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımını, deniz suyunun desalinasyonunu, gıda ve ilaç üretim endüstrisi gibi atıksuların arıtımını içeren geniş bir uygulama alanına sahiptir [46]. İleri ozmos prosesi ozmotik seyreltme modunda işletildiğinde kaya gazı sondaj atıksularının arıtımında etkili olmaktadır. Ancak membranlarda tersinmez

tıkanmaya ve organik/inorganik moleküllerin yüksek miktarda rejeksiyonuna yol açmaktadır [47]. Selüloz triasetat membranlar genellikle kaya gazı sondaj atıksularının arıtımında membran tıkanmasını geciktirmesi nedeniyle tercih edilmektedir [48].

İleri kimyasal arıtma

Kaya gazı atıksuyunun arıtımında genellikle ozonlama, aktif karbon ile sorpsiyon veya aerobik degradasyon çözümü organik karbon ve diğer organik bileşenlerin giderimi için atıksuyun hava flotasyonu ile ön arıtımı sonrasında uygulanabilecek yöntemlerdir [49]. Diğer yandan Fenton, elektro-Fenton ve elektrokoagülasyon gibi yöntemlerle de kaya gazı atıksuyunun arıtımı yapılabilmektedir.

Fenton prosesi kullanılarak Türkiye’de kaya gazı ekstraksiyonu yapılan çalışma sahasından alınan gerçek kaya gazı atıksuyu ile yürütülen bir çalışmada belirlenen optimum şartlarda (pH:4, $H_2O_2/KOİ$ oranı: 1,5, H_2O_2/Fe^{+2} oranı:5 ve süre: 90 dk) %68 KOİ, %88,5 renk ve %92,6 fenol giderim verimlerine ulaşılmıştır [50]. Bir diğer çalışmada ise elektro-Fenton prosesi ile %87,3 KOİ, %89 renk ve %91,7 fenol giderim verimleri elde edilmiştir (pH:3, $H_2O_2/KOİ$ oranı: 2, akım yoğunluğu: 19 mA/cm², süre: 15 dk) [51]. Kaya gazı atıksuyunun yeniden kullanımını sağlamak için yapılan bir çalışmada elektrokoagülasyon prosesi uygulanmıştır. Çalışmada arıtılmadığı takdirde gaz kuyularında tıkanmaya sebep olduğu için TOK, AKM ve iki değerlikli katyonların (sertlik) giderimi hedeflenmiştir. Gerçek ve sentetik kaya gazı atıksuyunun kullanıldığı bu çalışmada TOK ve sertlik giderim verimlerinin oldukça yüksek bulunduğu belirtilmiştir [33].

Biyolojik Teknikler

Kaya gazı atıksuyunun arıtımında henüz araştırma aşamasında olan bir diğer arıtma metodu ise mikrobiyal kapasitif desalinasyon hücreleri ile üretilen atıksuyun tuzsuzlaştırılmasıdır. Bu teknoloji ile mikrobiyal oksidasyonda organik kirleticiler giderilebilmektedir ve proses esnasında sistemdeki elektrotlar, katyon değiştirici membranlar ve adsorpsiyon kombinasyonunda üretilen potansiyel enerji kapasitif desalinasyon için kullanılmaktadır. Henüz bu teknoloji çok küçük ölçeklerde denenmesine rağmen, araştırmacılar enerji-pozitif desalinasyonda başarılı olduğunu iddia etmektedirler [52, 53].

Kaya gazı atıksuyunun arıtımında klasik aktif çamur prosesi de test edilmiştir, ancak yüksek TÇM konsantrasyonundan dolayı biyolojik aktivite düştüğünden dolayı kullanımı limitlidir [54]. Diğer yandan ticari deniz mikroalglerinin yetiştirilmesinde kaya gazı atıksuyunun kullanımı söz konusudur, ancak bu teknik bir arıtma teknolojisi olarak değil de mikroalg yetiştiriciliğinde su ihtiyacını ve gereken enerji

ihtiyacını azaltmak için tercih edilmektedir [55].

3.3. Kaya gazı atıksuyu üretiminin minimizasyonu için alternatif sıvılar ve kimyasallar

Su yerine, propant jel çatlatma sıvısı, sıvı karbon dioksit çatlatma sıvısı, azot gazı ve köpük çatlatma sıvıları alternatif çatlatma sıvıları olarak kullanılabilir. Bu sıvılar kaya gazı atıksularının yönetimi için oldukça fazla fayda sağlamaktadır. Propant ve özellikle karbon dioksit kullanımı daha fazla gaz kazanımını sağlamakla birlikte kayalardan yüzeye daha az tuz çıkmasına sebep olmaktadır. Çatlatma için kullanılan su miktarı doğal bitki sakızı gibi maddeler eklenerek suyun %45 daha yoğun olması sağlanabilir ve su ihtiyacı azaltılabilir. Bir diğer çözüm ise toksik olmayan gıda endüstrisi katkı maddelerinin çatlatma sıvısına eklenmesidir [34].

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Günümüzde dünya genelinde kaya gazı atıksuyu yenilenebilir enerji kaynağı olarak ele alınmaktadır. Kaya gazının kaya formlarından ekstrakte edilmesinde dikey ve yatay sondaj kuyuları birlikte kullanılmakta ve yatay sondaj kuyusu açıldıktan sonra yüksek miktarlarda su kaya içine enjekte edilerek kaya gazının serbest kalması sağlanmaktadır. Yatay sondaj kuyularına enjekte edilen suyun büyük çoğunluğu atıksu olarak geri çekilmekte ve bu atıksu yüksek konsantrasyonlarda kirletici maddeleri ihtiva etmektedir.

Üretilen atıksuyun yüksek TÇM konsantrasyonundan dolayı aktif çamur prosesi ile arıtım yapılan kentsel atıksu arıtma tesislerinde arıtımı biyolojik aktiviteyi düşürdüğünden dolayı mümkün olamamaktadır. Bu nedenle kaya gazı atıksuyunun ileri arıtma yöntemleri ile arıtılması gerekmektedir. Bu çalışmada kaya gazı atıksuyunun pek çok farklı arıtma yöntemi ile arıtılabilirliği araştırılmıştır. Buharlaştırma teknikleri kullanılarak yüksek TÇM konsantrasyonuna sahip tuzlu su ile temiz suyun ayrılması sağlanabileceği gibi son yıllarda önem kazanan membran distilasyonu ile de kaya gazı atıksuyu arıtımı gerçekleştirilebilmektedir.

Diğer yandan TÇM giderimi amacıyla sıklıkla ters ozmos prosesi ve ileri ozmos prosesi kullanılabilmektedir. Ayrıca kaya gazı atıksuyundan hidrokarbonlar ve ağır metaller gibi tehlikeli bileşenleri giderebilmek amacıyla ozonlama, aktif karbon ile sorpsiyon veya aerobik degradasyon, Fenton, elektro-Fenton ve elektrokoagülasyon gibi teknikler yaygın olarak kullanılmaktadır. Sonuç olarak Türkiye’de de rezervuarları bulunan bu doğal kaynağın daha iyi kullanımı için özellikle üretilen atıksuların arıtımı ve bertarafı kapsamında ilgili kurumlar tarafından politikaların oluşturulması, bu politikalara bağlı düzenlemelerin getirilmesi ve rehber dokümanların hazırlanması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- [1]. Observatoire-du-nucleaire.org.: <http://www.observatoire-du-nucleaire.org/IMG/pdf/2013-keyworld-aie.pdf> (Erişim zamanı; Eylül, 22, 2018).
- [2]. S. Pacala, "Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies", *Science*, vol.305, no 5686, pp. 968-972, 2004.
- [3]. M. Melikoglu, "Vision 2023: Forecasting Turkey's natural gas demand between 2013 and 2030", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.22, pp.393-400, 2013.
- [4]. V. A. Kuuskraa and C.C.J., "Natural gas resources, unconventional", In Cleveland, C. and Ayres, R. *Encyclopedia of energy*. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2004.
- [5]. Q. Wang, X. Chen, A. Jha, and H. Rogers, "Natural gas from shale formation – The evolution, evidences and challenges of shale gas revolution in United States", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.30, pp.1-28, 2014.
- [6]. S. Golding, C. Boreham, and J. Esterle, "Stable isotope geochemistry of coal bed and shale gas and related production waters: A review", *International Journal of Coal Geology*, vol.120, pp.24-40, 2013.
- [7]. M. Melikoglu, "Shale gas: Analysis of its role in the global energy market", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.37, pp.460-468, 2014.
- [8]. D. Kargbo, R. Wilhelm, and D. Campbell, "Natural Gas Plays in the Marcellus Shale: Challenges and Potential Opportunities", *Environmental Science & Technology*, vol.44, no 15, pp.5679-5684, 2010.
- [9]. R. Kerr, "Natural Gas From Shale Bursts Onto the Scene", *Science*, vol.328, no 5986, pp.1624-1626, 2010.
- [10]. Eia.gov.: <https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/pdf/overview.pdf> (Erişim tarihi: Eylül, 22, 2018).
- [11]. N. K. A. Bozdoğan, T. Erten, Y. H. Iztan, A. Cubukcu, and M. G. D. Korucu, "Anadolu Diyarbakir Bölgesi Paleozoyik birimlerin stratigrafisi ve petrol potansiyeli", ed. Türkiye 10. Petrol Kongresi ve Sergisi Bildiri Kitabı. Ankara, 125-139, (1994).
- [12]. A. Aydemir, "Comparison of Mississippian Barnett Shale, Northern-Central Texas, USA and Silurian Dadas Formation in Southeast Turkey", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol.80, no 1, pp.81-93, 2011.
- [13]. U.S. (2013), *Turkey's shale gas hopes draw growing interest*: <https://www.reuters.com/article/turkey-shale/turkeys-shale-gas-hopes-draw-growing-interest-idUSL6N0BI8CQ20130218> (Erişim tarihi; Eylül, 22, 2018).
- [14]. S. Jenner, and A. Lamadrid, "Shale gas vs. coal: Policy implications from environmental impact comparisons of shale gas, conventional gas, and coal on air, water, and land in the United States", *Energy Policy*, vol.53, pp.442-453, 2013.
- [15]. D. Shaffer, L. Arias Chavez, M. Ben-Sasson, S. Romero-Vargas Castrillón, N. Yip, and M. Elimelech, "Desalination and Reuse of High-Salinity Shale Gas Produced Water: Drivers, Technologies, and Future Directions", *Environmental Science & Technology*, vol.47, no 17, pp.9569-9583, 2013.
- [16]. P. Wilkinson, and A. Lane, "Environmental stewardship: lessons for European unconventional gas from the United States and Australia", ed. SPE economics & management (2014).
- [17]. R.D. Vidic, S.L. Brantley, J.M. Vandenbossche, D. Yoxtheimer, and J.D. Abad, "Impact of Shale Gas Development on Regional Water Quality", *Science*, pp.340, 2013.
- [18]. E. Barbot, N.S. Vidic, K.B. Gregory, and R.D. Vidic, "Spatial and Temporal Correlation of Water Quality Parameters of Produced Waters from Devonian-Age Shale following Hydraulic Fracturing", *Environmental Science & Technology*, vol.47, pp.2562-2569, 2013.
- [19]. M.A. Engle, and E.L. Rowan, "Geochemical evolution of produced waters from hydraulic fracturing of the Marcellus Shale, northern Appalachian Basin: A multivariate compositional data analysis approach", *International Journal of Coal Geology*, vol.126, pp.45-56, 2014.
- [20]. T. Colborn, C. Kwiatkowski, K. Schultz, and M. Bachran, "Natural Gas Operations from a Public Health Perspective", *Human and Ecological Risk Assessment*, vol.17, pp.1039-1056, 2011.
- [21]. J.M. Estrada, and R. Bhamidimarri, "A review of the issues and treatment options for wastewater from shale gas extraction by hydraulic fracturing", *Fuel*, vol.182, pp.292-303, 2016.
- [22]. K.J. Ferrar, D.R. Michanowicz, C.L. Christen, N. Mulcahy, S.L. Malone, and R.K. Sharma, "Assessment of Effluent Contaminants from Three Facilities Discharging Marcellus Shale Wastewater to Surface Waters in Pennsylvania", *Environmental Science & Technology*, vol.47, pp.3472-3481, 2013.
- [23]. M. Bădileanu, M. F. R. Bulearca, C. Russu, M.-S. Muscalu, C. Neagu, R. Boza, C. Sima, L. I. Georgescu, D. N. Băleanu, "Shale Gas Exploitation– Economic Effects and Risks", *Procedia Economics and Finance*, vol.22, pp.95–104, 2015.
- [24]. "Shale gas – Information on hydraulic fracturing ("fracking")": www.oekotoxzentrum.ch (Erişim tarihi; Eylül, 22, 2018).
- [25]. F.W. Changjian Wang, H. Du, X. Zhang, "Is China really ready for shale gas revolution—Re-evaluating shale gas challenges", *Environmental Science & Policy*, vol.39, pp.49-55, 2014.
- [26]. B.G. Rahm, J.T. Bates, L.R. Bertoia, A.E. Galford, D.A. Yoxtheimer, and S.J. Riha, "Wastewater management and Marcellus Shale gas development: Trends, drivers, and planning implications", *Journal of Environmental Management*, vol.120, pp.105-113, 2013.
- [27]. M. E. Blau, M.R.R. Moore, T. Lipinski, B. A. Houston, N. A. Charleston, and W. Virginia, "Marcellus Shale post-frac flowback waters – where is all the salt coming from and what are the implications?", ed. SPE Eastern regional meeting. Charleston, West Virginia: Society of Petroleum Engineers, (2009).

- [28]. K.B. Gregory, R.D. Vidic, and D.A. Dzombak, "Water Management Challenges Associated with the Production of Shale Gas by Hydraulic Fracturing", *Elements*, vol.7, pp.181-186, 2011.
- [29]. O. Olsson, D. Weichgrebe, and K.H. Rosenwinkel, "Hydraulic fracturing wastewater in Germany: composition, treatment, concerns", *Environmental Earth Sciences*, vol.70, pp.3895-3906, 2013.
- [30]. J.S. Harkness, G.S. Dwyer, N.R. Warner, K.M. Parker, W.A. Mitch, and A. Vengosh, "Iodide, Bromide, and Ammonium in Hydraulic Fracturing and Oil and Gas Wastewaters: Environmental Implications", *Environmental Science & Technology*, vol.49, pp.1955-1963, 2015.
- [31]. Q.Y. Jiang, J. Rentschler, R. Perrone, and K.L. Liu, "Application of ceramic membrane and ion-exchange for the treatment of the flowback water from Marcellus shale gas production", *Journal of Membrane Science*, vol.431, pp.55-61, 2013.
- [32]. H. T., "Sampling and analysis of water streams associated with the development of Marcellus Shale gas", ed[^]eds. Final report prepared for Marcellus Shale coalition, (2009).
- [33]. B. Shankar, K. Chetan, P. Malhotrab, and A. B. Pandita, "Treatment and reuse of shale gas wastewater: Electrocoagulationsystem for enhanced removal of organic contamination and scalecausing divalent cations", *Journal of Water Process Engineering*, vol.16, pp.149-162, 2017.
- [34]. R.S. Rodriguez, and D.J. Soeder, "Evolving water management practices in shale oil & gas development", *Journal of Unconventional Oil and Gas Resources*, vol.10, pp.18-24, 2015.
- [35]. L. Gene, A. E. L. Theodori, K. W. Fern, B. B. David "Hydraulic fracturing and the management, disposal, and reuse of frac flowback waters: Views from the public in the Marcellus Shale", *Energy Research & Social Science*, vol.2, pp.66-74, 2014.
- [36]. M. E. Mantell, "Produced Water Reuse and Recycling Challenges and Opportunities Across Major Shale Plays", USEPA Technical Workshops for the Hydraulic Fracturing Study: Water Resources Management, Arlington, VA, May; United States Environmental Protection Agency Office of Research and Development, (2011).
- [37]. M.B. Adams, "Land Application of Hydrofracturing Fluids Damages a Deciduous Forest Stand in West Virginia", *Journal of Environmental Quality*, vol.40, pp.1340-1344, 2011.
- [38]. F.R. Ahmadun, A. Pendashteh, L.C. Abdullah, D. R. A. Biak, S. S. Madaeni, and Z. Z. Abidin, "Review of technologies for oil and gas produced water treatment", *Journal of Hazardous Materials*, vol.170, pp.530-551, 2009.
- [39]. C. Henderson, H. Matis, H. Kommepalli, B. Moore, and H. Wang, "Cost effective recovery of low-TDS frac flowback water for re-use", Department of Energy DE-FE0000784 final report, (2011).
- [40]. E. T. Iggunnu, and G. Z.Chen, "Produced water treatment Technologies", *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol.9, pp.157-177, 2012.
- [41]. J. Minier-Matar, A. Hussain, A. Janson, and S. Adham, Treatment of produced water from unconventional resources by membrane distillation, *IPTC 2014: International Petroleum Technology Conference, Session 65: OVER-ARCHING INDUSTRY ISSUES - Environment: Innovation in Minimising our Footprints*, (2014).
- [42]. A. Alkhudhiri, N. Darwish, and N. Hilal, Membrane distillation: A comprehensive review, *Desalination*, vol.287, pp.2-18, 2012.
- [43]. F. Macedonio, A. Ali, T. Poerio, E. El-Sayed, E. Drioli, and M. Abdel-Jawad, "Direct contact membrane distillation for treatment of oilfield produced water", *Separation and Purification Technology*, vol.126, pp.69-81, 2014.
- [44]. D.L. Shaffer, J.R. Werber, H. Jaramillo, S. Lin, and M. Elimelech, "Forward osmosis: Where are we now?", *Desalination*, vol.356, pp.271-284, 2015.
- [45]. B.D. Coday, P. Xu, E.G. Beaudry, J. Herron, K. Lampi, N.T. Hancock, and T.Y. Cath, "The sweet spot of forward osmosis: Treatment of produced water, drilling wastewater, and other complex and difficult liquid streams", *Desalination*, vol.333, pp.23-35, 2014.
- [46]. T.Y. Cath, A.E. Childress, and M. Elimelech, "Forward osmosis: Principles, applications, and recent developments", *Journal of Membrane Science*, vol.281, pp.70-87, 2006.
- [47]. K.L. Hickenbottom, N.T. Hancock, N.R. Hutchings, E.W. Appleton, E.G. Beaudry, P. Xu, and T.Y. Cath, "Forward osmosis treatment of drilling mud and fracturing wastewater from oil and gas operations", *Desalination*, vol.312, pp.60-66, 2013.
- [48]. G. Chen, Z. W. Wang, L. D. Nghiem, X. M. Li, M. Xie, B. L. Zhao, M. X. Zhang, J. F. Song, and T. He, "Treatment of shale gas drilling flowback fluids (SGDFs) by forward osmosis: Membrane fouling and mitigation", *Desalination*, vol.366, pp.113-120, 2015.
- [49]. A. Butkovskiy, A.-H. Faber, Y. Wang, K. Grolle, R. H. Caris, H. Bruning, A. P. V. Wezel, and H. H. M. Rijnaarts, "Removal of organic compounds from shale gas flowback water", *Water Research*, vol.138, pp.47-55, 2018.
- [50]. H. S. Erkan, N. B. Turan, and G. O. Engin, "Wastewater treatment from shale gas operation by Fenton process: a statistical optimization", *Desalination and Water Treatment*, vol.70, pp.125-133, 2017.
- [51]. N. B. Turan, H. S. Erkan, and G. O. Engin, "The investigation of shale gas wastewater treatment by electro-Fenton process: Statistical optimization of operational parameters", *Process Safety and Environmental Protection*, vol.109, pp.203-213, 2017.
- [52]. Z. A. Stoll, C. Forrestal, Z. J. Ren, and P. Xu, "Shale gas produced water treatment using innovative microbial capacitive desalination cell", *Journal of Hazardous Materials*, vol.283, pp.847-855, 2015.
- [53]. C. Forrestal, Z. Stoll, P. Xu, and Z. J. Ren, "Microbial capacitive desalination for integrated organic matter and salt removal and energy production from unconventional natural gas produced water", *Environmental Science-Water Research & Technology*, vol.1, pp.47-55, 2015.
- [54]. Y. Lester, T. Yacob, I. Morrissey, and K.G. Linden, "Can We Treat Hydraulic Fracturing Flowback with a Conventional Biological Process? The Case of Guar Gum",

Environmental Science & Technology Letters, vol.1, pp.133–136, 2014.
[55]. R. Racharaks, “Cultivation of *Nannochloropsis salina*

and *Dunaliella tertiolecta* Using Shale Gas Flowback Water and Anaerobic Digestion Effluent as Cultivation Medium”, Ohio State University, (2014).

Kriyojenik İşlem Görmüş Nikel Esaslı Süper Alaşımın Elektro-Erozyon İşleme Performansı Optimizasyonu

^{1*}Engin Nas, ²Sıtkı Akıncıoğlu

^{1*} Düzce Üniversitesi, Dr. Engin PAK Cumayeri Meslek yüksekokulu, Endüstriyel Kalıpcılık, 81700, Düzce/ TURKEY, enginnas@duzce.edu.tr 

² Düzce Üniversitesi, Gümüşova Meslek Yüksekokulu Makine Tasarımı Bölümü, 81700, Düzce – TURKEY, sitkiakincioglu@duzce.edu.tr 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 02.04.2018

Kabul Tarihi: 26.10.2018

Öz

Bu çalışmada kriyojenik işlem uygulanmış nikel esaslı süper alaşımın elektro erozyon işleme (EEİ) ile işlenme performansı araştırılmıştır. Bu amaçla ısıl dirençli nikel esaslı süper alaşıma sığ ve derin kriyojenik işlem uygulanmıştır. Deneylerde kullanılan parametreler deney maliyetini azaltmak için Taguchi L₉ ortogonal diziyle tasarlanmış olup elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak incelenerek kriyojenik işlemin yüzey pürüzlülüğü ve malzeme aşınma kaybı (MAK) etkisi araştırılmıştır. Her iki çıktı parametresi için en ideal parametrelerin belirlenmesinde ise Gray-Taguchi yaklaşımı kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda; yanıt tabloları incelendiğinde yüzey pürüzlülük değerleri için en etkili parametrenin malzeme ve vurum süresi için sırası ile A1B1, malzeme aşınma kaybı için ise A2B1 olarak belirlenmiştir. Anova sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü için en etkili parametrenin %70,99 ile vurum süresi olarak, malzeme aşınma kaybı için ise % 71,66 ile malzeme olarak olduğu belirlenmiştir. Maksimum aşınma miktarı ve en düşük yüzey pürüzlülük değeri için gri ilişkisel derecesi hesaplandığında her ikisi için ideal faktörler birinci deney ile gerçekleştirilen parametrelerde olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Taguchi Optimization, Gray-Taguchi Optimizasyonu, Elektro Erozyon İşleme, Kriyojenik işlem, Nikel esaslı süper alaşım

Optimization of Cryogenic Treated Nickel-Based Superalloy in Terms of Electro-Erosion Processing Performance

^{1*}Engin Nas, ²Sıtkı Akıncıoğlu

^{1*} Düzce University, Dr. Engin PAK Cumayeri Vocational School, Endustriel Molding, 81700, Düzce/ TURKEY, enginnas@duzce.edu.tr

² Düzce University, Department of Mechine Design, 81700, Düzce – TURKEY, sitkiakincioglu@duzce.edu.tr

Abstract

In this study, electrical discharge machining (EDM) performance of cryogenic nickel based superalloy was investigated. For this purpose, thermal resistance nickel based super alloying was applied to shallow and deep cryogenic process. The parameters used in the experiments are designed with the Taguchi L₉ orthogonal array to reduce the test cost. The obtained results were examined statistically and the effect of surface roughness and material wear loss (MRR) of cryogenic treatment was investigated. The Gray-Taguchi approach is used to determine the ideal processing parameters. The most effective parameters for surface roughness values are A1B1 and A2B1 for MRR. According to ANOVA results, the most effective parameter for the surface roughness was determined as 70.99% of the time on, the material duration was determined as 71.66% for material wear loss. For the maximum wear amount and minimum surface roughness value, it was determined that the ideal factors for the gray relational grade occur in the parameters performed by the first experiment.

Keywords: Taguchi Optimization, Gray-Taguchi Optimization, EDM, cryogenic treatment, nickel-based superalloy

*¹Sorumlu yazar: Düzce Üniversitesi, Dr. Engin PAK Cumayeri Meslek yüksekokulu, Endüstriyel Kalıpcılık, 81700, Düzce/ TURKEY, enginnas@duzce.edu.tr

Doi: 10.21541/apjes.412042

1. GİRİŞ

Kriyojenik işlem metallerin mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirmek için kullanılan bir ısıtım işlemi türüdür. Kriyojenik işlemin etkisini arttırmak için malzemelerin özelliğine göre farklı parametrelerde uygulanmaktadır. Malzeme türüne göre farklı bekleme süresi, farklı ısı değişkeni olarak kullanılmaktadır [1]. Kaplamaların aksine parçanın tüm bölümünü etkileyen, bir kereye mahsus yapılan ucuz ve kalıcı bir işlemdir. Bu yöntem ile takım çeliklerinde ve HSS takımlarda kalıntı östenit yapının martenzit yapıya dönüşmesi, sementit karbür kesici takımlarda ince karbür çökeltilerinin oluşumu, eta karbür fazının oluşumu ve homojen karbür dağılımı sağlanmaktadır. Böylece malzemelerin sertlik ve aşınma direnci gibi mekanik özelliklerinde ciddi iyileşmeler elde edilmektedir [2].

Önceleri kalıp malzemelerine uygulanan kriyojenik işlem günümüzde işlenebilirlik çalışmalarında malzemelere ve kesici takımlara uygulanarak kesme şartlarının iyileşmesi yönünde ciddi gelişmeler sağlanmıştır [3]. Kriyojenik işlemin işleme performansına etkileri, tornalama, frezeleme ve delik delme gibi geleneksel imalat yöntemlerinde geniş kapsamda incelenmektedir [4-7]. Ancak, kriyojenik işlemin geleneksel olmayan imalat yöntemlerine etkileri henüz geleneksel imalat yöntemlerinde olduğu gibi geniş kapsamda incelenmemiştir. Geleneksel olmayan işleme yöntemlerinden biri elektro erozyon ile işleme yöntemidir.

Elektro erozyon ile işleme (EEİ), geometrik olarak karmaşık ve sert malzemelerin işlenmesinde kullanılan alışılmamış yöntemlerdir. EEİ de işleme yönteminde işlenecek malzeme sertliğinin, tokluğunun ve mukavemetinin işleme performansına etkisi yoktur.

Fakat bunda işlenecek malzemenin erime sıcaklığı ve ısıtım iletkenliği etkilidir [8, 9]. Geleneksel yöntemler ile süper alaşımların işlenmesi esnasında meydana gelen yüksek sıcaklıklar kesici takımları tahrip edip ürün kalitesini bozmakta ve tüketilen kesici takım miktarını arttırmaktadır. Bu tür işlenmesi zor malzemelerin işlenmesine geleneksel olmayan yöntemler kullanılarak ürün kalitesini artırıp, üretim maliyetlerini düşürebilmektedir. EEİ geleneksel olarak işlenmesi zor olan süper alaşımların işlenmesinde de kullanılmaktadır. Deney maliyetlerini düşürmek için imalat sektöründe ürün kalitesini arttırmak ve maliyeti düşürmek için optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biride Taguchi optimizasyon yöntemidir.

Taguchi metodu (TM) ile deney tasarımı yaygın olarak yüzey pürüzlülüğü üzerine uygulandığı birçok deneysel çalışma görülmektedir [7]. Deney tasarımı, kesme parametrelerinin deneysel süreç içerisindeki bilinmeyen özelliklerinin belirlenmesi ve değişkenler arasındaki etkileşimlerin analizi ve modellenmesi için güçlü bir istatistiksel yöntemdir.

Endüstriyel alanlarda, Taguchi yöntemi kullanılarak tasarım ve üretim için ürün geliştirme zamanı azaltılmakta ve buna bağlı olarak maliyetler düşürülerek işletmenin kar oranı artırılabilir [10]. Çok amaçlı problemleri optimize etmek için TM Gri İlişkisel Analiz (GİA) ile birleştirilmektedir. Isıl dirençli olan nikel esaslı süper alaşımların geleneksel olarak işlenebilmesi zordur.

EEİ ile işlemede malzemenin sertlik ve tokluğu önemsizdir. Fakat böyle ısıtım direnci yüksek malzemelerin işlenebilmesi için ısıtım ve elektrik iletkenliğinin yüksek olması gerekmektedir. Kriyojenik işlemin malzemelerin elektrik iletkenliğini arttırdığı bilinmektedir [11, 12]. Elektrik iletkenliğinin artırılması ile EEİ işleme performansı arasında ilişkinin araştırılması gerekmektedir. Nikel esaslı süper alaşımlara uygulanan kriyojenik işlemin EEİ performansına etkisi ile ilgili çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada; kriyojenik işlemin nikel esaslı süper alaşımın EEİ ile işleme performansına etkisi araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan parametreler ve seviyeleri Taguchi L₉ deneysel tasarımı ile oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar Taguchi yöntemi, ANOVA, regresyon analizi ve Gri ilişkisi kullanılarak ortalama yüzey pürüzlülüğü ile malzeme aşınma kaybını etkileyen en ideal şartların belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Elektro Erozyon ile İşleme

Deneysel çalışmada King marka ZNC – K-3200 dalma erozyon tezgâhı kullanılmıştır. EEİ ile numune üzerinden kaldırılan talaşın miktarını (ağırlık/ dak) belirlemek için standart formül Eşitlik (1)' de verilmektedir.

$$\text{Malzeme aşınma kaybı} = \left[\frac{(W_i - W_f)}{t} \right] \quad (1)$$

MAK:	Malzeme Aşınma Kaybı (g/dak)
W _i :	Numunenin deney öncesi ağırlığı (g)
W _f :	Numunenin deney sonrası ağırlığı (g)
t :	İşleme süresi (dak)

2.2. Malzeme ve Elektrot Seçimi

Deneysel çalışmada malzeme olarak 20 mm çapında nikel esaslı süper alaşım, elektrot olarak ise 8,9 gr/cm³ yoğunluğa sahip 18 mm çapında elektrolitik bakır kullanılmıştır. Nikel esaslı süper alaşımın kimyasal bileşimi Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Nikel esaslı süper alaşımın kimyasal bileşimi.

Ni	Cr	Mo	Fe	W	Diğer
58,2	21,28	12,94	4	2,87	0,71

Elektrot malzemesi ve deney malzemesinin özellikleri Tablo 2' de gösterilmektedir.

Tablo 2. Elektrot malzemesinin özellikleri.

Özellikler		Değer
Elektrot Malzemesi		
1	Ergime noktası (°C)	1083
2	Elastik modül (N/mm ²)	1,23×105
3	Poisson oranı	0,26
4	Yoğunluk (g/cm ³)	8,9
Deney Malzemesi		
Sertlik (HRB)	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)
		Isıl İletkenlik (W/m-K)
93	358	735
		10.1

2.3. Taguchi Method

Taguchi yöntemi geleneksel deney tasarımının dikkate almadığı kontrol edilemeyen faktörlerin meydana getirdiği değişkenlerin denetimine izin vermektedir. Taguchi, bu faktörlere karşı kontrol faktörlerinin seviyelerinin performans karakteristiğini ölçmek için amaç fonksiyonu değerlerini sinyal/gürültü (S/N) oranına dönüştürür. S/N oranı, istenilmeyen rastgele gürültü değeri için istenilen sinyal oranı olarak tanımlanmakta olup, deneysel verilerin kalite karakteristiklerini göstermektedir [13]. Ayrıca, kesme parametrelerinin istatistiksel önemini belirlemek için ANOVA uygulanmaktadır. ANOVA ve S/N oranı yardımıyla kesme parametrelerinin optimum kombinasyonu belirlenmektedir [14]. Yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerinin her kombinasyonu deney tasarımında ölçülür, kontrol faktörlerinin optimizasyonunda S/N oranları kullanılır. Yüzey pürüzlülüğünün düşük olması, ürün kalitesi, maliyeti ve ömrü açısından büyük bir öneme sahiptir [15]. S/N oranlarının hesaplanmasında; karakteristik tipine bağlı nominal en iyidir, en büyük en iyidir, en küçük en iyidir metotları kullanılır. Eşitlik (2)'te "en büyük en iyidir", Eşitlik (3)'te ise "en küçük en iyidir" amaç fonksiyonu verilmiştir.

$$\text{En büyük en iyi} : \frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2)$$

$$\text{En küçük en iyi} : \frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3)$$

Deneysel çalışmada işlem uygulanmamış (UT), sıg kriyojenik işlem uygulanmış (SCT) ve derin kriyojenik işlem uygulanmış (DCT) nikel esaslı süper alaşım kullanılmıştır. Üç farklı vurum süresi (300, 400 ve 500 µs), bekleme süresi (10 µs) ve amper (10 A) kullanılmıştır. Kullanılan parametreler ve seviyeleri Tablo 3'de gösterilmektedir.

Tablo 3. Deney faktörleri ve seviyeleri.

No	Faktörler	Sembol	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
1	Numuneler	A	-	UT	SCT	DCT
2	Vurum süresi	B	µs	300	400	500

EEİ işleme için deney düzeni Taguchi L₉ orthogonal deney düzenine göre (Tablo 4) tasarlanmıştır.

Tablo 4. Taguchi L₉ ortogonal düzeni.

No	Factor A	Factor B
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	3	1
8	3	2
9	3	3

2.4. Gri İlişki Analizi

Taguchi Metodu az sayıda deney ile kontrol faktörlerinin etkilerinin ve en uygun seviyelerinin belirlendiği için deneysel çalışmalarda tercih edilen verimli bir yöntemdir. Fakat sadece tek yanıtli optimizasyon problemleri ile ilgilenmektedir. Dolayısıyla geleneksel TM çok amaçlı optimizasyon problemini optimize edememektedir. Çok amaçlı problemleri optimize etmek için TM Gri İlişkisel Analiz (GİA) ile birleştirilmektedir [16,17,18]. Gri ilişkisel Analiz, karar verme ve analiz aracıdır. Gri ilişkisel analiz metodunun hesaplama adımları aşağıdaki gibidir.

Adım 1: Referans (Ra, MAK) değerlerin sıralanması

$$x_0 = (x_0(1), x_0(2), x_0(3), \dots, x_0(n)) \quad (4)$$

Adım 2: Deney sonuçlarından elde edilen verilerin normalize edilmesi

Normalizasyonda sık kullanılan yöntemlerden birisi olan lineer veri ön işleme metodudur. Örneğin yüzey pürüzlülüğünde en düşük en iyi normalizasyonu tercih edilmelidir. Yüzey pürüzlülüğünde lineer normalizasyonda küçük değer alan noktalar normalizasyonda "1" e yakın değerler alır. Büyük değerler alan noktalar ise "0" 'a yakın değerler olacaktır. "Daha yüksek daha iyi" durumunda normalizasyon Eşitlik (5)'deki gibidir.

$$\text{Daha yüksek daha iyi} = x_i(k) = \frac{x_i^0(k) - \min x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (5)$$

$x_i^0(k)$, i serisi k. sıradaki orijinal değer, $x_i(k)$ normalizasyon sonrası i. seri k. sıradaki değer, $\min x_i^0(k)$ i serisindeki minimum değer, $\max x_i^0(k)$ i serisindeki maksimum değerdir.

"Daha düşük daha iyi" için Eşitlik (6)'deki gibidir;

$$x_i(k) = \frac{\max x_i^0(k) - x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (6)$$

"İdeal değer daha iyi" için Eşitlik (7)'deki gibidir ;

$$x_i(k) = 1 - \frac{|x_i^0(k) - x^0|}{\max x_i^0(k) - x^0} \quad (7)$$

Burada x^0 istenilen ideal değeri göstermektedir.

Adım 3: x_i serisi ile karşılaştırılacak m tane seri Eşitlik (8)'da tanımlanmış olsun.

$$x_i = (x^i(1), x^i(2), x^i(3), \dots, x^i(n)) \quad (8)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

Adım 4: k , n uzunluğundaki serideki k . sıraya gösterebilir. $\varepsilon(x_0(k), x_i(k))$, k . noktadaki gri ilişkisel katsayısı eşitlik (9), (10), (11) ve (12)'e göre hesaplanır.

$$\varepsilon(x_0(k), x_j(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \xi \Delta_{\max}} \quad (9)$$

$$\Delta_{oi}(k) = |x_0(k) - x_j(k)| \quad (10)$$

$$\Delta_{\min} = \min_j \min_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad (11)$$

$$\Delta_{\max} = \max_j \max_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad (12)$$

Ve $\xi \in (0,1)$ arasındaki bir katsayıdır. $j=1, 2, \dots, m$; $k=1, 2, \dots, n$. ξ işlevi, Δ_{oi} ile $\Delta_{\max}$ arasındaki farkı ayarlamaktır. Çalışmalar ξ değerinin gri ilişkisel derece sonrası oluşacak sıralamayı etkilemediğini göstermektedir.

Adım 5: Gri ilişkisel derece ise Eşitlik (13) ile hesaplanır.

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon(x_0(k), x_j(k)) \quad (13)$$

$\gamma(x_0, x_i)$ gri bir sistemdeki x_i serisi ile x_0 referans serisi arasındaki geometrik benzerliğin bir ölçüsüdür. Gri ilişkisel derecesinin büyüklüğü x_i ile x_0 arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu gösterir. Eğer karşılaştırılan iki seri aynı ise gri ilişkisel derecesi 1 olarak bulunur. Gri ilişkisel derece iki serinin benzerliğini test eder. Kriterin gri ilişki katsayısı ile kriterin önem derecesini gösteren ağırlık değeri çarpılarak gri ilişki derecesi bulunabilir. Gri ilişki derecesi Eşitlik (14)'e göre hesaplanır [19].

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon(x_0(k), x_j(k), (w_i(k))) \quad (14)$$

Gri ilişkisel derecesi kriterleri yakalama seviyesinin bir göstergesi seçilen karar verme kriterlerine bağlıdır. Eğer gri ilişkisel derecesi “en yüksek en iyi” kriteri seçildiyse en yüksek olan faktör serisi (alternatif) karar verme probleminde en iyi karar verme alternatifini gösterecektir [18].

3. BULGULAR

3.1. Yüzey Pürüzlülüğü ve Aşınma Kaybı

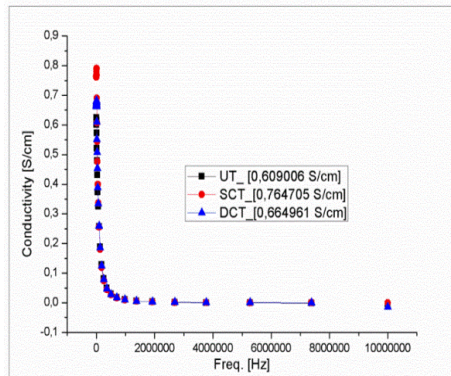
Kriyojenik işlemin numunelerin sertlik değişimlerini tespit etmek için sertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir. Numunelerin ortalama sertlik ölçümleri Tablo 5’te gösterilmektedir.

Tablo 5. Numunelerin sertlik değerleri

Numuneler	Sertlik	Birim
UT	36	
SCT	38	HRC
DCT	39	

Numunelere uygulanan sıg ve derin kriyojenik işlem Numunelerin sertliğini az miktarda artırmıştır. Derin kriyojenik işlemle sertliğin artması kristalografik ve mikro yapı değişiklikleri ile mikro karbürlerin ince dağılımına bağlanabilir [20]. Uygulanan kriyojenik işlemlerle numunelerin elektrik iletkenliğinde meydana gelen değişimi incelemek için numunelerin elektrik iletkenlikleri ölçülmüştür. Ölçülen elektrik iletkenliği grafik olarak Şekil 1’de gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde en yüksek elektrik iletkenlik değerinin sırası ile sıg kriyojenik, derin kriyojenik ve işlem görmemiş numunelerde olduğu görülmektedir. Metal malzemelerin soğutulması ile atomların termal titreşimlerinin çok zayıf olacağını, bundan dolayı da elektriksel direnç azalacak ve elektriksel iletkenlik artacağı söylenmektedir [21]. Numunelerin yapısında meydana gelen değişimlerin elektrik iletkenliğine etki ettiği sonucuna varılabilir.

EEİ işleme testlerinde 3 farklı vurum (Time on), ham ve üç farklı numune (UT, SCT ve DCT), sabit amper, sabit bekleme süresi (Toff) ve sabit talaş derinliği kullanılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü ve MAK sonuçları değerlendirilmiştir. MAK ve aşınan yüzeyin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 6’da gösterilmektedir.



Şekil 1. İşlemsiz, sıg ve derin kriyojenik işlem görmüş numunelerin elektrik iletkenliği.

Tablo 6. Deneysel çalışmada kullanılan parametreler ve deney sonuçları.

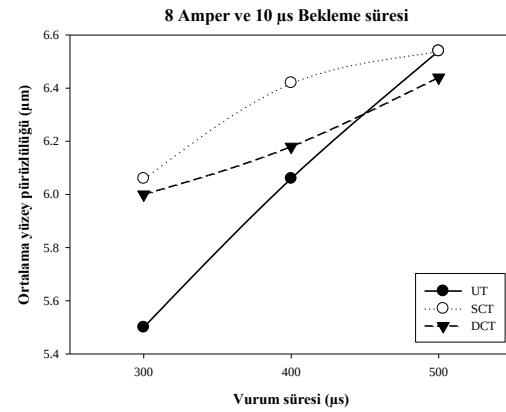
Sıra	Numuneler (A)	Derinlik (mm)	Amper	Toff (μs)	Time on (μs) (B)	İşleme süresi (dak)	Ra (μm)	MAK (g)
1	UT				300	30	5,50	2,231
2	UT				400	27	6,06	1,988
3	UT				500	29	6,54	2,158
4	SCT				300	27	6,06	2,073
5	SCT	1	8	10	400	28	6,42	2,165
6	SCT				500	27	6,53	2,024
7	DCT				300	25	6,00	1,902
8	DCT				400	30	6,18	2,233
9	DCT				500	29	6,44	2,102

En düşük yüzey pürüzlülük değerinin A_1B_1 faktör ve seviyesinde UT numunelerde 5,50 μm olarak ölçülmüştür. En yüksek yüzey pürüzlülük değerinin ise A_1B_3 UT 6,54 μm olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre kriyojenik işlemin numunelerin ortalama yüzey pürüzlülüklerine belirgin etkisinin olmadığı görülmüştür. Vurum süresinin artması yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilemiştir. Fakat yüksek vurum süresinde DCT numunelerin yüzey pürüzlülüğü daha iyi (Şekil 2) elde edilmiştir. Bu da yüzey pürüzlülüğünde yüksek vurum sürelerinde derin kriyojenik işlemin olumlu etkisine işaret etmektedir. Malzemeden kaldırılan talaş miktarlarını incelediğimizde ise en yüksek talaş kaldırma miktarı A_3B_2 faktör ve seviyelerinde 2,233 g olarak elde edilmiştir.

En düşük talaş kaldırma miktarının ise A_3B_1 faktör ve seviyelerinde 1,902 g olduğu bulunmuştur. Derin kriyojenik işlem görmüş numunede en yüksek MAK miktarının gözlemlenmesi kriyojenik işlem ile daha fazla talaş miktarı kaldırıldığını göstermektedir. 400 μs vurum süresinde elde edilen MAK miktarları karşılaştırıldığında bu durum net bir şekilde görülmektedir.

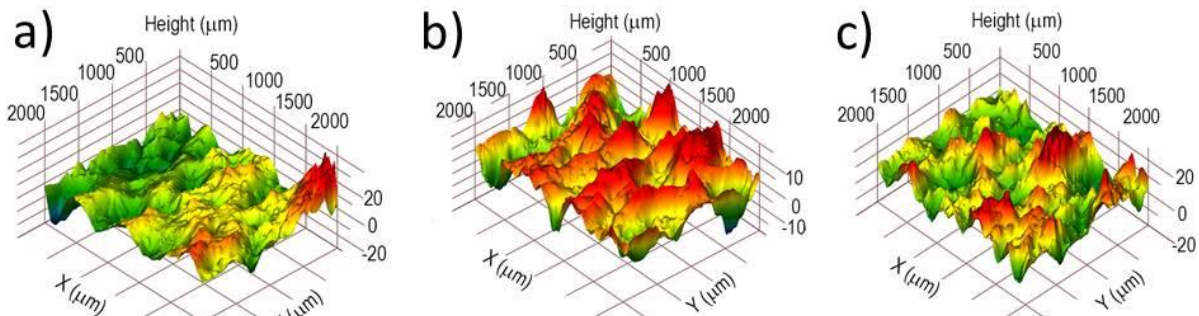
Bu duruma derin kriyojenik işlemin, numunelerin elektrik iletkenliğine etkisinin sebep olduğu söylenebilir. Daha iyi elektrik iletkenliği ile EEİ daha fazla talaş kaldırmıştır denilebilir. Süre olarak incelediğimizde ise en yüksek işleme

süresi A_1B_1 faktör ve seviyelerinde 30 dakika ile en yüksek işleme süresinde, en düşük işleme süresi A_3B_1 faktör ve seviyelerinde 25 dakika işleme süresi içinde gerçekleşmiştir. UT, SCT ve DCT numunelerin 8 A değerindeki yüzey pürüzlülük değişimleri Şekil 2' de gösterilmektedir.

**Şekil 2.**

Numunelerin 8 Amper değerindeki yüzey pürüzlülük ölçümü grafikleri.

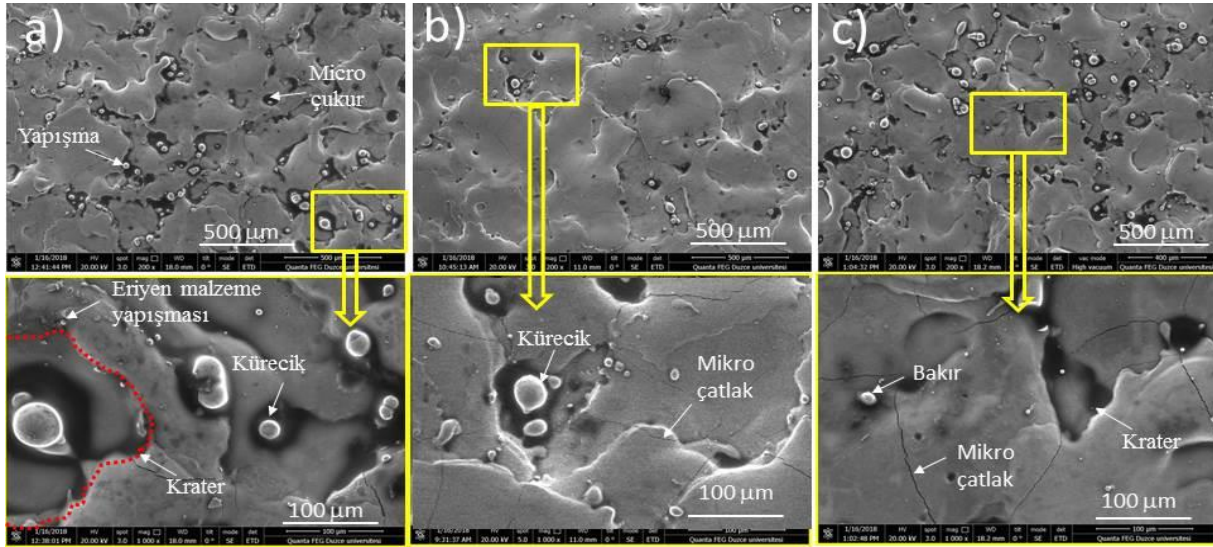
UT, SCT ve DCT numuneler 300 μs vurum süresi ve 8A akımda, elektro erozyon işleminden oluşan yüzeylerin analiz edilebilmesi için 3 boyutlu profilometre görüntüsü Şekil 3' te verilmiştir.

**Şekil 3.** Numunelere ait yüzey görüntüleri, a) UT, b) SCT, c) DCT

Vurum süresi ve akım sabit tutularak kriyojenik işlemin numunenin yüzeyine etkisi araştırılmıştır. EEİ işleminden sonra elde edilen yüzeylerde (Şekil 3) SCT numunelerin yüzeylerinde kırmızı alanların çoğunlukta olduğu görülmektedir. Bu da yüzeyin daha pürüzlü olduğunu göstermektedir. UT numunede yüzeylerin sarı ve yeşil tonlarda olduğu görülmüyor. Bu da daha düzgün yüzeyin oluştuğunu göstermektedir. UT, SCT ve DCT numunelerde 300µs vurum süresi ve 8A akımda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri sırasıyla 4,90µm - 6,06µm ve 6,00µm ölçülmüştür.

3.2. Mikro Yapı Analizi

EEİ işleme esnasında meydana gelen yüksek enerji nedeniyle numunenin ısınarak bir kısmının buharlaşmasına neden olur. İşleme esnasında oluşan kıvılcımlar ve ısıdan dolayı numunenin yüzeyinde mikro çatlaklar, kraterler ve eriyen parçaların numuneye yapışmasıyla küçük kürecikler oluşmaktadır. Oluşan şekiller iş parçasının yüzey kalitesini belirlemektedir [22]. İş parçasının yüzey kalitesi EEİ işleme parametrelerine ve iş parçasının özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

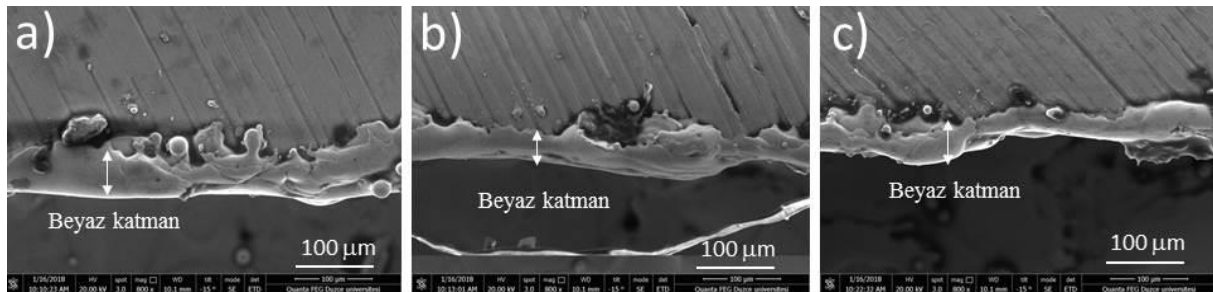


Şekil 4. Numunelere ait SEM görüntüleri, a) UT, b) SCT, c) DCT

İş parçalarının yüzey kalitesini belirlemek için öncelikli kriyojenik işlemin iş parçasının yüzey kalitesine etkisi değerlendirilmiştir. UT, SCT ve DCT numunelerin 300µs vurum süresi ve 8A akımda gerçekleştiği deneylerin SEM görüntüleri Şekil 4’ de gösterilmektedir.

Numunelerin sem görüntülerine göre SCT numunenin yüzey görüntülerinde yüzey pürüzlülüğünü etkileyen krater ve mikro çukurların daha az olduğu görülmektedir. Bu da yüzey pürüzlülüğü ve 3 boyutlu yüzey görüntüleriyle

örtüşmektedir. Numunelere uygulanan sıg kriyojenik işlem numunelerde işleme esnasında oluşan kürecik, krater ve mikro çatlakları azalttığı sonucuna varılabilir. Bu nedenlerle SCT numunenin yüzey pürüzlülüğü diğerlerine göre daha iyi elde edilmiştir. UT numunelerde belirgin şekilde numune yüzeyine yapışan küreciklerin yoğun olduğu görülmektedir. Bu da numunenin yüzey kalitesini olumsuz etkilemektedir. UT, SCT ve DCT numunelerin kesitlerinden alınan SEM görüntüleri Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Numuneleri kesitlerinden alınan SEM görüntüleri, a) UT, b) SCT, c) DCT

Beyaz katman ısıdan etkilenen numunenin dış kısmında oluşan katmandır. Bu katman erimiş malzemenin numunenin yüzeyinde katılaşmasıyla oluşan katmanlardan oluşur. Numuneye akım esnasında eriyen malzemelerin bir kısmı dielektrik sıvı ile malzemeden uzaklaştırılırken bir kısmı

numunelerin yüzeyinde birikir. Bu yapışma işlemi akım kesildiğinde (Time off) meydana gelmektedir [23, 24]. Kesit görüşlerde (Şekil 5) numunenin dış yüzeyinde oluşmuş beyaz katmanlar görülmektedir. Bu katmanlar numunelere göre farklılıklar göstermektedir. UT numunede katman daha

derin şekilde oluşmuştur. Ayrıca UT numunede (Şekil 5a) küre şeklindeki parçacıkların daha yoğun olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü daha iyi olan SCT numunede (Şekil 5b) beyaz katman daha az oluşmuştur. Ayrıca yapışan parçacıklarında daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu da sıg kriyojenik işlemin beyaz katman oluşumunu azalttığını göstermektedir.

3.3. Sinyal – Gürültü Analizi (S/N)

Deneyisel çalışmadan elde edilen MAK ve Ra sonuçlarının kontrol faktörleri (Numuneler ve Vurum süreleri) ile etkileşimleri deneyisel tasarım gerçekleştirilerek ölçülür.

Kontrol faktörlerinin optimizasyonunda Signal/Noise oranları kullanılır. Tablo 7’de elde edilen verilerin ve bu verilerden elde edilen Ra, MAK, tahmini Ra ve tahmini MAK için S/N oranları gösterilmektedir. Normalde malzemelerin aşındırılmasında hem malzeme aşınma kaybı hem de elektrot aşınma kaybı konularak zamana göre aşınma miktarları hesaplanır. Yaptığımız bu çalışmada ise deneyler sonrasında elektrot ağırlıklarının ölçüldüğünde, elektrotun ağırlıklarının arttığı, bu ağırlık artışında malzeme yüzeyinden ergitilen talaş parçacıklarının elektrotun yüzeyine yapıştığı ve ince bir film tabaka oluşturduğu tespit edilmiştir. Elektrotun yüzeyine yapışan bu malzemelerin elektrot ağırlığını artırdığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 7. L_9 ortogonal tasarıma göre gerçekleştirilen deneylerin girdi ve çıktı parametreleri.

No	Amper	Malzeme	Vurum süresin (μ s)	Ra (μ m)	Ra için S/N	MAK (g/dak)	MAK için S/N
Faktörler			Çıktı parametreleri				
1	8	UT	300	5,50	-14,8073	0,0737	22,6507
2		UT	400	6,06	-15,6495	0,0732	22,7098
3		UT	500	6,54	-16,3116	0,0744	22,5685
4		SCT	300	6,06	-15,6495	0,0768	22,2928
5		SCT	400	6,42	-16,1507	0,0773	22,2364
6		SCT	500	6,53	-16,3116	0,0761	22,3723
7		DCT	300	6,00	-15,5630	0,0763	22,3495
8		DCT	400	6,18	-15,8198	0,0744	22,5685
9		DCT	500	6,44	-16,1777	0,0735	22,6743

İşleme süresi açısından en etkili parametreler UT, SCT ve DCT için en etkili parametreler sırası ile 500 μ s, 400 μ s ve 300 μ s vurum süresi olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Taguchi istatistiksel inceleme metodu ile analiz

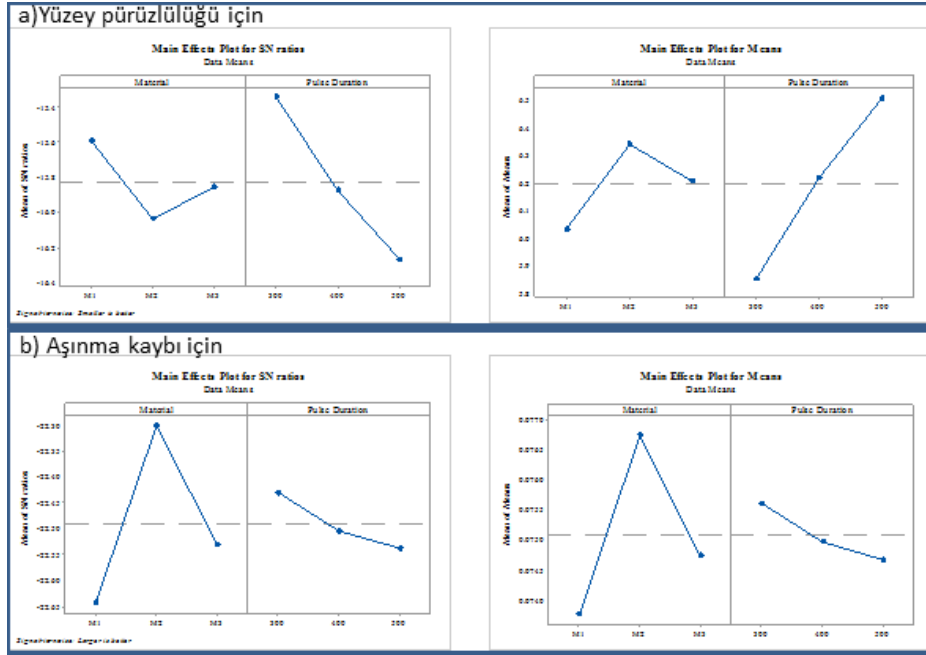
edildiğinde kontrol faktörlerinin etkileri görülmektedir. MAK ve yüzey pürüzlülüğü için S/N ve anlamlılıkları için yanıt tablosu Tablo 8’ de gösterilmektedir.

Tablo 8. Yüzey pürüzlülüğü ve MAK için S/N ve anlamlılık için yanıt tablosu.

Yüzey pürüzlülüğü (S/N)			Yüzey pürüzlülüğü anlamlılığı için yanıt tablosu		
Seviye	Malzeme	Vurum Süresi	Seviye	Malzeme	Vurum Süresi
1	-15,59	-15,34	1	6,033	5,853
2	-16,04	-15,87	2	6,340	6,220
3	-15,85	-16,27	3	6,207	6,507
Delta	0,45	0,93	Delta	0,307	0,653
Sıralama	2	1	Sıralama	2	1
Malzeme Aşınma Oranı (S/N)			Aşınma Kaybı anlamlılığı için yanıt tablosu		
Seviye	Malzeme	Vurum Süresi	Seviye	Malzeme	Vurum Süresi
1	-22,64	-22,43	1	0,07377	0,07560
2	-22,30	-22,50	2	0,07673	0,07497
3	-22,53	-22,54	3	0,07473	0,07467
Delta	0,34	0,11	Delta	0,00297	0,00093
Sıralama	1	2	Sıralama	1	2

Tablo 8’ de gösterilen yanıt tablosu incelendiğinde yüzey pürüzlülük değerleri için en etkili parametrenin malzeme ve vurum süresi için sırası ile A_1B_1 , MAK için ise A_2B_1 olarak belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve MAK için ana etkiler grafikleri Şekil 6’ da gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde dikeye en yakın olan değer en etkili parametredir. Yüzey pürüzlülük değeri için en ideal değerler A_1B_1 faktör ve

seviyelerinde elde edilmiştir. MAK için en ideal değerleri A_2B_1 faktör ve seviyelerinde elde edilmiştir. Anlamlılık grafikleri olarak verilirse ise tam tersi olur. Dikeyde düşeye yakın olan değer en etkili parametre olarak seçilmektedir. S/N grafiğindeki dikey nokta ile anlamlılıktaki düşey nokta aynı değeri vermektedir.



Şekil 6. Yüzey pürüzlülüğü ve malzeme aşınma kaybı için ana etkiler ve anlamlılık grafiği

3.4. ANOVA

ANOVA deneysel çalışmada kullanılan kontrol faktörlerinin birbirleri ile etkileşimlerini belirlemek için kullanılan istatistiksel bir metottur. Bu çalışmada deney parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerine bir birleri ile etkileşimlerini incelemek için ANOVA kullanılmıştır.

Yüzey pürüzlülüğü ve malzeme aşınma kaybı için ANOVA sonuçları Tablo 9’ da gösterilmiştir. Bu çalışmada gerçekleştirilen analiz %95 güven ve %5 anlamlılık seviyesinde gerçekleştirilmiştir. ANOVA da kontrol faktörlerinin önemi her kontrol faktörünün F değeri ile belirlenir.

Tablo 9. Yüzey pürüzlülüğü ve malzeme aşınma kaybı için ANOVA sonuçları.

Yüzey pürüzlülüğü							
Kaynak	DF	Seq SS	Katkı (%)	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	2	0,1419	15,65	0,1419	0,07093	2,34	0,212
Vurum süresi	2	0,6435	70,99	0,6435	0,32173	10,63	0,025
Hata	4	0,1211	13,36	0,1211	0,03027		
Toplam	8	0,9064	100,00				
R-sq 86,64%							
Malzeme aşınma kaybı							
Kaynak	DF	Seq SS	Katkı (%)	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	2	0,000014	71,26	0,000014	0,000007	6,58	0,054
Vurum süresi	2	0,000001	7,07	0,000001	0,000001	0,65	0,569
Hata	4	0,000004	21,67	0,000004	0,000001		
Toplam	8	0,000019	100,00				
R-sq 78,33%							

3.5. Regresyon Analizi

Regresyon analizleri, bir bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiye sahip çeşitli değişkenlerin modellenmesi ve analizi için gerçekleştirilir [25-27]. Bu çalışmada yüzey pürüzlülüğü ve malzeme

aşınma kaybı için tahmini eşitlikler regresyon analizi ile hesaplanmıştır. Tahmini eşitlikler lineer olarak hesaplanarak Tablo 10' da gösterilmektedir.

Tablo 10. Yüzey pürüzlülüğü ve malzeme aşınma kaybı için tahmini eşitlikler.

Ortalama yüzey pürüzlülüğü			
Numuneler			Eşitlik
M1	Ra (μm)	=	4,727 + 0,003267 Vurum süresi
M2	Ra (μm)	=	5,033 + 0,003267 Vurum süresi
M3	Ra (μm)	=	4,900 + 0,003267 Vurum süresi
Malzeme aşınma kaybı			
M1	MAK(g/dak)	=	0,07563 - 0,000005 Vurum süresi
M2	MAK(g/dak)	=	0,07860 - 0,000005 Vurum süresi
M3	MAK(g/dak)	=	0,07660 - 0,000005 Vurum süresi

3.6. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Tahminleri

Ortalama yüzey pürüzlülüğü ve malzeme aşınma kayıpları tahminleri Eşitlik 15 ve Eşitlik 16'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Bu eşitlikte; S/N oranına göre yüzey pürüzlülüğü ve malzeme aşınma kaybı için ideal değerler sırası ile Tablo 7' den belirlenerek A₁B₁ (5,50 μm) - A₂B₁ (0,0768 g) faktörü olarak belirlenmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük aritmetik ortalaması (T_{Ra}) Tablo 7'deki veriler kullanılarak hesaplanmıştır [13].

$$Ra_p = T_{Ra} + (A_1 - T_{Ra}) + (B_1 - T_{Ra}) \quad (15)$$

$$Ra_p = 6,19 + (6,033 - 6,19) + (5,853 - 6,19) = 5,69 \mu m$$

$$MAK_p = T_{MAK} + (A_2 - T_{Ra}) + (B_1 - T_{Ra}) \quad (16)$$

$$MAK_p = 0,075 + (0,0767 - 0,075) + (0,0749 - 0,075) = 0,0757 \text{ g/dak}$$

A₁B₁ faktörleri ile A₂B₁ faktörleri gerçekleştirilen değerlerin tahmini değerler ile birbirine yakın hesaplandığı görülmektedir.

3.7. Gri İlişki Analizi Sonucu

Elektro erozyon ile işlemede, işlenen yüzeyin ortalama yüzey pürüzlülük değerinin düşük, malzeme yüzeyinden kaldırılan talaşın çok olması istenir. Bu yöntemde referans serileri oluşturulurken yüzey pürüzlülük değerleri için en düşük en iyi, malzeme yüzeyinden kaldırılan talaş içinse en yüksek en iyi eşitliğine göre oluşturulur. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri için normalizasyon işlemini hesaplamada;

$$x_i(1) = \frac{\max x_i^0(1) - x_i^0(1)}{\max x_i^0(1) - \min x_i^0(1)} = \frac{6,54 - 5,50}{6,54 - 5,50} = 1 \quad (17)$$

Elektro erozyon ile işlemede talaş kaldırma miktarının normalizasyon işleminin hesaplanmasında;

$$x_i(1) = \frac{x_i^0(1) - \min x_i^0(1)}{\max x_i^0(1) - \min x_i^0(1)} = \frac{0,0737 - 0,0732}{0,0773 - 0,0732} = 0,122 \quad (18)$$

Normalize işlemi gerçekleştirilen sonuçlar referans serisinden çıkarılarak katsayı matrisi için gerekli olan uzaklık matrisi bulunmuş olur. Katsayı matrisinin hesaplanması için x = 0,5 orta değeri alınır. 1. deneyin yüzey pürüzlülük katsayı matrisini hesaplayacak olursak;

$$\Delta_{oi}(k) = |x_0(k) - x_j(k)| = |1 - 1| = 0 \quad (19)$$

$$\varepsilon(x_0(k), x_j(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \xi \Delta_{\max}} \quad (20)$$

$$= \frac{0 + 0,5}{0 + 0,5} = 1$$

1. deneyin malzeme aşınma kaybı katsayı matrisini hesaplayacak olursak;

$$\Delta_{oi}(k) = |x_0(k) - x_j(k)| \quad (21)$$

$$= |1 - 0,122| = 0,878$$

$$\varepsilon(x_0(k), x_j(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \xi \Delta_{\max}} \quad (22)$$

$$= \frac{0 + 0,5}{0,878 + 0,5} = 0,362$$

Deneylerden elde edilen sonuçların normalizasyonunu hesaplamada Microsoft Excel programı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve malzeme aşınma kaybı için normalizasyon ve katsayı matrisi değerleri Tablo 11' de gösterilmektedir.

Tablo 11. Yüzey pürüzlülüğü ve MAK için normalizasyon ve katsayı matrisi değerleri.

Normalizasyon			Katsayı Matrisi		
Deney No	Ra	MAK	Deney No	Ra	MAK
1	1,000	0,122	1	1,000	0,363
2	0,462	0,000	2	0,481	0,333
3	0,000	0,293	3	0,333	0,414
4	0,462	0,878	4	0,481	0,804
5	0,115	1,000	5	0,361	1,000
6	0,010	0,707	6	0,335	0,631
7	0,519	0,756	7	0,510	0,672
8	0,346	0,293	8	0,433	0,414
9	0,096	0,073	9	0,356	0,350

Yüzey pürüzlülüğü ve malzeme aşınma miktarının katsayı matrisleri bulunduğundan sonra bulunan değerlerin ortalaması Gri ilişkisel dereceyi verir.

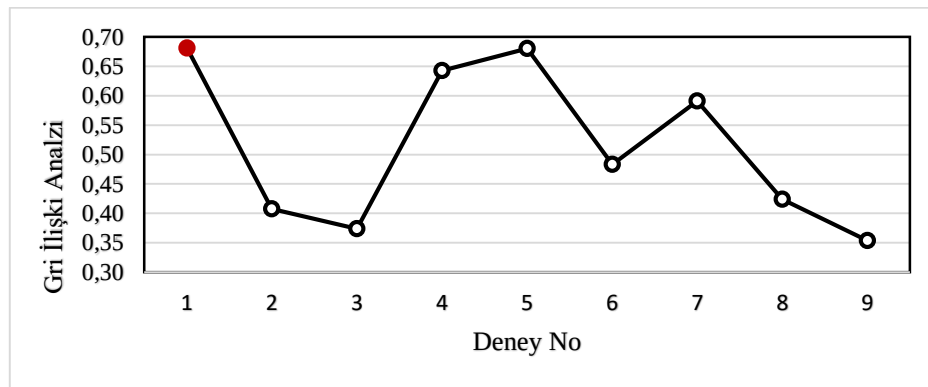
Hesaplanan derecelerdeki en yüksek değer en ideal değer olarak tanımlanır [18]. Bu çalışma için en ideal değer 7 numaralı deneyde kullanılan parametrelerde olduğu (Tablo 12) görülmektedir.

Tablo 12. Gri ilişki analizi ve sıralaması.

No	Amper	Numune	Bekleme süresi (μs)	Vurum süresin (μs)	Ra (μm)	MAK (g/dak)	Gri ilişkisi	Sıralama
1		UT		300	5,50	0,0737	0,6814	1
2		UT		400	6,06	0,0732	0,4074	7
3		UT		500	6,54	0,0744	0,3737	8
4		SCT		300	6,06	0,0768	0,6427	3
5	8	SCT	10	400	6,42	0,0773	0,6806	2
6		SCT		500	6,53	0,0761	0,4831	5
7		DCT		300	6,00	0,0763	0,5910	4
8		DCT		400	6,18	0,0744	0,4237	6
9		DCT		500	6,44	0,0735	0,3533	9

Maksimum aşınma miktarı ve en düşük yüzey pürüzlülük değeri için gri ilişkisel derece grafiği Tablo 12’ de ki gri

ilişki sütunundaki değerlere göre oluşturularak Şekil 7’ de gösterilmektedir.

**Şekil 7.** Gri ilişkisel derece grafiği.

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada; demir klorür, bakır klorür, klorin, sıcağtan bozulmuş çözeltiler, formik, asetik asit, asetik anhidrit, karıncalanma, çatlak korozyonu, gerilim korozyonu çatlama, deniz suyu ve salamura çözeltileri gibi çok çeşitli

kimyasal ortamlara karşı çok üstün bir dirence sahip Nikel esaslı süperalaşımı dalma erozyon tezgahında farklı işleme parametreleri kullanılarak talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Talaş kaldırma işlemi sonrasında malzeme aşınma miktarı ve malzeme yüzeyinde oluşan yüzey pürüzlülüğü değerleri belirlenmiştir. Belirlenen

değerler deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiş olup sonuçlar maddeler halinde yazılmıştır.

- Kriyojenik işlemi deneysel çalışmada kullanılan numunelerin sertliğini az miktarda arttığı,
- En yüksek elektrik iletkenlik değerinin sırası ile sıg kriyojenik, derin kriyojenik ve işlem görmemiş malzemede oluştuğu,
- En düşük yüzey pürüzlülük değerinin A_1B_1 faktör ve seviyesinde UT kodlu sıg kriyojenik işlem gören malzemede $5,50 \mu m$ olarak oluştuğu,
- En büyük yüzey pürüzlülük değerinin ise A_1B_3 UT $6,54 \mu m$ olarak elde edildiği,
- Malzemeden kaldırılan talaş miktarlarını incelediğimizde ise en yüksek talaş kaldırma miktarı A_3B_2 faktör ve seviyelerinde $2,233 g$ olarak oluştuğu,
- En düşük talaş kaldırma miktarının ise A_3B_1 faktör ve seviyelerinde $1902 g$ olduğu,
- En yüksek işleme süresi A_1B_1 faktör ve seviyelerinde 30 dakika ile en yüksek işleme süresinde,
- En düşük işleme süresi A_3B_1 faktör ve seviyelerinde 25 dakika işleme süresi içinde gerçekleştiği,
- UT, SCT ve DCT numunelerin yüzeylerinde krater oluşumu, yapışmalar, mikro çukurlar ve yüzey üzerinde elektrot malzemesi olan bakır parçacıklarının oluştuğu,
- Deneyler sonrasında elektrot ağırlıklarının ölçüldüğünde, elektrot Numunelerinin ağırlıklarının arttığı bu artışında malzeme yüzeyinden ergitilen talaş parçacıklarının elektrot malzeme yüzeyine yapıştığı ve ince bir film tabaka oluşturduğu,
- İşleme süresi açısından en etkili parametreler UT, SCT ve DCT için en etkili parametreler sırası ile $500 \mu s$, $400 \mu s$ ve $300 \mu s$ vurum süresi oluştuğu,
- Yanıt tabloları incelendiğinde yüzey pürüzlülük değerleri için en etkili parametrenin malzeme ve vurum süresi için sırası ile A_1B_1 , MAK için ise A_2B_1 olarak belirlendiği,
- Anova sonuçlarına göre yüzey pürüzlülük değeri için en etkili parametrenin $\%70,99$ ile vurum süresi olarak, malzeme aşınma kaybı için ise $\% 71,66$ ile malzeme olarak oluştuğu,
- Ortalama yüzey pürüzlülüğü ve malzeme aşınma kayıpları tahminleri hesaplandığında değerler sırası ile $5,69 \mu m$ ve $0,0757 g/dak$ olarak hesaplandığı,
- Maksimum aşınma miktarı ve en düşük yüzey pürüzlülük değeri için gri ilişkisel derecesi hesaplandığında her ikisi için ideal faktörler 1 deney ile gerçekleştirilen parametrelerde oluştuğu tespit edilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1]. S. Akıncıoğlu, H. Gökkaya and İ. Uygur, "A review of cryogenic treatment on cutting tools", Int J Adv Manuf Technol, vol. 78, no. 9, pp. 1609-1627, 2015.
- [2]. V. Firouzdor, E. Nejati and Khomamizadeh F, "Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill", J. Mater. Process. Tech, vol. 206, no. 1, pp. 467-472, 2008.
- [3]. G. Akıncıoğlu et al., "Taguchi optimization of machining parameters in drilling of AISI D2 steel using cryo-treated carbide drills", Sādhanā, vol. 42, no. 2, pp. 213-222, 2017.
- [4]. Y. Arslan, and A. Özdemir, "The Effects cryogenic treatment time on wear behaviour and tool life Of AISI D3 cold work steel punches". Journal of Advanced Technology Sciences, vol 2, no. 3, pp. 87-99, 2013.
- [5]. I. Uygur et al., "The Effects of cryogenic treatment on the corrosion of AISI D3 steel", Materials Research, vol. 18, no. 3, pp. 569-574, 2015.
- [6]. Y. Arslan, and A. Özdemir, "Punch structure, punch wear and cut profiles of AISI 304 stainless steel sheet blanks manufactured using cryogenically treated AISI D3 tool steel punches", Int J Adv Manuf Technol, vol. 87, no. 1-4, pp. 587-599, 2016.
- [7]. S. Akıncıoğlu, H. Gökkaya, and İ. Uygur, "The effects of cryogenic-treated carbide tools on tool wear and surface roughness of turning of Hastelloy C22 based on Taguchi method". Int J Adv Manuf Technol, vol. 82, no. 1, pp. 303-314, 2016.
- [8]. J. Lee, et al., Modern manufacturing, mechanical engineering handbook. Boca Raton, 1999.
- [9]. N. Mohd Abbas, D.G. Solomon, and M. Fuad Bahari, "A review on current research trends in electrical discharge machining (EDM)", Int. J. Mach. Tool Manufact., vol. 47, no. 7, pp. 1214-1228, 2007.
- [10]. Y.K.Yang, M.T. Chuang and S.S. Lin, "Optimization of dry machining parameters for high-purity graphite in end milling process via design of experiments methods", J. Mater. Process. Tech, vol. 209, no. 9, pp. 4395-4400, 2009.
- [11]. A. Bensely et al., "Influence of deep cryogenic treatment on alloy carbide precipitations and mechanical properties of AISI M2 high speed tool steel", Cold Facts, vol. 28, no. 2, pp. 1-28, 2012.
- [12]. C. Gogte et al., "Deep subzero processing of metals and alloys: evolution of microstructure of AISI T42 tool steel" Mater. and Manufact. Processes, vol. 24, no. 7-8, pp. 718-722, 2009.
- [13]. T. Kıvak, "Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts", Measurement, vol. 50, no. pp. 19-28, 2014.
- [14]. Y. K. Yang, J.R. Shie, and C. H. Huang, "Optimization of dry machining parameters for high-purity graphite in end-milling process" Mater. and Manufact. Processes, vol. 21, no. 8, pp. 832-837, 2006. N. Masmiati and A. A. Sarhan, "Optimizing cutting parameters in inclined end milling for minimum surface residual stress-Taguchi approach", Measurement, vol. 60, pp. 267-275, 2015.
- [15]. K. Nagaraja et al., "Effect of process parameters on delamination, thrust force and torque in drilling of carbon fiber epoxy composite", Res. J. Recent Sci., vol. 2, no. 8, pp. 47-51, 2013.

- [16]. N. Tosun, "Determination of optimum parameters for multi-performance characteristics in drilling by using grey relational analysis". *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 28, no. 5-6, pp. 450-455, 2006.
- [17]. E. Yılmaz, and F. Güngör, "Gri ilişkisel analiz yöntemine göre farklı sertliklerde optimum takım tutucusunun belirlenmesi", 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir, pp. 1-5, 2010
- [18]. S.P. Lo, "The application of an ANFIS and grey system method in turning tool-failure detection", *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 19, no. 8, pp. 564-572, 2002.
- [19]. H.G. Nanesa, M. Jahazi, and R. Naraghi, "Martensitic transformation in AISI D2 tool steel during continuous cooling to 173 K", *Journal of materials science*", vol. 50, no. 17, pp. 5758-5768, 2015.
- [20]. X. Jiao et al. "Mechanical properties of low density alloys at cryogenic temperatures. vol. 824, no. 69, 1-11, 2006.
- [21]. A. Kumar, V. Kumar, and J. Kumar, "Investigation of microstructure and element migration for rough cut surface of pure titanium after WEDM", *IJMMP*, vol. 8, no. 4-5, pp. 343-356, 2013.
- [22]. J. Soni and G. Chakraverti, "Experimental investigation on migration of material during EDM of die steel (T215 Cr12)", *J. Mater. Process. Tech*, vol. 56, no. 1-4, pp. 439-451, 1996.
- [23]. W. Weingaertner and F. Amorim, "Die-Sinking electrical discharge machining of a high-strength copper-based alloy for injection molds", *J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.*, vol. 2, no. 137, pp. 137-142, 2004.
- [24]. M. H. Cetin et al., "Evaluation of vegetable based cutting fluids with extreme pressure and cutting parameters in turning of AISI 304L by Taguchi method", *Journal of Cleaner Production*, vol. 19, no. 17, pp. 2049-2056, 2011.
- [25]. E. Nas and H. Gökkaya, "Experimental and statistical study on machinability of the composite materials with metal matrix Al/B₄C/Graphite", *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 48, pp. 5059-5067, 2017.
- [26]. E. Nas and B. Öztürk, "Optimization of surface roughness via the Taguchi method and investigation of energy consumption when milling spheroidal graphite cast iron materials," *Mater Test.*, vol. 60(5), pp. 519-525, 2018.

Doğal ve Modifiye Edilmiş Sepiyolit ile Sulu Çözeltilerden Arsenik ve Manganın Adsorpsiyonu ile Ayrımı

*¹Ayten Ateş, ²Gökhan Yaşar

¹ Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Böl., 58140 Sivas/Türkiye, aytates@gmail.com, 

¹ Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Böl., 58140 Sivas/Türkiye, gkhysr40@gmail.com, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 07.04.2018

Kabul Tarihi: 16.11.2018

Öz

Doğal sepiyolit kil minerali Türkiye'nin Maden Tetkik ve Arama (MTA) kurumundan sağlanmış ve 2.5 M NaOH ile modifiye edilmiştir. Doğal (SP) ve modifiye edilmiş sepiyolit (Na-SP) örnekleri XRD, N₂ adsorpsiyonu-desorpsiyonu, FTIR, SEM-EDS ve NH₃-TPD ile karakterize edilmiştir. NaOH ile sepiyolit modifikasyonu, sepiyolit önemli miktarda desilikasyonuna ve dekatyonizasyonuna neden olmuştur. Sepiyolit alkali muamelesi ile silisyum ve magnezyum çözünmesi sonucu sepiyolit ortalama gözenek çapında artış ve yüzey alanında 187. 8 m² g⁻¹'den 7.1 m²g⁻¹'a azalma belirlenmiştir. Ayrıca, zayıf ve orta asit merkezleri azalırken, güçlü asit merkezleri artmıştır. SP ile maksimum As(III) ve As(V) ayrımı pH=1.5'de sağlanmış olup, değerler yaklaşık olarak sıra ile 8.9 mg g⁻¹ ve 26.8 mg g⁻¹'dir. Na-SP örneklerinde maksimum As(III) ve As(V) ayrımı pH=5.0'de sağlanmış olup, onların miktarı ise sıra ile 46.7 mg g⁻¹ ve 35.9 mg g⁻¹'dir. Doğal sepiyolit maksimum Mn(II) uzaklaştırma miktarı ise 5.2 mg g⁻¹'dir. Sepiyolit NaOH ile modifikasyonu ile arsenik adsorpsiyon kapasitesi dört kata kadar artmış olup, bu değer demir içeren sepiyolit örnekleri ve bimetalik oksitler ile karşılaştırılabilir. Langmuir izotermi SP ile As(V) ve Na-SP ile As(III) ayrımı sonuçlarına uyumlu olmasına karşılık Freundlich izoterm modeli SP ile Mn(II) ve Na-SP ile As(V) uzaklaştırmasında uygunluk göstermiştir. Doğal ve modifiye edilmiş sepiyolit ile arsenik ve mangan adsorpsiyonu için kaydırılmış ikinci mertebeden kinetik model iyi uyum sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sepiyolit, mangan, arsenik, adsorpsiyon, NaOH ile muamele

The Adsorptive Removal of Arsenic and Manganese from Aqueous Solution by Natural and Modified Sepiolite

*¹Ayten Ateş, ²Gökhan Yaşar

¹Cumhuriyet University, Engineering Faculty, Department of Chemical Engineering, 58140 Sivas, Turkey, aytates@gmail.com.

²Cumhuriyet University, Engineering Faculty, Department of Chemical Engineering, 58140 Sivas, Turkey, gkhysr40@gmail.com

Abstract

The natural sepiolite clay mineral was obtained from General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) of Turkey and modified with 2.5 M of NaOH. The natural (SP) and modified (Na-SP) sepiolite samples were characterized by XRD, N₂ adsorption-desorption, FTIR, SEM-EDS and NH₃-TPD. The treatment of the sepiolite with NaOH led to a significant desilication and decationization of the SP. The alkali treatment with NaOH caused solution of silicon and cations, resulting in an increase in its average pore diameter and a decrease in its surface area from 187. 8 m² g⁻¹ to 7.1 m² g⁻¹. In addition, a number of weak and medium acid centres of SP was decreased while a number of strong acid centres was increased. The maximum As(III) and As(V) removal with the SP was achieved at an initial pH of 1.5, respectively; ca. 8.9 mg g⁻¹ and 26.8 mg g⁻¹. The maximum removal of As(III) and As(V) with Na-SP was achieved at an initial pH of 5.0; ca. 46.7 mg g⁻¹ and 35.9 mg g⁻¹, respectively. The maximum Mn(II) removal with SP was 5.2 mg g⁻¹. Treatment of SP with NaOH increased its the arsenic

*Sorumlu Yazar: Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas, Türkiye, aytates@gmail.com

Doi: 10.21541/apjes.413488

adsorption capacity up to four times, which is comparable to iron-containing sepiolite samples and bimetallic oxides. While the Langmuir isotherm fitted well with results obtained from the As(V) with SP and As(III) with Na-SP, the Freundlich isotherm model was more appropriate for the results obtained from As(V) with Na-SP and from Mn(II) of SP. The pseudo-second-order kinetic model for the adsorption of arsenic and manganese on natural and modified sepiolite fitted well.

Keywords: Sepiolite, manganese, arsenic, adsorption, treatment with NaOH

1. GİRİŞ

Doğal su kaynaklarında bulunan arsenik kirliliği problemi farklı alanlarda araştırmacılarının ilgisini çekmektedir. Dünya çapında çoğu bölgelerde yer altı sularında arsenik, As(V) ve As(III) değerlikle bulunmaktadır. Arsenik zehirlenmesi Japonya, Çin, Meksika, Arjantin, Hindistan ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) gibi ülkelerde rapor edilmektedir [1], [2]. Dünya Sağlık Organizasyonu (WHO) içme sularında arsenik için maksimum kirlenme düzeyini $10 \mu\text{g L}^{-1}$ değere indirgenmesini tavsiye etmektedir. Bu nedenle, endüstriyel atıklardan ya da içme sularından arsenik ayrımı için yeni malzemelerin ve düşük maliyetli alternatiflerinin geliştirilmesi ya da mevcut yöntemlerin iyileştirilmesi gerekmektedir [3].

Mangan yer kabuğunda bol miktarda bulunmaktadır. İçme sularında manganın varlığı ise, pirolusit (MnO_2) ve mangan bromid (MnBr_2) minerallerinin su kaynaklarına çözünmesinin bir sonucudur. Türkiye'nin Sivas bölgesinde, MnO_2 ve MnBr_2 kayaçlarının içme suyuna çözünmesi sonucu, iklim koşullarına bağlı olarak, içme sularında mangan derişimi maksimum kirlenme derişimine ulaşmaktadır. Ayrıca, mangan minerali galvanik, metal kaplama, metalürjik kimyasal üretim, madencilik ve pil imalatı gibi çeşitli endüstriyel kaynaklardan da gelebilmektedir. Türkiye'de içme sularında izin verilen Mn(II)'in maksimum miktarı 0.1 mg L^{-1} iken ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA)'nın izin verdiği derişim daha düşük olup, 0.05 mg L^{-1} 'dir. Sağlık yönetmeliklerinin bir sonucu olarak, içme sularında manganın derişim düzeyinin azaltılması zorunlu olmaktadır. Bu nedenle, sıralanan konvansiyonel yöntemler uygulanmaktadır: Membran filtrasyon [4], [5], kimyasal çöktürme [5] ve silika [6] ve aktif karbon [7] ile iyon değişimidir [8]. Ayrıca, uygun bir adsorbent seçildiğinde ya da tasarlandığında, ekonomik ve kolay işleme sahip olan adsorpsiyon prosesi önemli bir alternatif olabilmektedir. Zeolitler, sepiyolit, kitosan ve kil gibi bazı doğal malzemeler düşük maliyetli adsorbentlere alternatif olarak göz önüne alınmaktadır [9]. Doğal malzemeler arasında, sepiyolit, $(\text{Si}_{12})(\text{Mg}_8)\text{O}_{30}(\text{OH})_4(\text{OH}_2)_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ birim hücre formülüne sahip, mikro fiber yapılu bir magnezyum hidrosilikattir [10], [11]. Ayrıca, sepiyolit yüksek yüzey alanına ve yüksek kimyasal ve mekanik kararlılığa sahiptir [12]. Sepiyolitin karakteristik özellikleri, organik ve inorganik iyonları adsorplamakta adsorbent olarak kullanımına imkan verebilmektedir. Sepiyolitin genel yapısı mikro fiber yönde büyüyen blok ve tünellerin birbirinden ayrılmasıyla oluşmaktadır. Her bir blok, merkezde yer alan oktahedral magnezyum tabakaya bitişik iki tetrahedral silika

tabakasından oluşmaktadır. Ancak silika tabakalar sürekli olmayıp, silika tabakaların ters çevrilmesi yapısal tünellere neden olmaktadır. Sepiyolitin kozmetik, seramik, deterjan, kağıt ve boya gibi endüstriyel alanlarda da uygulamaları, malzemenin moleküler büyüklükteki kanallarının ve yüksek yüzey alanının ($>200 \text{ m}^2/\text{g}$) bir sonucu olabilmektedir [13]. Sepiyolit, ağır metalleri (Cu^{+2} , Zn^{+2} , Cd^{+2} , Co^{+2} , Pb^{+2} , Sr^{+2} ve Cr^{+6}) [14]–[22] içeren atık su arıtımı için yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahiptir. Fakat doğal sepiyolit ile içme sularından arsenik ve mangan ayrımı için sadece birkaç çalışma bulunmaktadır [19], [23], [24].

Bu çalışmanın amacı adsorpsiyon ile sulu çözeltilerden Mn(II), As(III) ve As(V) türlerini ayırmak için doğal ve modifiye edilmiş sepiyolitin kapasitesinin belirlenmesidir. Doğal ve modifiye edilmiş sepiyolitin adsorpsiyon kapasitesi üzerine başlangıç pH değerinin, başlangıç metal derişiminin ve temas süresinin etkisi incelenmiştir. Doğal ve modifiye edilmiş sepiyolitin kimyasal bileşimi, morfolojisi, faz bileşimi, spesifik yüzey alanı ve gözenek hacmi belirlenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzemeler

Doğal sepiyolit (SP) Türkiye'nin Maden Tetkik ve Arama (MTA) kurumundan sağlanmıştır. Sepiyolit ilk olarak bilyeli değirmen ile öğütülmüş ve elek ile parçacık boyutu $0.25\text{--}0.5 \text{ mm}$ aralığına ayarlanmış ve 120°C 'de kurutulmuştur. Sepiyolitin Na formu, 80°C 'de 2.5 M NaOH'in 250 cm^3 ile 10 g doğal sepiyolitin Heidolph MR 3001 manyetik karıştırıcı ile 200 rpm karıştırma hızında 60 dk süre ile muamelesi ile hazırlanmıştır. Yıkama ve kurutma sonrasında örnek 2 saat süre ile 500°C 'de hava atmosferinde kalsine edilmiş ve böylece Na içeren sepiyolit (Na-SP) üretilmiştir.

Adsorpsiyon çalışmalarında arsenik ve manganın 1000 mg L^{-1} başlangıç çözeltiler kullanılmıştır. As(V) çözeltisi, $\% 2 \text{ HNO}_3$ 'de çözülmüş As_2O_3 (Fluka, 39436), As(III) çözeltisi 0.5 M HNO_3 'de çözülmüş H_3AsO_4 (Merck, 1.19773.0500) ve Mn (II) çözeltisi $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{ H}_2\text{O}$ (Merck, A369440) tuzu ile hazırlanmıştır. Kesikli adsorpsiyon deneylerinde istenen derişime çözeltiler stok metal çözeltilerinin deiyonize su kullanılarak seyreltilmesi ile hazırlanmıştır.

2.2. Örneklerin Karakterizasyonu

SP ve Na-SP örneklerinin kimyasal bileşimi Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) (JEOL/ JSM-6610) üzerine

yerleştirilmiş Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDS) (OXFORD INSTRUMENTS INCA X-Act / 51-ADD0013) kullanılarak analiz edilmiştir.

SP ve Na-SP örneklerinin morfolojisi SEM (SEM) (JEOL/ JSM-6610) ile görüntülenmiştir.

Örneklerin X-Işını Kırınımı (XRD) mono kromatografik olmayan Cu K α 1-radyasyonlu (40 kV, 40 mA, $\lambda = 1.5 \text{ \AA}$) Rigaku SmartLab X-ray diffraktometre ile belirlenmiştir. Tarama aralığı $2\theta = 5-65^\circ$ dir.

Örneklerin spesifik yüzey alanı ve gözenek hacimleri -196 °C'de N₂ adsorpsiyonu- desorpsiyonu (AUTOSORB 1C) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Adsorpsiyon öncesinde, örnekler oda sıcaklığında 66.6 Pa basınca kadar vakum uygulanmış ve sonra 250 °C'e örnek hücresi ısıtılmış ve 1.3 Pa basınca ulaşınca kadar vakum uygulanmıştır. Yüzey alanı, toplam gözenek hacmi ve mikro gözenek hacmi sıra ile çok noktalı BET, t-plot ve DR (Dubinin–Radushkevich) yöntemleri ile belirlenmiştir.

Infrared adsorpsiyon ölçümleri Fourier Transform Infrared (FTIR) spektrofotometresi (Bruker Optics- Alpha) ile ölçülmüştür. FTIR spektrum elmas kristalli tek sekmeli ATR kullanılarak 650-4000 cm⁻¹ dalga boyu aralığında ölçülmüştür. Örneklerin FTIR spektrumu 128 taramanın ortalamasıdır ve ölçümlerde kullanılan spektrum çözünürlüğü ise 4 cm⁻¹ dir.

Doğal ve modifiye edilmiş sepiyolitün yüzey asitliğini belirlemek için amonyak ile sıcaklık programlı desorpsiyon (NH₃-TPD) Autochem II-2920 (Micromeritics) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Örnekler 50 °C'de helyumda % 15 (v/v.) NH₃'ün akışı ile doyurulmuş ve sonra adsorplanmış amonyak saf helyumun 25 cm³ dk⁻¹ akış hızı ile 10 K dk⁻¹ ısıtma hızı ile 900 °C'e kadar ısıtma ile desorbe edilmiştir.

2.3. Adsorpsiyon Deneyleri

Kesikli adsorpsiyon deneyleri 200 rpm sabit karıştırma hızında 25 °C'de manyetik bir karıştırıcı (IKA-RT10) kullanılarak cam erlenlerde (0.1 L) gerçekleştirilmiştir. Kinetik çalışmalarda, manganın 25–250 mg L⁻¹ derişim aralığı ve arsenik örneklerinin 25–100 mg L⁻¹ derişim aralığında zamanın farklı periyotlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. pH değişimi ile Mn(II)'in çökmesi nedeniyle çözeltinin doğal pH (pH $\approx$ 6.0)'ında, deneyler gerçekleştirilmiştir. SP ve Na-SP ile arsenik adsorpsiyonu pH'ın 1.5- 9.0 aralığında gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon kapasitesine pH'ın etkisi incelemesinde 1 g L⁻¹ adsorbent miktarı, 25 °C'de ve 100 mg L⁻¹ başlangıç arsenik derişimi ile 8 saat adsorpsiyon süresi ile gerçekleştirilmiştir. As(III, V) çözeltilerinin başlangıç pH'ı HCl ve NaOH çözeltileri ile Chebios 640 Lab pH metre kullanılarak ayarlanmıştır. Arsenik ve manganın adsorpsiyon denge süresinin belirlenmesi, farklı adsorpsiyon sürelerinde farklı arsenik ve mangan derişimlerinde 25 °C'de 1 g L⁻¹ adsorbent miktarı ile

gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon sonrasında, çözelti karışımından katı ve sıvıyı ayırmak için 5000 rpm'de 5 dk santrifüj (Hettich Zentrifugen, Universal 16A) edilmiştir. Adsorpsiyon öncesi başlangıçta ve adsorpsiyon sonrası sıvıda kalan arsenik ve mangan derişimleri Atomik Adsorpsiyon Spektrofotometresi (AAS) (GBC A4382) ile ölçülmüştür. Sağlanan tüm sonuçlar iki deneysel çalışmanın ortalamasıdır.

Arsenik ve manganın adsorpsiyon kapasitesi (q_e , mg g⁻¹) ve ayrılma yüzdesi (%) denklem 2.1 ve 2.2 ile belirlenmiştir.

$$q_e = \frac{(Co-Ce)V}{m} \quad (2.1)$$

$$\text{Ayrılma etkinliği (\% R)} = \frac{(Co-Ce)}{Co} \times 100 \quad (2.2)$$

Burada Co ve Ce sıra ile arsenik ya da manganın başlangıçta ve adsorpsiyon sonrası (mg L⁻¹), derişimlerini ve m ise adsorpsiyon deneylerinde kullanılan adsorbentün g miktarıdır. Doğal ve modifiye edilmiş sepiyolitler için denge verileri önceki çalışmalarda rapor edildiği gibi [25], Langmuir ve Freundlich modelleri ile fit edilmiştir.

Doğal ve modifiye edilmiş sepiyolit ile, arsenik türlerinin ve manganın doğa ve mekanizmasını incelemek için, kaydırılmış birinci merteye, kaydırılmış ikinci merteye ve partikül içi difüzyon modelleri deneysel verilere uygulanmıştır [26]. Bu amaç için, sıvı filmde difüzyon direncini kırmak için adsorbentler çözeltinin yüksek karıştırma hızına neden olan 1500 rpm'de IKA (Eurostar High speed) mekanik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Çözeltiden belli zaman aralıklarında örnekler alınarak AAS'de analiz edilmiştir.

Adsorpsiyon kinetik denklemleri

The Lagergren kaydırılmış birinci merteye kinetik model [27] aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (2.3)$$

Burada q_t (mg/g) belirli bir zamanda adsorbentte adsorplanmış arsenik ya da manganın miktarı ve k_1 (dk⁻¹) kaydırılmış 1. mertebeden kinetik model için hız sabittir.

Kaydırılmış ikinci mertebeden kinetik için denklem [27] aşağıdaki gibidir:

$$\frac{dq_t}{dt} = K(q_e - q_t)^2 \quad (2.4)$$

Burada q_e ve q_t sıra ile dengede ve herhangi bir t anında adsorbentün birim kütlesi başına adsorplanmış arsenik ya da manganın miktarıdır.

Denklem (2.4)'in lineer şekli aşağıdaki gibidir:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{Kq_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (2.5)$$

Partikül içi difüzyon modeli aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$q_t = k_p t^{\frac{1}{2}} + C \quad (2.6)$$

Burada k_p partikül içi difüzyon hız sabiti ($\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-0.5}$) ve C ise adsorpsiyon sabitidir.

Adsorpsiyon termodinamiği

Mangan ve arseniğin adsorpsiyonu için Gibbs serbest enerji değişimi (ΔG°), entalpi değişimi (ΔH°) ve entropi değişimi (ΔS°) belirlenmiştir [28]. Kimyasal bir olayın olup olmayacağını belirlemede ΔG° 'in değeri önemlidir ve aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir:

$$\Delta G = -RT \ln K_c \quad (2.7)$$

Burada K_c ((adsorbentte adsorbatın miktarı)/(çözeltide adsorbatın miktarı)) dağılım katsayısıdır [29], [30].

Entalpi değişimi ve entropi değişimi aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir.

$$\ln K_c = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT} \quad (2.8)$$

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

3.1. Örneklerin Kimyasal Bileşimi

Doğal ve muamele edilmiş sepiyolitlerin SEM-EDS analiz sonuçları Tablo 1'de gösterilmiştir. Sepiyolit minerali çoğunlukla Si^{+4} , Mg^{+2} ve Al^{+3} olmak üzere Fe^{+3} , Ca^{+2} , K^{+} ve Ti^{+4} 'in eser miktarda varlığından oluşmaktadır. NaOH ile SP'in muamelesi SP'in önemli miktarda desilikasyonuna neden olmaktadır. Ayrıca, Mg^{+2} 'in önemli bir miktarı yapıdan ayrılmasına ek olarak, Na içeriğinde de önemli miktarda artış analiz edilmiştir.

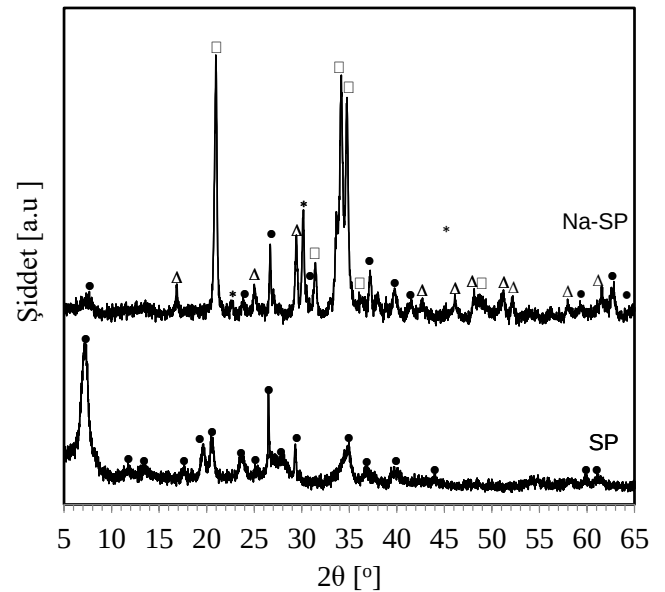
Tablo 1. Doğal ve NaOH ile muamele edilmiş sepiyolit EDS ile belirlenmiş kütleli kimyasal bileşimi

Örnek	Mg	Al	Si	K	Na	Ca	Ti	Fe
SP	20.1	9.4	66.9	0.4	-	1.0	0.2	1.6
Na-SP	14.8	4.2	27.1	0.6	46.8	1.8	-	4.4

3.2. Örneklerin XRD Analiz Sonuçları

Doğal ve NaOH ile muamele edilmiş sepiyolit XRD analiz sonucu Şekil 1'de gösterilmiştir. Brindley [31]'in sepiyolit için yayınladığı rapora göre ve MDI-Jade 6 programı ile yapılan faz analizine göre 2θ 'ın 7.3, 11.837, 13.144, 17.688, 19.712, 20.590, 23.707, 25.208, 26.426, 27.857, 29.257, 34.235, 35.022, 36.665, 39.800, 43.715, 60.986 ve 61.706°

piklerinin varlığı ham maddenin sepiyolit ($\text{Mg}_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_2 \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$, pdf no: 13-0595) faz bileşime sahip olduğunu göstermiştir. NaOH ile muameleden sonra, malzemenin sepiyolit fazı azalırken, yapıda sodyum magnezyum silikat türlerinin ($\text{Na}_{1.8}\text{Mg}_{0.9}\text{Si}_{1.1}\text{O}_4$ (47-1497), $\text{Na}_2\text{MgSiO}_4$ (47-1499), ve $\text{Na}_4\text{Mg}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}$ (33-1265)) oluşumu MDI- Jade 6 programı ile yapılan faz analizi ile belirlenmiştir. Ayrıca, 2θ 'ın 7.3, 19.712, 20.590, 20.59, 35.022 °'deki pikleri kaybolmuş olup, bu NaOH ile muamele ile sepiyolit desilikasyonunun varlığının bir sonucu olmaktadır.



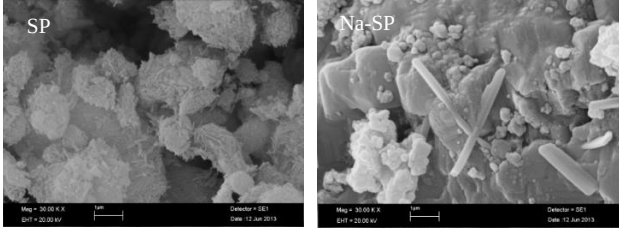
Şekil 1. Doğal ve NaOH ile muamele edilmiş sepiyolit XRD analiz sonuçları: Semboller: Sepiyolit (●), Sodyum magnezyum silikat (($\text{Na}_{1.8}\text{Mg}_{0.9}\text{Si}_{1.1}\text{O}_4$ (Δ), $\text{Na}_2\text{MgSiO}_4$ (*), ve $\text{Na}_4\text{Mg}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}$ (□)).

3.3. Örneklerin SEM Görüntüleri

SP ve Na-SP örneklerinin SEM görüntüleri Şekil 2'de gösterilmiştir. NaOH ile muamele sonrası, parçacıklar düzensizleşerek aglomerasyona uğramıştır. XRD verilerinde de görüldüğü gibi, desilikasyonun varlığı sepiyolit yapısının bozulmasına sebep olabilmektedir.

Benzer olarak, Li ve arkadaşları [32], farklı derişimlerde NaOH ile HZSM-5 zeolitini muamele ettiklerinde, 1.0 M NaOH derişiminde, HZSM-5 yapısının düzensizleştiğini, partiküllerin eriyerek düzensiz bir yapı gösterdiğini SEM sonuçları ile göstermişlerdir.

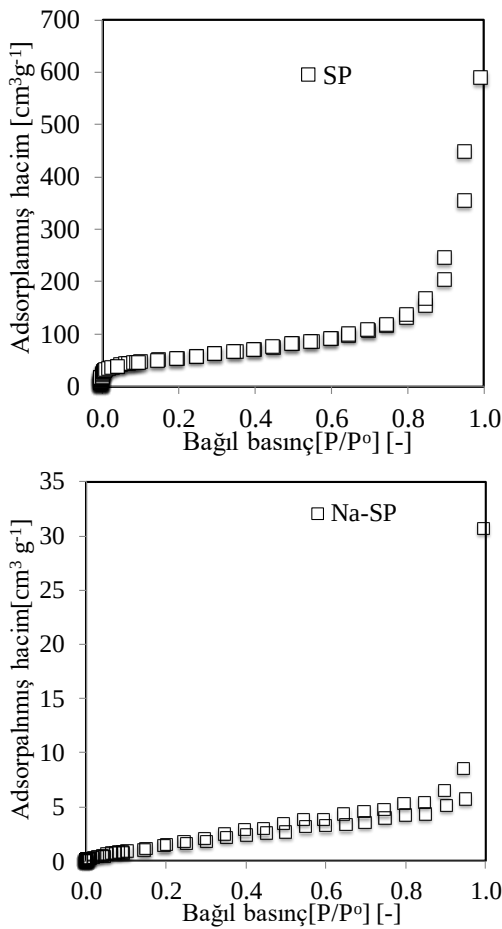
Ayrıca, HZSM-5 örneğinin bağlı kristal bileşiminde % 75 oranında azalmanın desilikasyonun bir sonucu olduğu rapor edilmiştir. Melian-Cabrera ve arkadaşları, demir ile iyon değişmiş ZSM-5 zeolitlerin NaOH ile muamelesinin etkisini incelemiş ve 30 dk 0.2 M NaOH ile liçing işleminin Fe-ZSM-5 kristal yapısında kırılmalara neden olduğunu rapor etmişlerdir [33], [34].



Şekil 2. Doğal ve NaOH ile muamele edilmiş sepiyolitın SEM görüntüleri

3.4. Örneklerin Yüzey Alanı ve Gözenek Boyut Dağılımı

Doğal ve modifiye edilmiş sepiyolitlerin N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermi ve gözenek boyut dağılımları Şekil 3’de gösterilmiştir. Ayrıca, izotermiye hesaplanmış yüzey alanı ve gözenek özellikleri Tablo 2’de listelenmiştir. SP’in izotermi IUPAC sınıflandırmasına göre [35] Tip I izotermine uymakta olup, bu mikro gözenekli malzemelerin özelliğidir. SP ve Na-SP’in yüzey alanı sırasıyla $187.8 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ve $7.09 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ olup, NaOH ile muamele ile desilikasyon ve dekatyonizasyon ile gözenek çapının 194 Å ’dan 264 Å ’e artışı ile mikro gözenekler mezo gözeneklere dönüşmesine neden olmasının bir sonucudur.



Tablo 2. Doğal ve modifiye edilmiş sepiyolit örneklerinin yüzey alanı ve gözenek özellikleri

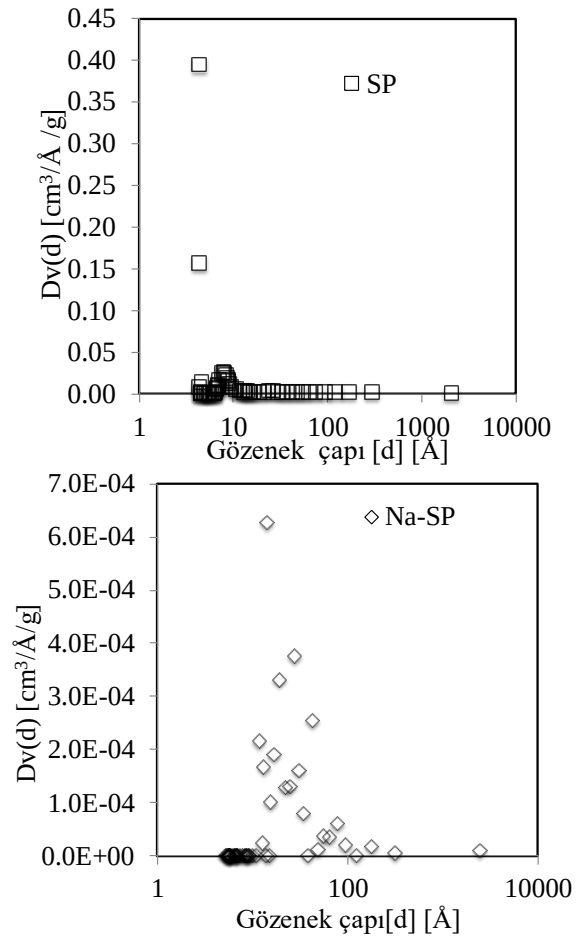
Örnek	SA ($\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$) ^a	V_T ($\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$) ^b	V_{MP} ($\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$) ^c	d (Å) ^d
SP	187.8	0.91	5.66×10^{-2}	194
Na-NSP	7.1	0.04	5.4×10^{-4}	268

^aÇok noktalı BET ile hesaplanmış yüzey alanı; ^b $p/p_0 = 0.99$ ’da adsorplanmış hacimden hesaplanmış toplam hacim; ^cDR yönteminden hesaplanmış mikro gözenek hacmi; ^d Ortalama gözenek çapı.

3.5. Örneklerin FTIR Sonuçları

SP ve Na-SP örneklerinin FTIR spektrumu Şekil 4’de gösterilmiştir. Örneklerin FTIR spektrumu üç bölgede incelenmiştir [36], [37]. $4000\text{--}3000 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki pikler Mg-OH grubunun titreşimlerini (3690 cm^{-1}), su pikini (3568 cm^{-1}) ve sepiyolit suyunu (3422 cm^{-1}) göstermekte olup, bu bantlar EDS ve XRD sonuçlarında açıkça görüldüğü gibi NaOH ile önemli miktarda uzaklaşan silisyumun sonucu OH^- gruplarının yapıdan uzaklaşmasının bir sonucu olabilmektedir.

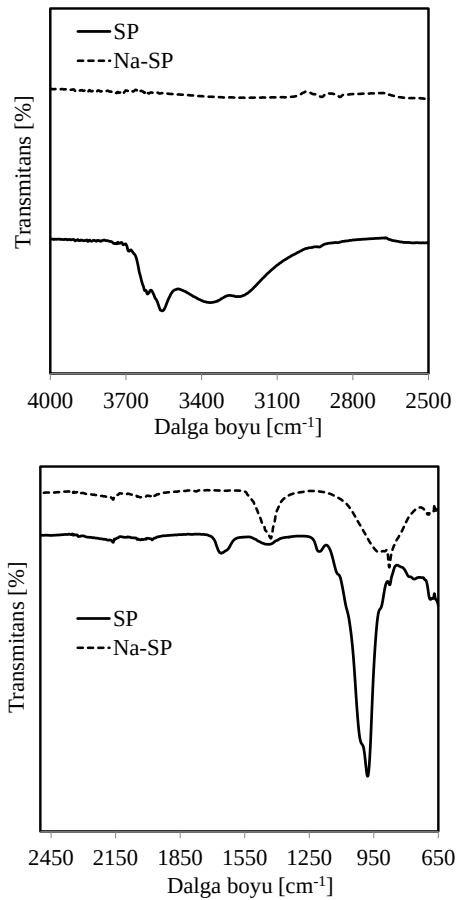
1671 cm^{-1} ’de bant örnekteki suyu göstermekte olup, NaOH ile muamele ile desilikasyonun bir sonucu olarak kaybolmaktadır.



Şekil 3. SP ve Na-SP’in N_2 adsorpsiyonu- desorpsiyonu izotermi ve gözenek boyut dağılımı.

1200–650 cm^{-1} aralığında ki bantlar silika ile ilişkilidir. 1016 cm^{-1} 'deki pik Si-O-Si titreşimleri ile ilişkili olup NaOH ile muamele, desilikasyonun bir sonucu olarak hem dalga boyunu 1016 cm^{-1} 'den 876 cm^{-1} 'e kaydırmakta hem de pikin şiddeti önemli ölçüde azaltmıştır

1215 ve 980 cm^{-1} 'de pikler Si-O bantlarını göstermekte olup, bunlar NaOH ile muamele ile, desilikasyonun bir sonucu kaybolmaktadır. 690 cm^{-1} 'deki pik Mg-OH bağı titreşimine karşılık gelen pik olup, alkali muamele ile Mg'in derişiminin azalmasının bir sonucu olarak kaybolmuştur.



Şekil 4. Doğal ve modifiye edilmiş sepiyolitın FTIR spektrumu

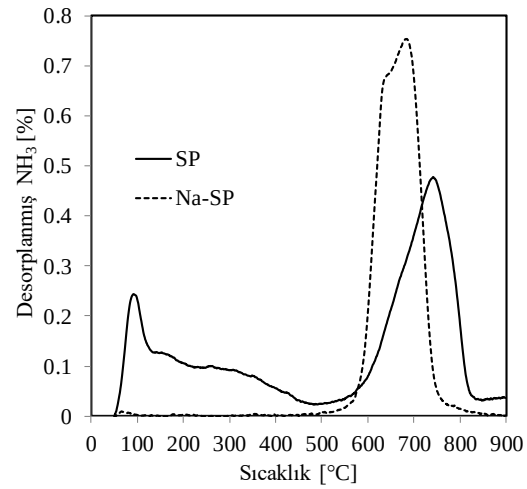
3.6. Örneklerin NH_3 -TPD sonuçları

Sepiyolitın asitliği üzerine desilikasyonun etkisi NH_3 -TPD ile incelenmiştir ve elde edilen sonuçlar Şekil 5'de gösterilmiştir. Sepiyolit yüzeyinden amonyak üç bölgede desorplanmaktadır. NH_3 -TPD profilinde, iki keskin desorpsiyon pikleri 100 $^{\circ}\text{C}$ ve 735 $^{\circ}\text{C}$ 'de ve 250 $^{\circ}\text{C}$ bölgesinde bir omuz gözlenmiştir. 100 $^{\circ}\text{C}$ 'deki pik ve 250 $^{\circ}\text{C}$ bölgesindeki omuz sırayla zayıf asit merkezlerini ve Lewis asit merkezleri ile ilişkilidir [38], [39]. 500 $^{\circ}\text{C}$ 'den yüksek sıcaklıklarda pik güçlü asit merkezleri ile ilişkilidir.

NaOH ile muamele sonrası, SP yüzeyinde asit merkezlerinin dağılımı sodyum katyonları ile protonlarının değişimiyle önemli miktarda değişmektedir. SP'in NaOH ile muamelesi

500 $^{\circ}\text{C}$ 'in üzerinde güçlü Brønsted asit merkezlerinin artışına sebep olurken, 500 $^{\circ}\text{C}$ 'in altında yer alan orta ya da zayıf Brønsted/Lewis asit merkezlerinde bir azalmaya sebep olmaktadır.

Desilikasyonun bir sonucu olarak orta ya da zayıf Brønsted/Lewis asit merkezlerinin kaybolmasına karşılık, güçlü asit merkezlerinin artışı sodyum magnezyum silikat türlerinin oluşumunun bir sonucu olmaktadır. Benzer sonuçlar doğal zeolitlerin NaOH ile muamelesi için rapor edilmiştir [25]. Sivas-Yavru bölgesinden sağlanmış doğal zeolitın NaOH ile muamele sonrası, 600 $^{\circ}\text{C}$ 'in altındaki amonyum desorpsiyon pikleri kaybolmuş ve 600 $^{\circ}\text{C}$ 'in üzerindeki amonyak desorpsiyon piki ise artmıştır.



Şekil 5. Doğal ve modifiye edilmiş sepiyolitın NH_3 -TPD sonuçları

3.7. Doğal ve Modifiye Edilmiş Sepiyolit ile Arseniğin ve Manganın Adsorpsiyonu

Başlangıç pH'ın Etkisi

Arsenik adsorpsiyon çalışmalarında çok önemli faktörlerden birisi çözeltinin başlangıç pH'dır. Çözelti başlangıç pH'ı adsorbentin yüzey özelliklerini ve arseniğin moleküler yapısını etkilemektedir. Sepiyolitın adsorpsiyon kapasitesinin çözeltinin başlangıç pH'ı ile değişimi Tablo 3'de gösterilmiştir. SP ile As(III) ve As(V)'in maksimum adsorpsiyon kapasitesi pH=1.5'de sağlanmıştır. Zhang vd.[40], pH'ın 1.5-5.0 aralığında, As (V) genellikle H_2AsO_4^- ve HAsO_4^{2-} olarak bulunduğunu ve adsorbentin ise pozitif olarak yüklendiğinden dolayı elektrostatik etkileşim meydana geldiğini rapor etmişlerdir. Fakat artan çözelti pH ile, yüzeydeki hidroksil grupları protonlarını kaybettikleri için, yüzey negatif yüklenmekte ve elektriksel itme nedeniyle adsorpsiyon kapasitesi azalabilmektedir. As(III) ise, As(V)'e göre iyonik olmayan (H_3AsO_3) türlere sahip olduğunda, As(III) adsorpsiyonu As(V)'den daha düşüktür. NaOH ile muamele edilmiş sepiyolit örneğinde ise, alkali muamele ile OH^- grupları yapıdan uzaklaşmış olup, arsenik adsorpsiyon mekanizması, elektrostatik etkileşimden çok Na ile iyon değişimi ile

gerçekleşebilmektedir. Benzer çalışmalar zeolitler için rapor edilmiş olup, zeolitlere sodyumun yüklenmesi, zeolitlerin diğer katyonlar ile yer değiştirmesini kolaylaştırdığı rapor edilmiştir [41]–[43]. Na-SP ile As(III) ve As(V)'in maksimum adsorpsiyon kapasitesi pH=5'de sağlanmış olması, NaOH ile muamele ile yapıda sodyum magnezyum silikat türlerinin oluşumu ve OH⁻ gruplarının uzaklaşması ile yüzey yükünün değişiminin bir sonucu olabilmektedir. Ayrıca, Na-SP'in yüksek adsorpsiyon kapasitesi ise, arsenik uzaklaştırılmasının hem elektriksel etkileşim ile hem de Na ile iyon değişiminin bir sonucu olabilmektedir.

Tablo 3. Doğal ve modifiye edilmiş sepiyolit ile As(III) ve As(V)'in adsorpsiyon kapasitesi (mg g⁻¹) üzerine pH'ın etkisi (Co=100 mg L⁻¹, T= 25 °C, adsorpsiyon süresi: 8 saat, m_{adsorbent}=0.02 g ve V_{çözelti}= 20 cm³, karıştırma hızı: 200 rpm).

Örnek	SP		Na-SP	
pH	As(III)	As(V)	As(III)	As(V)
1.5	8.92	26.84	5.68	5.07
3.0	-	1.77	2.99	0.78
5.0	-	3.48	46.70	35.96
7.0	2.15	2.62	-	0.11
9.0	2.05	1.45	-	-

Adsorpsiyon izoterm çalışmaları ve modelleme

Adsorpsiyon süresi ile SP ve Na-SP'in adsorpsiyon kapasitesi değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir. SP ve Na-SP ile As(V)'in denge süresi sırayla 120 dk ve 480 dk iken, As(III)'in denge süresi 180 dk ve 480 dk'dır.

Adsorpsiyon izotermi, adsorpsiyon mekanizmasına ek olarak adsorbentin adsorpsiyon kapasitesi hakkında da bilgi vermektedir [44]. SP ve Na-SP ile As(III,V)'in adsorpsiyonu için, Şekil 6'daki adsorpsiyon verilerinden hesaplanmış izoterm sabitleri Tablo 4'de gösterilmiştir. As(V) adsorpsiyonu için, Langmuir izoterm modelinden sağlanmış korelasyon katsayıları (R²) SP ve Na-SP için sıra ile 0.95 ve 0.87 olmasına rağmen, Freundlich modeli için bu değerler sıra ile 0.93 ve 0.94'dir. As(V) için her iki model uyum sağlamasına rağmen, Na-SP ile As(V)'in adsorpsiyonu için Freundlich modeli daha iyi uyumludur.

SP ve Na-SP ile As(III)'in adsorpsiyonu için, Langmuir izoterm model her iki adsorbent için yüksek uygunluğa sahiptir. SP ve Na-SP ile As(V)'in maksimum adsorpsiyon kapasitesi sıra ile 10.52 ve 38.46 mg g⁻¹ olup, NaOH ile muamele, doğal sepiyolit kapasitesini yaklaşık 4 kata kadar artırmaktadır.

Tablo 4'de görüldüğü gibi, benzer bulgular, SP ve Na-SP ile As(III)'in adsorpsiyonu için de gözlenmiştir. Bu bulgular, adsorbentin karakterizasyon sonuçları temel alındığında, üç parametrenin bir sonucu olabilmektedir: (i)Yapıda sodyum magnezyum silikatların oluşumu, (ii) artan güçlü asit

merkezlerin sayısı (iii) dekatyonizasyon ve desilikasyon ile yüzeyin modifikasyonu.

Langmuir parametrelerinden hesaplanmış Q_m dengede tek tabakalı adsorpsiyonu göstermekte ve b parametresi ise As (III&V) için bağlanma afinitesini göstermektedir. Yüksek b değeri temel alındığında, arsenik iyonları için Na-SP'in afinitesi SP'den yüksektir.

Freundlich izoterminden hesaplanmış k_F sabitinin değeri adsorbentin tipine bağlı olarak değişmektedir. Örneklerin 1/n değeri 0 ve 1 aralığındadır ve güçlü adsorpsiyon kapasitesini göstermektedir [45]. SP ile As(III)'in adsorpsiyonu dışında 1/n değerleri 0 ve 1 aralığındadır.

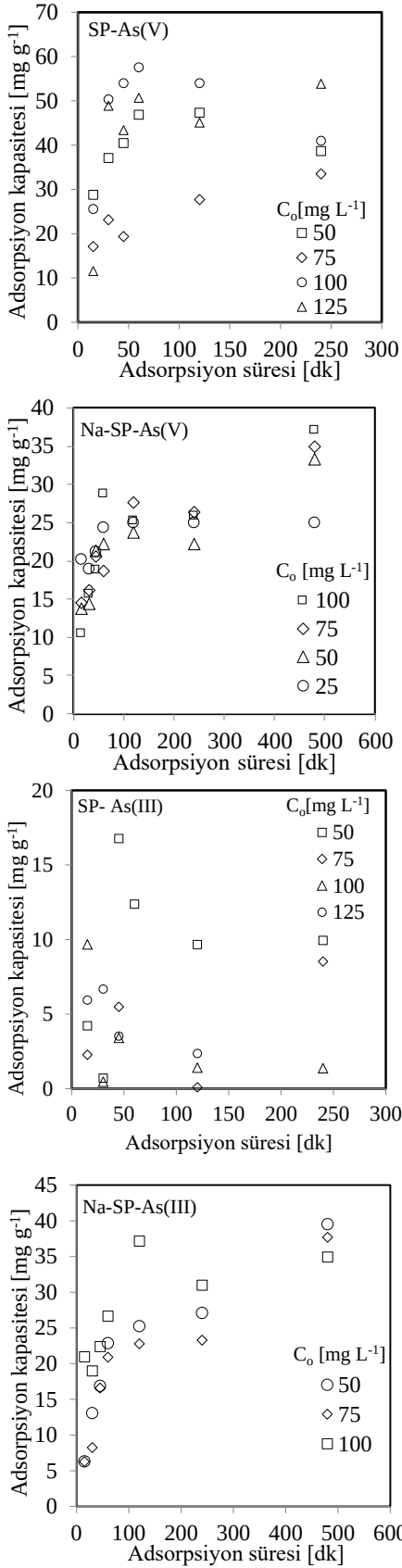
Doğal ve modifiye edilmiş sepiyolit ile arsenik adsorpsiyonu için Şekil 6'da gösterilen sonuçlar kaydırılmış birinci merteye, kaydırılmış ikinci merteye ve partikül içi difüzyon modellerine uygulanmış ve sonuçlar Tablo 5'de özetlenmiştir. Tablo 5'de gösterilen parametreler ve korelasyon katsayıları dikkate alındığında, kaydırılmış ikinci merteye model diğer iki modelden yüksek korelasyon katsayısına sahip olup, deneysel sonuçları çok daha iyi temsil etmektedir. Bu bulgu arseniğin adsorbentin gözeneklerinde adsorplandığını ve adsorpsiyon hızının, adsorbentin aktif merkezlerinin karesi ile orantılı olduğunu göstermektedir[46]–[48].

SP ile As(III & V)'in adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisi çalışılmış ve termodinamik parametreler denklem (2.7) ve (2.8) temel alınarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 6'da gösterilmiştir. Gibbs serbest entalpi değişimi arseniğin her iki değerliği için negatif olup, adsorbentler yüzeyinde arseniğin adsorpsiyonu termodinamik olarak mümkündür (Tablo 6). SP için ΔG⁰ değerleri artan sıcaklıkla yaklaşık sabittir. As(III) için ΔH⁰ pozitif değerleri adsorpsiyonun endotermik olduğunu diğer yandan As(V)'in adsorpsiyonu için ΔH⁰ negatif değeri adsorpsiyonun ekzotermik doğasını göstermektedir. As (III& V) için ΔS⁰'in pozitif değerleri As iyonlarının artan başlangıç derişimleri ile azalıyor ve bu sıvı-katı ara yüzeyinde artan düzenliliği desteklemektedir.

Mangan adsorpsiyonu

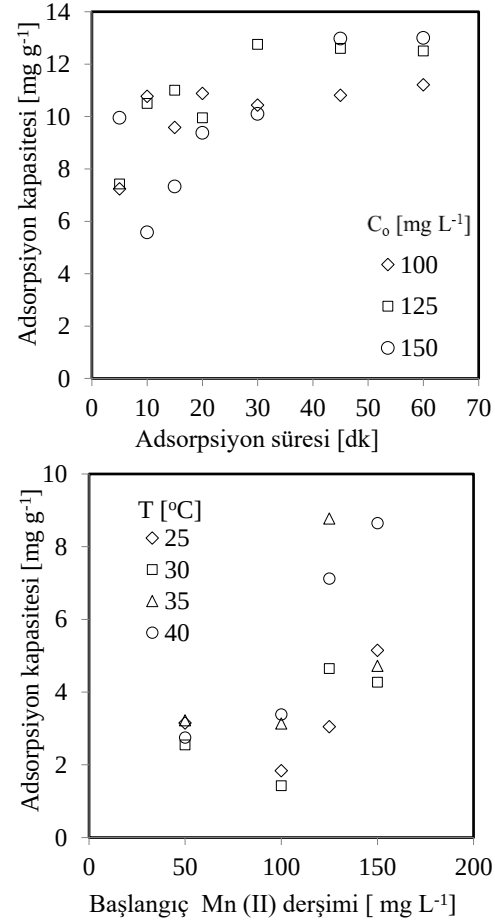
Mn(II)'nin adsorpsiyonu sadece SP yüzeyinde çalışılmış ve adsorpsiyon süresi ve sıcaklık ile adsorpsiyon kapasitesinin değişimi Şekil 7'de gösterilmiştir. SP ile Mn(II)'nin dengeye ulaşma süresi 40 dk olup, SP'in kapasitesi artan sıcaklıkla artmakta olup, bu adsorpsiyonun endotermik doğasını göstermektedir. Ayrıca, Tablo 5'de ΔH⁰'in pozitif değeri bunu desteklemektedir. ΔS⁰'in pozitif değeri Mn(II) iyonlarının artan başlangıç derişimi ile artmakta olup, bu katı- sıvı ara yüzeyindeki düzensizliği göstermektedir.

Arsenik sonuçlarına benzer olarak, doğal ve modifiye edilmiş sepiyolit ile mangan adsorpsiyonu için Şekil 7'de gösterilen sonuçlar ile yapılan hesaplamalar, korelasyon katsayıları dikkate alındığında, kaydırılmış ikinci merteye



Şekil 6. As(III) ve As(V) için doğal ve modifiye edilmiş sepiyolitın kapasitesi ile adsorpsiyon süresinin değişimi (T=25 °C, m_{adsorbent}=0.02 g ve V_{çözelti}= 20 cm³, karıştırma hızı: 200 rpm).

model ile verilerin çok daha iyi uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Mn(II) adsorpsiyonu için doğal sepiyolitın adsorpsiyon süresinin ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak adsorpsiyon kapasitesi (m_{adsorbent}=0.02 g ve V_{çözelti}= 20 cm³, karıştırma hızı: 200 rpm).

Literatür ile sonuçların karşılaştırılması

Sulu çözeltilerden arsenik türlerini uzaklaştırılmasında doğal sepiyolitın düşük adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu Tablo 4’de gösterilen ve literatürde rapor edilmiş sonuçlar [23], [24], [52], [54] ile gösterilmiştir. Doğal sepiyolitın As(V) adsorpsiyon kapasitesi, sepiyolitın kaynağına ve çözeltinin başlangıç pH’na bağlı olarak 0.005- 10.5 mg g⁻¹ aralığında değişmektedir. Diğer yandan, NaOH, Fe (III) oksihidroksit [24], [52], [53], [55] ve 2-aminometilpridin (AMP)[23] ile modifikasyonlar, sepiyolitın adsorpsiyon kapasitesini önemli miktarda artırabilmektedir. Literatürde rapor edilmiş sonuçlar, sepiyolitın çoğunlukla Fe (III) oksihidroksit ile modifiye edildiğinde ve başlangıç pH’ın değerine bağlı olarak sepiyolitın As(V) adsorpsiyon kapasitesinin 50.0 mg g⁻¹’a kadar arttığı rapor edilmiştir [24], [52], [55]. Bu çalışmada, NaOH ile modifiye edilmiş sepiyolit ilk olarak As(III&V)’in ayırımında çalışılmış ve modifikasyon her iki arsenik değerliği için sepiyolitın adsorpsiyon kapasitesini 4 kata kadar artırmıştır. Benzer

Tablo 4. As (III & V) ve Mn(II)'in adsorpsiyon izoterm sabitleri (Co=100 mg L⁻¹, T= 25 °C, adsorpsiyon süresi: 8 saat, m_{adsorbent}=0.02 g ve V_{çözelti}= 20 cm³, karıştırma hızı: 200 rpm).

Örnek	Langmuir izoterm		R ²	Freundlich izoterm		R ²	Kaynak
	Q _m	b		k _F	1/n		
	(mg g ⁻¹)	(L mg ⁻¹)		(L g ⁻¹) ⁿ (mg.L ⁻¹)			
Mn(II)							
SP	5.2	0.02	0.97	0.04	13.87	0.98	Bu çalışma
SP	0.2	1.56	0.94	0.38	11.5	0.94	[19]
DZ	7.6	0.154	0.97	2.0	0.33	0.98	[25]
Na-DZ	232.6	0.151	0.84	112.2	0.13	0.85	[25]
DZ	7.1	0.08	0.99	0.02	0.92	0.84	[49]
Brezilya DZ	109.9	0.0014	0.95	-	-	-	[39]
Na-Klinoptilolit	10.0	0.0182	0.98	-	-	-	[50]
DZ(1.5)	66.1	0.01	0.94	2.9	0.58	0.99	[51]
As(V)							
SP	10.52	0.003	0.95	0.036	1.06	0.93	Bu çalışma
Na-SP	38.46	0.44	0.87	26.84	0.07	0.94	Bu çalışma
Fe-SP	0.51	15	0.99	0.0079	1.58	0.72	[52]
SP-DW	4.95	-	0.86	3.33	0.24	0.80	[24]
SP-GW	4.20		0.98	2.48	0.40	0.92	[24]
As(III)							
SP	14.85	0.018	0.96	0.14	1.21	0.94	Bu çalışma
Na-SP	45.4	0.13	0.89	18.17	0.18	0.63	Bu çalışma
Fe-SP	0.48	51	0.99	2.08	1.33	0.92	[52]
SP-DW	10.9	-	0.95	5.91	0.36	0.94	[24]
SP-GW	7.04	-	0.98	2.48	0.40	0.92	[24]
Fe-SP	-	-	-	0.46	0.85	0.92	[53]

Kısaltmalar: DZ: Doğal zeolit; DW: Deiyonize su; GW: Yeraltı suyu

Tablo 5. Doğal ve modifiye edilmiş sepiyolit örneklerinin kinetik sonuçları (Co=50 mg L⁻¹, T= 25 °C, adsorpsiyon süresi: 8 saat, m_{adsorbent}=0.1 g, V_{çözelti}= 100 cm³, karıştırma hızı: 1500 rpm).

Sarımsı, kırılgan, 0.1 g, 7.42010 mm, 1000 g, 100										
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tablo 6. Doğal ve NaOH ile muamele edilmiş sepiyolit ile Mn (II) ve As (III& V) için termodinamik veriler.

Örnek	T (K)	ΔG^0 (kJmol ⁻¹)	ΔH^0 (kJmol ⁻¹)	ΔS^0 (J mol ⁻¹ K ⁻¹)	R ²
SP	Mn (II)				
	50 mg L ⁻¹	298 -14.8 303 - 308 -15.6 313 -15.3	-6.67	28.3	0.41
	100 mg L ⁻¹	298 - 303 -11.8 308 -14.2 313 -14.6	74.7	286.5	0.82
	125 mg L ⁻¹	298 -13.6 303 -15.2 308 - 313 -17.0	51.9	220.7	0.97
	150 mg L ⁻¹	298 - 303 -13.8 308 -14.4 313 -16.5	6.60	262.8	0.84
SP	As(V)				
	50 mg L ⁻¹	298 -22.8 303 -18.0 308 -17.9 313 -19.1	-70.3	497.4	0.80
	75 mg L ⁻¹	298 -16.2 303 -15.2 308 -15.2 313 -14.2	-52.7	122.6	0.93
	100 mg L ⁻¹	298 -15.8 303 - 308 -15.7 313 -14.2	-40.7	83.2	0.78
SP	As(III)				
	50 mg L ⁻¹	298 -12.9 303 - 308 -20.8 313 -19.5	112.7	472.0	0.72
	75 mg L ⁻¹	298 - 303 -11.7 308 -12.2 313 -14.6	77.3	294.0	0.99
	100 mg L ⁻¹	298 - 303 -12.2 308 -13.8 313 -15.4	82.4	312.3	0.99

olarak, Tian vd. [55], sepiyolitın manyetik demir oksit partikülleri ile modifiye ettiklerinde, maksimum As(III) adsorpsiyon kapasitesini 50.35 mg g⁻¹'a kadar artırmışlardır. Gupta vd. [56] aglomere olmuş nano yapılı sentetik Fe(III)-Zr(V) bimetallik adsorbent ile 9.3 mg g⁻¹ maksimum As(V) adsorpsiyon kapasitesini rapor etmişlerdir. Hlavay ve Polyak

[57], [58] demir alümina adsorbenti ile adsorpsiyonun işletme koşullarına bağlı olarak (pH ve adsorbent miktarı) As(III) için 7.65 mg g⁻¹ ve As(V) için 36.6 mg g⁻¹ maksimum adsorpsiyon kapasitesini rapor etmişlerdir. Ren vd. [59] Fe-Zr bimetallik adsorbenti ile maksimum As(III) adsorpsiyon kapasitesini 120 mg g⁻¹ ve As(V) adsorpsiyon

46.0 mg g⁻¹ (pH=7) olarak rapor etmişlerdir. Zhang vd. [60] ise Fe- Mn bimetallik adsorbent ile As(III) ve As(V) için adsorpsiyon kapasitesini sırayla 69.7 ve 132.7 mg g⁻¹ rapor etmiştir. Na içeren sepiyolit örnekleri ise, arsenik türlerini uzaklaştırmada demir ile modifiye edilmiş sepiyolitlere ve bimetallik adsorbentlerin adsorpsiyon kapasitesine yakın sonuçlar verebilmektedir.

Mn(II)'nin sulu çözeltilerden sepiyolit ile ayrımının literatür ile karşılaştırılması Tablo 4'de listelenmiştir. Tablodaki verilere göre SP'in adsorpsiyon kapasitesinin Kocaoba [19]'nın bulgularından yüksek ve doğal zeolitler ile [25], [39], [50], [51] karşılaştırılabilir olduğunu göstermektedir. Doğal sepiyolit örnekleri arasındaki farklılık sepiyolitin bileşim ve kaynağının bir sonucudur.

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Sulu çözeltilerden arsenik türlerinin ve manganın adsorpsiyon prosesi ile uzaklaştırılması için doğal sepiyolit ve NaOH ile muamele edilmiş sepiyolit örnekleri karakterize edilmiştir. Doğal sepiyolit 187.8 m² g⁻¹ yüzey alanına sahip olup, sepiyolit mineral faz bileşime sahiptir. NaOH ile muamele sonrası, sepiyolitin ortalama gözenek çapı silisyumun ve magnezyumun çözünmesi sonucu büyümekte, yapıda sodyum magnezyum silikat fazları oluşmakta ve silisyum türlerinde aglomerasyon oluşması nedeniyle, yüzey alanı 7 m² g⁻¹'e azalmıştır. Ayrıca, NH₃-TPD ile sepiyolitin yüzey asitliği incelenmesi, NaOH ile muamele ile zayıf ve orta güçlü Lewis/ Bronsted asit merkezlerinde azalma ve güçlü asit merkezlerinde ise artış belirlenmiş olup, bu yapıda oluşmuş sodyum magnezyum silikat türlerinin oluşumu ve OH⁻ gruplarının uzaklaşması ile ilişkili olabilmektedir. NaOH ile sepiyolitin muamelesi her iki arsenik türünün adsorpsiyon kapasitesini önemli miktarda artırmıştır. Sepiyolitin alkali muamele ile artan adsorpsiyon kapasitesi, yapıda oluşmuş olan sodyum magnezyum silikatın sonucu, Na-sepiyolitin iyon değişim kapasitesinin artmasının bir sonucu olabilmektedir. Kaydırılmış ikinci mertebeden kinetik model doğal ve alkali ile muamele edilmiş sepiyolitler ile arsenik ve mangan giderimi için yüksek korelasyon katsayısına sahiptir.

KAYNAKÇA

[1] M. Bissen and F. H. Frimmel, "Arsenic - A review. Part I: Occurrence, toxicity, speciation, mobility," *Acta Hydrochim. Hydrobiol.*, vol. 31, no. 1, pp. 9–18, 2003.
 [2] N. E. Korte and Q. Fernando, "A review of arsenic (III) in groundwater," *Crit. Rev. Environ. Control*, vol. 21, no. 1, pp. 1–39, 1991.
 [3] P. Mondal, C. B. Majumder, and B. Mohanty, "Laboratory based approaches for arsenic remediation from contaminated water: Recent developments," *J. Hazard. Mater.*, vol. 137, no. 1, pp. 464–479, 2006.
 [4] H. Bessbousse, T. Rhlalou, J. F. Verchère, and L. Lebrun, "Removal of heavy metal ions from aqueous solutions by filtration with a novel complexing membrane

containing poly(ethyleneimine) in a poly(vinyl alcohol) matrix," *J. Memb. Sci.*, vol. 307, no. 2, pp. 249–259, 2008.
 [5] M. J. González-Muñoz, M. A. Rodríguez, S. Luque, and J. R. Álvarez, "Recovery of heavy metals from metal industry waste waters by chemical precipitation and nanofiltration," *Desalination*, vol. 200, no. 1–3, pp. 742–744, 2006.
 [6] C. G. Passos, F. S. Ribaski, N. M. Simon, A. A. dos Santos, J. C. P. Vaghetti, E. V. Benvenutti, and É. C. Lima, "Use of statistical design of experiments to evaluate the sorption capacity of 7-amine-4-azaheptylsilica and 10-amine- 4-azadecylsilica for Cu(II), Pb(II), and Fe(III) adsorption," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 302, no. 2, pp. 396–407, 2006.
 [7] O. S. Amuda, A. A. Giwa, and I. A. Bello, "Removal of heavy metal from industrial wastewater using modified activated coconut shell carbon," *Biochem. Eng. J.*, vol. 36, no. 2, pp. 174–181, 2007.
 [8] R. Kiefer, A. I. Kalinitchev, and W. H. Höll, "Column performance of ion exchange resins with aminophosphonate functional groups for elimination of heavy metals," *React. Funct. Polym.*, vol. 67, no. 12 SPEC. ISS., pp. 1421–1432, 2007.
 [9] S. Babel, "Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review," *J. Hazard. Mater.*, vol. 97, no. 1–3, pp. 219–243, 2003.
 [10] A. Alvarez, "Sepiolite: Properties and Uses," *Dev. Sedimentol.*, vol. 37, no. C, pp. 253–287, 1984.
 [11] K. Brauner and A. Preisinger, "Struktur und Entstehung des Sepioliths," *Tschermaks Mineral. und Petrogr. Mitteilungen*, vol. 6, no. 1–2, pp. 120–140, 1956.
 [12] R. E. Grim, *Clay Mineralogy*, vol. 135. 1962.
 [13] A. R. Türker, H. Bağ, and B. Erdoğan, "Determination of iron and lead by flame atomic absorption spectrometry after preconcentration with sepiolite," *Fresenius. J. Anal. Chem.*, vol. 357, no. 3, pp. 351–353, 1997.
 [14] E. Álvarez-Ayuso and A. García-Sánchez, "Sepiolite as a feasible soil additive for the immobilization of cadmium and zinc," *Sci. Total Environ.*, vol. 305, no. 1–3, pp. 1–12, 2003.
 [15] N. Bektas, B. A. Agim, and S. Kara, "Kinetic and equilibrium studies in removing lead ions from aqueous solutions by natural sepiolite," *J. Hazard. Mater.*, vol. 112, no. 1–2, pp. 115–122, 2004.
 [16] M. F. Brigatti, L. Medici, and L. Poppi, "Sepiolite and industrial waste-water purification: Removal of Zn²⁺ and Pb²⁺ from aqueous solutions," *Appl. Clay Sci.*, vol. 11, no. 1, pp. 43–54, 1996.
 [17] M. F. Brigatti, C. Lugli, and L. Poppi, "Kinetics of heavy-metal removal and recovery in sepiolite," in *Applied Clay Science*, 2000, vol. 16, no. 1–2, pp. 45–57.
 [18] M. Kara, H. Yuzer, E. Sabah, and M. S. Celik, "Adsorption of cobalt from aqueous solutions onto sepiolite," *Water Res.*, vol. 37, no. 1, pp. 224–232, 2003.
 [19] S. Kocaoba, "Adsorption of Cd(II), Cr(III) and Mn(II) on natural sepiolite," *Desalination*, vol. 244, no. 1–3, pp. 24–30, 2009.

- [20] S. Lazarević, I. Janković-Častvan, D. Jovanović, S. Milonjić, D. Janačković, and R. Petrović, "Adsorption of Pb²⁺, Cd²⁺ and Sr²⁺ ions onto natural and acid-activated sepiolites," *Appl. Clay Sci.*, vol. 37, no. 1–2, pp. 47–57, 2007.
- [21] V. Marjanović, S. Lazarević, I. Janković-Častvan, B. Potkonjak, D. Janačković, and R. Petrović, "Chromium (VI) removal from aqueous solutions using mercaptosilane functionalized sepiolites," *Chem. Eng. J.*, vol. 166, no. 1, pp. 198–206, 2011.
- [22] L. I. Vico, "Acid-base behaviour and Cu²⁺ and Zn²⁺ complexation properties of the sepiolite/water interface," *Chem. Geol.*, vol. 198, no. 3–4, pp. 213–222, 2003.
- [23] D. L. Guerra, A. C. Batista, P. C. Corrêa da costa, R. R. Viana, and C. Airolidi, "Adsorption of arsenic ions on Brazilian sepiolite: Effect of contact time, pH, concentration, and calorimetric investigation," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 346, no. 1, pp. 178–187, 2010.
- [24] N. Ilic, S. Lazarevic, V. Rajakovic-Ognjanovic, L. Rajakovic, D. Janackovic, and R. Petrovic, "The sorption of inorganic arsenic on modified sepiolite: Effect of hydrated iron(III)-oxide," *J. Serbian Chem. Soc.*, vol. 79, no. 7, pp. 815–828, 2014.
- [25] A. Ates, "Role of modification of natural zeolite in removal of manganese from aqueous solutions," *Powder Technol.*, vol. 264, pp. 86–95, 2014.
- [26] X. jiang Hu, J. song Wang, Y. guo Liu, X. Li, G. ming Zeng, Z. lei Bao, X. xia Zeng, A. wei Chen, and F. Long, "Adsorption of chromium (VI) by ethylenediamine-modified cross-linked magnetic chitosan resin: Isotherms, kinetics and thermodynamics," *J. Hazard. Mater.*, vol. 185, no. 1, pp. 306–314, 2011.
- [27] Y. S. Ho and G. McKay, "The kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat," *Water Res.*, vol. 34, no. 3, pp. 735–742, 2000.
- [28] M. Ghasemi, M. Zeinaly Khosroshahy, A. Bavand Abbasabadi, N. Ghasemi, H. Javadian, and M. Fattahi, "Microwave-assisted functionalization of Rosa Canina-L fruits activated carbon with tetraethylenepentamine and its adsorption behavior toward Ni(II) in aqueous solution: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies," *Powder Technol.*, vol. 274, pp. 362–371, 2015.
- [29] E. Malkoc and Y. Nuhoglu, "Potential of tea factory waste for chromium(VI) removal from aqueous solutions: Thermodynamic and kinetic studies," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 54, no. 3, pp. 291–298, 2007.
- [30] S. Chen, Q. Yue, B. Gao, Q. Li, and X. Xu, "Removal of Cr(VI) from aqueous solution using modified corn stalks: Characteristic, equilibrium, kinetic and thermodynamic study," *Chem. Eng. J.*, vol. 168, no. 2, pp. 909–917, 2011.
- [31] G. W. Brindley, "Identification of Clay Minerals by X-ray Diffraction Analysis," *Clays Clay Miner.*, vol. 1, no. 1, pp. 119–129, 1952.
- [32] Y. Li, S. Liu, Z. Zhang, S. Xie, X. Zhu, and L. Xu, "Aromatization and isomerization of 1-hexene over alkali-treated HZSM-5 zeolites: Improved reaction stability," *Appl. Catal. A Gen.*, vol. 338, no. 1–2, pp. 100–113, 2008.
- [33] I. Melián-Cabrera, S. Espinosa, C. Mentrut, F. Kapteijn, and J. A. Moulijn, "Alkaline leaching for synthesis of improved Fe-ZSM5 catalysts," *Catal. Commun.*, vol. 7, no. 2, pp. 100–103, 2006.
- [34] I. Melián-Cabrera, S. Espinosa, J. C. Groen, B. V. D. Linden, F. Kapteijn, and J. A. Moulijn, "Utilizing full-exchange capacity of zeolites by alkaline leaching: Preparation of Fe-ZSM5 and application in N₂O decomposition," *J. Catal.*, vol. 238, no. 2, pp. 250–259, 2006.
- [35] J. Jänicke, R. V. Morris, D. L. Bish, M. Janssen, and U. Hellwig, "The H₂O and CO₂ adsorption properties of phyllosilicate-poor palagonitic dust and smectites under martian environmental conditions," *Icarus*, vol. 200, no. 2, pp. 463–467, 2009.
- [36] F. R. Cunnings, "An infrared study of hydroxyl groups on sepiolite," *Journal of Physical Chemistry*, vol. 72, no. 3, pp. 1072–1074, 1968.
- [37] C. Serna, J. L. Ahlrichs, and J. M. Serratos, "Folding in sepiolite crystals," *Clays Clay Miner.*, vol. 23, no. 6, pp. 452–457, 1975.
- [38] Y. T. Kim, K. D. Jung, and E. D. Park, "Gas-phase dehydration of glycerol over silica-alumina catalysts," *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 107, no. 1–2, pp. 177–187, 2011.
- [39] G. L. Woolery, G. H. Kuehl, H. C. Timken, A. W. Chester, and J. C. Vartuli, "On the nature of framework Brønsted and Lewis acid sites in ZSM-5," *Zeolites*, vol. 19, no. 4, pp. 288–296, 1997.
- [40] G. Zhang, J. Qu, H. Liu, R. Liu, and R. Wu, "Preparation and evaluation of a novel Fe-Mn binary oxide adsorbent for effective arsenite removal," *Water Res.*, vol. 41, no. 9, pp. 1921–1928, 2007.
- [41] A. Günay, E. Arslankaya, and I. Tosun, "Lead removal from aqueous solution by natural and pretreated clinoptilolite: Adsorption equilibrium and kinetics," *J. Hazard. Mater.*, vol. 146, no. 1–2, pp. 362–371, 2007.
- [42] A. Cincotti, N. Lai, R. Orrù, and G. Cao, "Sardinian natural clinoptilolites for heavy metals and ammonium removal: Experimental and modeling," *Chem. Eng. J.*, vol. 84, no. 3, pp. 275–282, 2001.
- [43] A. H. Englert and J. Rubio, "Characterization and environmental application of a Chilean natural zeolite," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 75, no. 1–2, pp. 21–29, 2005.
- [44] L. L.?, L. Chen, W. Shao, and F. Luo, "Equilibrium and kinetic modeling of Pb(II) biosorption by a chemically modified orange peel containing Cyanex 272," *J. Chem. Eng. Data*, vol. 55, no. 10, pp. 4147–4153, 2010.
- [45] Y. Tao, H. Kanoh, and K. Kaneko, "Developments and structures of mesopores in alkaline-treated ZSM-5 zeolites," *Adsorption*, vol. 12, no. 5–6, pp. 309–316, 2006.
- [46] T. A. Khan, S. A. Chaudhry, and I. Ali, "Equilibrium uptake, isotherm and kinetic studies of Cd(II) adsorption onto iron oxide activated red mud from aqueous solution," *J. Mol. Liq.*, vol. 202, pp. 165–175, 2015.
- [47] V. O. Leone, M. C. Pereira, S. F. Aquino, L. C. A. Oliveira, S. Correa, T. C. Ramalho, L. V. A. Gurgel, and A. C. Silva, "Adsorption of diclofenac on a magnetic adsorbent based on maghemite: experimental and theoretical studies," *New J. Chem.*, vol. 42, no. 1, pp. 437–449, 2018.

- [48] Y. S. Ho and G. McKay, "Pseudo-second order model for sorption processes," *Process Biochem.*, vol. 34, no. 5, pp. 451–465, 1999.
- [49] Y. Tae, K. Jung, and E. Duck, "Microporous and Mesoporous Materials Gas-phase dehydration of glycerol over ZSM-5 catalysts," *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 131, no. 1–3, pp. 28–36, 2010.
- [50] D. Esquivel, A. J. Cruz-Cabeza, C. Jiménez-Sanchidrián, and F. J. Romero-Salguero, "Local environment and acidity in alkaline and alkaline-earth exchanged?? zeolite: Structural analysis and catalytic properties," *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 142, no. 2–3, pp. 672–679, 2011.
- [51] A. Ates and G. Akgözü, "Modification of natural zeolite with NaOH for removal of manganese in drinking water," *Powder Technol.*, vol. 287, pp. 285–291, 2016.
- [52] N. Bektas, S. Aydin, and M. S. Oncel, "The Adsorption of Arsenic Ions Using Beidellite, Zeolite, and Sepiolite Clays: A Study of Kinetic, Equilibrium and Thermodynamics," *Sep. Sci. Technol.*, vol. 46, no. 6, pp. 1005–1016, 2011.
- [53] M. D. Öztel, F. Akbal, and L. Altaş, "Arsenite removal by adsorption onto iron oxide-coated pumice and sepiolite," *Environ. Earth Sci.*, vol. 73, no. 8, pp. 4461–4471, 2015.
- [54] S. A. Alex, C. Lomenech, C. Hurel, and N. Marmier, "Adsorption of nickel and arsenic from aqueous solution on natural sepiolite," *Int. J. Nanotechnol.*, vol. 9, no. 3/4/5/6/7, p. 204, 2012.
- [55] N. Tian, X. Tian, L. Ma, C. Yang, Y. Wang, Z. Wang, and L. Zhang, "Well-dispersed magnetic iron oxide nanocrystals on sepiolite nanofibers for arsenic removal," *RSC Adv.*, vol. 5, no. 32, pp. 25236–25243, 2015.
- [56] K. Gupta, T. Basu, and U. C. Ghosh, "Sorption characteristics of arsenic(V) for removal from water using agglomerated nanostructure iron(III)-zirconium(IV) bimetal mixed oxide," *J. Chem. Eng. Data*, vol. 54, no. 8, pp. 2222–2228, 2009.
- [57] J. Hlavay and K. Polyák, "Determination of surface properties of iron hydroxide-coated alumina adsorbent prepared for removal of arsenic from drinking water," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 284, no. 1, pp. 71–77, 2005.
- [58] J. Hlavay and K. Polyak, "Determination of surface properties of iron hydroxide-coated alumina adsorbent prepared for removal of arsenic from drinking water," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 284, no. 1, pp. 71–77, 2005.
- [59] Z. Ren, G. Zhang, and J. Paul Chen, "Adsorptive removal of arsenic from water by an iron-zirconium binary oxide adsorbent," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 358, no. 1, pp. 230–237, 2011.
- [60] G. Zhang, J. Qu, H. Liu, R. Liu, and R. Wu, "Preparation and evaluation of a novel Fe-Mn binary oxide adsorbent for effective arsenite removal," *Water Res.*, vol. 41, no. 9, pp. 1921–1928, 2007.



Elipsoit Destek Vektör Öbekleme Algoritmasının Biyomedikal Veri Setleri Üzerinde Karşılaştırmalı Performans Analizi

¹Furkan Burak Bağcı, ²Ömer Karal

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ankara, D1000000832@ybu.edu.tr,

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ankara, karal@ybu.edu.tr,

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 16.05.2018

Kabul Tarihi: 06.10.2018

Öz

Hastalıklı kişilerde hastalığın teşhisinin önceden yapılması, tanısının konulması ve gerekli önlemlerin alınmasına yardımcı olmalarından dolayı öbekleme algoritmalarının performansı biyomedikal araştırmalarda çok önemlidir. Ancak, çoğu öbekleme algoritması benzerlik metriği olarak Öklid uzaklığını kullanır. Öklid uzaklığı verilerin varyanslarını eşit kabul eder. Gürültülü veya aykırı değerlerin veriye bulaşması durumunda, geleneksel Öklid uzaklığı kullanan öbekleme yöntemlerinin performansı oldukça düşmektedir. Bu çalışma, yukarıda bahsedilen olumsuzlukları gidermek için kernel tabanlı öbekleme yöntemlerinden biri olan Elipsoit Destek Vektör Öbekleme (EDVÖ) algoritmasını önerir. EDVÖ algoritmasında, önceden öbek sayısının belirtilmesine gerek yoktur. Ayrıca, EDVÖ algoritması, mahalanobis benzerlik ölçüsünü kullanarak verilerin dağılımına uygun kümeleme şekilleri üretebilir. Önerilen EDVÖ algoritması hem gerçek biyomedikal verilere hem de sentetik verilere uygulanmış ve daha sonra geleneksel kümeleme yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. EDVÖ algoritmasının doğruluk, özgüllük ve duyarlılık açısından iyi bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Biyomedikal veriler, öbekleme, elipsoit destek vektör öbekleme

Comparative Performance Analysis of Ellipsoidal Support Vector Clustering on Biomedical Data Sets

¹ Furkan Burak Bağcı, ² Ömer Karal

¹ D1000000832@ybu.edu.tr

² karal@ybu.edu.tr

Abstract

The performance of clustering algorithms is very important in biomedical research because they help in the pre-diagnosis of diseases, recognize diseases and take necessary precautions in diseased people. However, most clustering algorithms use the Euclidean distance as a similarity metric. Euclidean distance assumes the variances of the data samples are equal. The performance of traditional clustering methods that use Euclidean distance is quite low if the data contains noise or outlier samples. This study proposes the Ellipsoidal Support Vector Clustering algorithm, which is one of the kernel-based clustering methods, in order to eliminate the above mentioned problems. In the ESVC algorithm, there is no need to specify the cluster number in advance. Moreover, the ESVC algorithm is capable of generating clustering shapes that are appropriate to the distribution of data using the mahalanobis similarity metric. The proposed ESVC algorithm was applied to both real biomedical data and synthetic data and then compared to conventional clustering methods. It has been observed that ESVC algorithm performs well in terms of accuracy, specificity and sensitivity.

Keywords: Biomedical data, clustering, ellipsoidal support vector clustering

* Sorumlu Yazar: Omer KARAL Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ankara, D1000000832@ybu.edu.tr

1. GİRİŞ

Denetimsiz öğrenme yöntemlerinden biri olan öbekleme algoritmalarının amacı, sınırlı bir veri kümesini, kümeler arası benzerliği en aza indirecek şekilde sonlu sayıda öbeklere ayırmaktır [1]. Bu ayırma işleminin sonucunda, aynı öbek içinde yer alan veriler birbirine büyük oranda benzer özellikler gösterirken, farklı öbeklerde yer alan veriler de söz konusu benzerlik oldukça azalmaktadır [2]. Sınıflandırma problemlerinden farklı olarak, öbekleme problemlerinde verilere ait etiket bilgileri önceden bilinmemektedir [3].

Öbekleme algoritmaları, öbekleme sonucu elde edilen verileri kullanarak ilgili alanda yeni kararların verilebilmesini sağlar. Örneğin, hastalıklı kişilerde, hastalık teşhisinin önceden yapılması, tanısının konulması ve gerekli önlemlerin alınmasında öbekleme yöntemleri ilk başvurulacak yöntemler arasındadır. Özellikle, k-merkez (k-means) öbekleme [4], hiyerarşik öbekleme [5], bulanık C-merkez (Fuzzy C-Means - FCM) öbekleme [6] gibi algoritmalar biyomedikal araştırmalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Son zamanlarda, farklı öbekleme algoritmalarının aynı veriler üzerinde uygulanması ve sonuçlarının (performanslarının) karşılaştırılmasına ilişkin çalışmaların sayısında önemli bir artış görülmektedir. Velmurugan [7], k-merkez ve FCM öbekleme algoritmalarını haberleşme veri setine uygulamış ve performans tabanlı analizini gerçekleştirmiştir. Velmurugan k-merkez öbekleme algoritmasına ait hesaplama süresinin FCM öbekleme algoritmasına ait hesaplama süresinden daha kısa sürdüğünü ancak gürültüye karşı daha hassas olduğunu vurgulamıştır. Erken [8], k-merkez, spektral ve Girvan-Newman öbekleme algoritmalarını göğüs kanseri veri setine uygulayarak artı ve eksi yönlerini incelemiştir. Elde edilen sonuçlardan, k-merkez öbekleme algoritmasının en hızlı sonucu veren algoritma olduğu, spektral öbekleme algoritmasında bazı sapmaların ortaya çıktığı ve son olarak Girvan-Newman öbekleme algoritmasında da çok fazla süreye ihtiyaç duyulduğu saptanmıştır. Sharma ve ark. [9], hiyerarşik maksimum olasılık tabanlı öbekleme algoritması ile k-merkez öbekleme algoritmasını genom verilerine uygulayarak öbekleme performanslarını karşılaştırmışlardır. Buna göre, özellikle üst üste çıkan öbeklerde hiyerarşik maksimum olasılık tabanlı öbekleme algoritmasının daha iyi sonuç verdiğini ve böylece veri sayısının, verinin boyutundan daha az olduğu durumlarda bile kullanışlı olduğunu göstermiştir.

Yukarıda bahsi geçen öbekleme algoritmaları, veri örnekleri arasında benzerlik metriği olarak, Öklid uzaklığını kullanırlar. Öklid uzaklığı verilerin varyanslarını eşit kabul eder. Ancak, çoğu gerçek dünya verisi farklı varyansta veriler içerebilir.

Son yıllarda, verinin dağılımı hakkında ön bilgi gerektirmeksizin çalışabilmesi ve kullanılan kernel (çekirdek) fonksiyonundaki parametre sayesinde veriye

uygun öbek sınırlarını oluşturabilmesi gibi özelliklerinden dolayı, Destek Vektör Öbekleme (DVÖ) yöntemi oldukça dikkat çekmiştir [10-15].

DVÖ algoritması ile gerçekleştirilen öbekleme işlemlerinde, k-merkez ve FCM öbekleme algoritmalarında olduğu gibi, veri örnekleri arasında, benzerlik metriği olarak Öklid uzaklığı kullanılır. Öklid uzaklığında, veri örnekleri arasındaki farkın karesi minimize edilir. Eğer gürültülü veya aykırı örnekler veri setinde bulunursa, Öklid metriğini kullanan öbekleme algoritmalarında hatalı öbeklerin elde edilmesi kaçınılmaz olur. Yukarıda belirtilen problemin üstesinden gelmek için, Wang ve ark. [16], Öklid uzaklığı yerine Mahalanobis uzaklığı kullanan kernel tabanlı yeni bir öbekleme algoritmasını önermiş ve Elipsoit Destek Vektör Öbekleme (EDVÖ) algoritması olarak adlandırmıştır.

Literatürde, herhangi bir hastalığa ait verilerin analizinde, EDVÖ yönteminin uygulandığı bilimsel bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak, yakın geçmişte, fonksiyonel MRI verisinde aktif bölgelerin tespit edilmesi için EDVÖ algoritması önerilmiştir [16]. Elde edilen sonuçlardan, EDVÖ algoritmasının k-merkez ve FCM gibi geleneksel öbekleme algoritmalarından daha iyi bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, EDVÖ yöntemi ilk kez sentetik yüzük (Ring) veri seti ile University of California Irvine (UCI) veri deposundan [17] alınan Hepatit ve Parkinson hastalıklarına ait gerçek veri setlerine uygulanmıştır. Ayrıca, söz konusu veri setleri üzerinde, literatürde yaygın olarak kullanılan k-merkez, hiyerarşik ve FCM gibi geleneksel öbekleme algoritmaları ile EDVÖ algoritmasının karşılaştırmalı performans analizleri de gerçekleştirilmiştir.

Makalenin geri kalan kısmı; 2. bölümde DVÖ algoritmasının özeti ve EDVÖ algoritmasının teorik detayından, 3. bölümde önerilen EDVÖ yöntemi ile FCM, k-merkez, hiyerarşik gibi literatürde yaygın olarak kullanılan öbekleme yöntemlerinin performans analizinden ve son bölümde sonuç ve gelecekte yapılması düşünülen çalışmalara ait bilgilerden oluşur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, çalışmamızda kullanılan EDVÖ algoritması teorik ayrıntıları ile açıklanmıştır. EDVÖ, DVÖ algoritması temel alınarak oluşturulan bir algoritmadır. Bundan dolayı, ilk olarak, DVÖ algoritmasının teorik altyapısı verilmiş ardından EDVÖ algoritmasının teorisi DVÖ teorisine dayanarak detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

2.1. Destek Vektör Öbekleme

Destek vektör öbekleme yöntemi iki ana aşamadan oluşur. İlk aşamada, giriş uzayında verilen veriler doğrusal olmayan bir kernel fonksiyonu ile yüksek boyutlu bir uzaya taşınır. Gauss fonksiyonları en sık seçilen kernel fonksiyonlarından biridir. Bu yüksek boyutlu uzayda, tüm veri noktalarını

kapsayacak şekilde en küçük yarıçaplı küre tanımlanmaya çalışılır.

İkinci aşamada, yüksek boyutlu uzayda elde edilen kürenin giriş uzayına iz düşümü alınır. Giriş uzayındaki bu iz düşüm birbiri ile kesişmeyen çeşitli şekiller (öbekler) oluşturur. Şekillerin sınırları öbek sınırları olarak kabul edilir.

DVÖ algoritmasının matematiksel formülasyonu aşağıdaki gibi tanımlanır. Giriş uzayındaki N tane d boyutlu veri $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}, x_i \in \mathbb{R}^d$ doğrusal olmayan bir dönüşüm fonksiyonu Φ ile özellik uzayına taşınır. Özellik uzayında, verilerin tamamını içine alacak şekilde yarıçapı en küçük olan bir hiper küre belirlenmeye çalışılır. Ayrıca, az bir hatayla oluşturulacak bu kürenin hemen dışında kalan verilerin de kümeye dâhil edilebilmesi için ξ parametresi tanımlanır. Böylece daha esnek küme sınırları oluşur. Bu hiper küre denklem 1’de ifade edilmiştir.

$$\begin{aligned} \min \{R^2 + C \sum_{j=1}^N \xi_j\} \\ \text{subject to} \\ \|\Phi(x_i) - a\|^2 \leq R^2 + \xi_j \\ R > 0, \xi_j \geq 0, j = 1, \dots, N \end{aligned} \quad (1)$$

Bu denklemde R hiper kürenin yarıçapı, a hiper kürenin merkezi, C ise regülarizasyon sabitidir. Denklem 1’de verilen optimizasyon problemini çözmek için Lagrange çarpanları yöntemi kullanılır (denklem 2).

$$\begin{aligned} L = R^2 - \sum_j (R^2 + \xi_j - \|\Phi(x_j) - a\|^2) \beta_j - \\ \sum_j \xi_j \mu_j + C \sum_j \xi_j \\ \beta_j \geq 0, \mu_j \geq 0, i = 1, \dots, N \end{aligned} \quad (2)$$

β_j ve μ_j Lagrange katsayılarıdır.

Denklem 2’nin R , a ve ξ parametrelerine göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse, denklem 3, 4 ve 5’te gösterilen eşitlikler elde edilir.

$$\sum_j \beta_j = 1 \quad (3)$$

$$a = \sum_j \beta_j \Phi(x_j) \quad (4)$$

$$\beta_j = C - \mu_j \quad (5)$$

Karush-Kuhn-Tucker (KKT) şartlarına göre optimal çözümde Lagrange çarpanları ile kısıtlar arasındaki çarpımın sıfır olması gerekir (denklem 6 ve 7).

$$\xi_j \mu_j = 0 \quad (6)$$

$$(R^2 + \xi_j - \|\Phi(x_j) - a\|^2) \beta_j = 0 \quad (7)$$

Denklem 7’den $\xi_j > 0$ ve $\beta_j > 0$ şartını sağlayan veri örneklerinin, hiper kürenin dışında kaldığı anlaşılmaktadır. Denklem 6’dan $\xi_j > 0$ şartına göre $\mu_j = 0$ olmalıdır. Bu durum, denklem 5’den görüleceği üzere $\beta_j = C$ ’dir. Yani, $\xi_j > 0$ ve $\beta_j = C$ koşulunu sağlayan veri örnekleri hiper kürenin dışında kalan aykırı örneklerdir.

$\xi_j = 0$ ve $0 < \beta_j < C$ şartlarını sağlayan veri örnekleri ise hiper kürenin yüzeyindedir. Bu veri örneklerine destek vektörler (support vectors) denir ve giriş uzayındaki öbek sınırları, bu destek vektörler ile belirlenir.

Eşitlik 3, 4 ve 5 denklem 2’de yerine konup gerekli sadeleştirmeler yapılırsa (giriş değişkenleri yok edilirse) Lagrange çarpanları cinsinden ikinci dereceden bir optimizasyon denklemi (8) elde edilir.

$$\begin{aligned} W = \sum_j \Phi(x_j)^2 \beta_j - \sum_{i,j} \beta_i \beta_j K(x_i, x_j) \\ \text{subject to} \end{aligned} \quad (8)$$

$$0 \leq \beta_i \leq C, \quad i = 1, \dots, N$$

Burada,

$$K(x_i, x_j) = \Phi(x_i) \cdot \Phi(x_j) \quad (9)$$

kernel olarak adlandırılır.

Literatürde genellikle Gauss kernel fonksiyonu kullanılır (10).

$$\begin{aligned} K(x_i, x_j) = e^{-q \|x_i - x_j\|^2} \\ q = \frac{1}{2\sigma^2} \end{aligned} \quad (10)$$

Denklem 8’in çözümünden Lagrange çarpanlarının optimal değeri bulunur. İkinci aşama öbek etiketleme adıdır. DVÖ algoritmasında kullanılan geometrik yaklaşıma göre farklı iki öbekte yer alan iki örnek veriyi giriş uzayında birleştiren bir hat, özellik uzayında hiperkürenin dışında olmalıdır. Bu adımın uygulanması için, rastgele seçilen iki noktayı birleştirecek hattı oluşturan noktalar belirlenir. Noktalar arası mesafe fonksiyonunu bulmak için, denklem 11’de gösterilen, özellik uzayındaki bir verinin kürenin merkezine olan uzaklığını belirten denklem kullanılır.

$$R^2 = \|\Phi(x_j) - a\|^2 \quad (11)$$

Denklem 11’de a parametresi yerine, denklem 4’de gösterilen a parametresinin eşiti yazılırsa DVÖ için eğitilmiş kernel destek fonksiyonu aşağıdaki gibi (denklem 12) elde edilir.

$$\begin{aligned} f(x) = K(x, x) - 2 \sum_j \beta_j K(x_j, x) + \\ \sum_{i,j} \beta_i \beta_j K(x_i, x_j) \end{aligned} \quad (12)$$

Denklem 10’da gösterilen Gauss kernel fonksiyonunun q parametresi, veri uzayından özellik uzayına atanan verilerin ölçeğini belirlemektedir. Bu parametrenin seçilmesi için [10]’da, denklem 13’de gösterilen formüldeki değerin ilk değer olarak seçilmesi ve bu değer artırılarak devam edilmesi önerilmiştir. İlk q değerinde çok sayıda öbek oluşacakken, q değeri artırıldığında öbek sayısı giderek azalacaktır.

$$q = \frac{1}{\max_{i,j} \|x_i - x_j\|^2} \quad (13)$$

2.2. Elipsoit Destek Vektör Öbekleme

DVÖ algoritmasına benzer olarak EDVÖ algoritmasında da veriler önce yüksek boyutlu bir uzaya taşınır, taşınan veri örnekleri arasında benzerlikler hesaplanarak öbek sınırları oluşturulur. Diğer bir ifadeyle, optimizasyon ve öbek etiketlerinin belirlenmesi gibi adımlar EDVÖ algoritmasında da izlenmektedir. Bundan dolayı, DVÖ algoritmasına benzer bir yaklaşım EDVÖ algoritmasında da söz konusudur. Özellik uzayındaki verileri ifade etmek için ortalama vektörü (μ^Φ) ve kovaryans matrisi (Σ^Φ) kullanılır. Bu durum denklem 14'de ifade edilmiştir.

$$x_i \mapsto \Phi(x_i)(\mu^\Phi, \Sigma^\Phi), i = 1, \dots, N, \quad (14)$$

EDVÖ'de DVÖ'den farklı olarak özellik uzayına atanmış veriler hiperküre yerine denklem 15'de belirtilen hiperelipsoitin içine alınmasıdır. Bunun anlamı, özellik uzayına atanmış veri örneklerinin, birbirine olan benzerliklerini bulurken Öklid benzerlik metriği yerine mahalanobis benzerlik metriği kullanılacak olmasıdır. Mahalanobis benzerlik metriği, veri örneklerinin arasındaki benzerliği eliptik bir düzlemde bulur.

$$(\Phi(x) - a)^T (\Sigma^\Phi)^{-1} (\Phi(x) - a) = r^2 \quad (15)$$

Burada, a elipsoitin merkezini, $(\Sigma^\Phi)^{-1}$ kovaryans matrisinin tersini ifade eder.

EDVÖ yönteminin optimizasyon problemi denklem 16'da gösterildiği şekilde tanımlanır [16].

$$\begin{aligned} & \min \{r + C \sum_{i=1}^N \xi_i\} \\ & \text{subject to} \\ & \sqrt{(\Phi(x_i) - a)^T \Sigma^{\Phi^{-1}} (\Phi(x_i) - a)} \leq r + \xi_i \\ & r > 0, \xi_i \geq 0, i = 1, \dots, N \end{aligned} \quad (16)$$

Denklem 16'da ifade edilen optimizasyon probleminde kernel fonksiyonunun kullanılabilmesi için verileri giriş uzayından yüksek boyutlu uzaya taşıyan doğrusal olmayan fonksiyonların iç çarpım olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Konunun geri kalan kısmı denklem 9'da verilen bu iç çarpımı gerçekleştirmek için yapılan teorik işlemleri açıklamaktadır.

Teorem 1

$\Phi(x)$, özellik uzayına atanmış örnek olmak üzere μ^Φ ve Σ^Φ denklem 17'deki şekilde ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} \mu^\Phi &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Phi(x_i) \\ \Sigma^\Phi &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Phi(x_i) - \mu^\Phi)(\Phi(x_i) - \mu^\Phi)^T \end{aligned} \quad (17)$$

Burada, optimal a parametresi, özellik uzayına atanmış verilerin lineer bileşeni şeklinde yazılabilir. Bu durum denklem 18'de ifade edilmiştir. Özellik uzayındaki verilerden oluşan matrix X^Φ ile gösterilmektedir.

$$a = \sum_{i=1}^N w_i \Phi(x_i) = X^\Phi w \quad (18)$$

Optimizasyon probleminde kernel fonksiyonunu kullanabilmek için merkezileştirilmiş kernel matrisi, denklem 19'daki gibi tanımlanır.

$$K_C = K - EK - KE + EKE \quad (19)$$

Burada, E tüm değerleri $1/N$ olan $[N \times N]$ boyutlu matristir. K kernel matrisidir.

Teorem 2

K_C 'nin özdeğer analizi $K_C = A^T \Omega A$ olarak kabul edildiğinde kovaryans matrisi Σ^Φ denklem 20'deki gibi yazılabilir.

$$\Sigma^\Phi = (\Omega^{-\frac{1}{2}} A X^{\Phi T})^T \left(\frac{1}{N} \right) (\Omega^{-\frac{1}{2}} A X^{\Phi T}) \quad (20)$$

Teorem 1 ve Teorem 2 nin ispatları [16]'da açıklanmıştır. Teorem 2'den kovaryans matrisinin sözde-ters formu $\Sigma^{\Phi+}$, denklem 21'deki gibi hesaplanır.

$$\Sigma^{\Phi+} = N X^\Phi A^T \Omega^{-2} A X^{\Phi T} \quad (21)$$

Denklem 18 ve denklem 21'i denklem 16'nın içinde kullandığımızda, denklem 22 ile gösterilen kısıtlı optimizasyon problemi oluşturulur.

$$\begin{aligned} & \min r + C \sum_{i=1}^N \xi_i \\ & \text{s.t. } \|\sqrt{N} \Omega^{-1} A (K^i - K w)\| \leq r + \xi_i, \\ & r > 0, \xi_i \geq 0, i = 1, \dots, N \end{aligned} \quad (22)$$

Denklem 22'nin çözümünden eğitilmiş kernel destek fonksiyonu, aşağıdaki gibi (denklem 23) elde edilir.

$$f(x) = \|\sqrt{N} \Omega^{-1} A (K^x - K w)\| \quad (23)$$

Yukarıda da bahsedildiği gibi, optimizasyon problemi, özellik uzayına atanmış verilerin iç çarpımları kullanılarak ifade edilmiştir.

Optimizasyon denklemindeki doğrusal olmayan kısıtlamalar ikinci dereceden koni (İDK) kısıtlamaları olarak adlandırılır.

Doğrusal bir denklemi doğrusal ve doğrusal olmayan kısıtlarla birlikte minimize etmeye ikinci dereceden koni programlama (İDKP) denir.

İDKP iç nokta yöntemi (interior-point method) kullanan Sedumi [18] optimizasyon algoritması ile MATLAB ortamında etkili bir şekilde çözülebilmektedir. Ara-yüz programı olarak CVX [19] ile birlikte Sedumi optimizasyon algoritması, sayısal işlemlerde önemli ölçüde kolaylık sağlamaktadır.

Bu çalışmada, Sedumi optimizasyon programı MATLAB ortamında CVX arayüz programı ile EDVÖ algoritmasının optimizasyon probleminin çözülmesi için kullanılmıştır. Ayrıca, k-merkez, hiyerarşik ve FCM öbekleme algoritmalarının çözümü için MATLAB ortamında bulunan hazır fonksiyonlardan yararlanılmıştır.

3. BULGULAR

Bu bölümde, giriş kısmında bahsedilen k-merkez, hiyerarşik ve FCM gibi geleneksel öbekleme algoritmaları ile önerilen EDVÖ algoritması hem sentetik yüzük veri setine hem de UCI veri seti deposundan [17] alınan gerçek hepatit ve parkinson biyomedikal veri setlerine uygulanmıştır. Ayrıca, elde edilen sonuçlardan konfüzyon matrisi çıkarılmış, öbek hata oranı, özgüllük, hassasiyet değerlerine göre söz konusu algoritmalar karşılaştırılmıştır.

EDVÖ ve diğer öbekleme algoritmalarının (k-merkez, hiyerarşik, FCM) performansları değerlendirilirken konfüzyon matrisi aşağıdaki formatta oluşturulmuştur.

Konfüzyon Matrisi	Pozitif işaretlenmiş	Negatif işaretlenmiş
Pozitif	TP	FN
Negatif	FP	TN

Hepatit veri seti için pozitif sınıf kişinin hepatit hastalığı taşıdığını (ölü), negatif sınıf ise kişinin sağlıklı olduğunu (hayatta), Parkinson veri seti için pozitif sınıf kişinin Parkinson hastalığı taşıdığını negatif sınıf ise kişinin sağlıklı olduğunu ifade etmektedir. TP hasta veri örneğinin hasta olarak işaretlendiği, FN hasta veri örneğinin sağlıklı olarak işaretlendiği, TN sağlıklı veri örneğinin sağlıklı olarak işaretlendiği, FP sağlıklı veri örneğinin hasta olarak işaretlendiği veri örneklerinin sayısını belirtmektedir.

Öbekleme algoritmalarının karşılaştırılmasında kullanılan hesaplamalar denklem 24'de belirtilmiştir.

Hassasiyet parametresi, hastalara ait veri örneklerinin ne kadarının hasta olarak işaretlendiğinin, özgüllük parametresi ise sağlıklı insanlara ait veri örneklerinin ne kadarının sağlıklı olarak işaretlendiğinin oranını gösterir. Hata oranı parametresi, toplamda hatalı işaretlenen veri örneklerinin tüm veri örneklerine göre yüzdesini ifade eder.

$$\text{Özgüllük} = \frac{TN}{TN + FP}$$

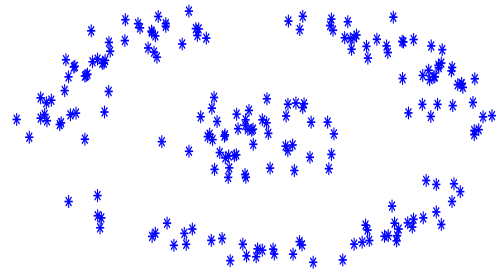
$$\text{Hassasiyet} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (24)$$

$$\text{Hata Oranı} = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} * 100$$

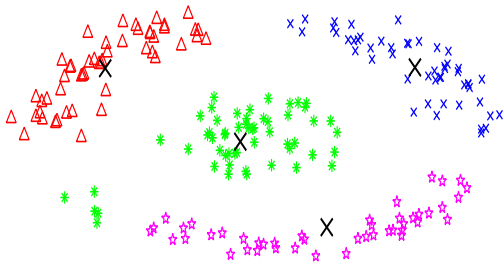
3.1. Sentetik Veri Seti

Yüzük veri seti, 2 boyutlu 200 örnek içerir. Öbekleme işlemini görselleştirmek için uygun olan bu veri seti, Şekil 1'deki gibi bir gösterime sahiptir. Hiyerarşik, k-merkez, FCM ve EDVÖ öbekleme algoritmaları ayrı ayrı yüzük veri setine uygulanmıştır. Buna göre en iyi sonuç, veri setinin 4 öbeğe ayrılması ile elde edilmiş ve görsel sonuçlar sırasıyla Şekil 2, 3, 4 ve 5'de gösterilmiştir. Ayrıntılı analiz sonuçları ise Tablo 1'de verilmiştir. Yüzük veri setini öbeklere ayırmak için kullanılan k-merkez, FCM ve hiyerarşik öbekleme algoritmalarını çalıştırmadan önce öbek sayısını belirten parametrenin (k) değeri belirtilmelidir. Örneğimizde, bu parametre 2, 3 ve 4 olacak şekilde seçilmiş ve her bir durum için öbekleme hata oranları Tablo 1'de sunulmuştur. Ancak, kernel tabanlı EDVÖ algoritması daha önce de bahsedildiği gibi önceden öbek sayısını belirten k parametre değerine ihtiyaç duymadığından, kernel parametresinin değeriyle veri setine uygun sayıda öbek oluşturmuştur. Kernel olarak Gauss kernel kullanılmış olup, k-merkez, hiyerarşik ve FCM için belirlenen öbek sayılarını sağlayacak şekilde varyans değeri 2 ile 3 arasındaki değerlerden seçilmiştir.

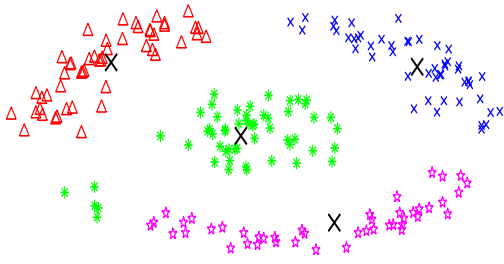
Tablo 1'den görüleceği üzere, k=4 alındığında, FCM ve k-merkez yöntemleri ile %2.5 hata elde edilmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3'den görüleceği üzere, k-merkez ve FCM algoritmaları diğer bir öbeğe ait olan verileri merkezdeki öbeğe atamıştır. Bu durum verinin düzgün bir şekilde öbeklenemediği anlamına gelir. Diğer taraftan, hiyerarşik öbekleme algoritmasında, k=4 alındığında yüzük veri setine ait örnekleri hatasız bir şekilde öbekleyebildiği Şekil 4'den görülmektedir. Tablo 1'den ve Şekil 5'den görülebileceği üzere önerilen EDVÖ algoritmasında varyans değeri $\sigma=2.4$ alındığında % 0.5 hata ile yüzük veri setini 4 öbeğe ayırabilmiştir. Ancak, EDVÖ algoritması ile verinin dağılımına uygun olarak oluşturulan öbeklerin sınırları diğer algoritmalara göre daha belirgindir. Bu durum Şekil 5'de açıkça görülmektedir.



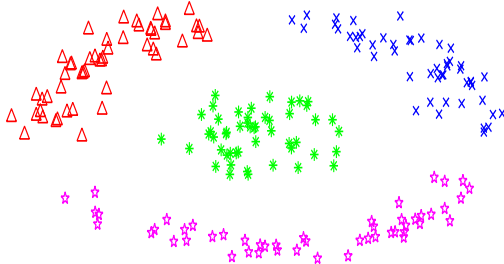
Şekil 1. Yüzük Veri Seti



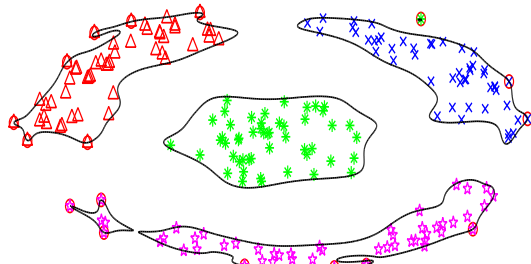
Şekil 2. k-merkez algoritması ile öbikleme (k=4)



Şekil 3. FCM algoritması ile öbikleme (k=4)



Şekil 4. Hiyerarşik algoritma ile öbikleme (k=4)



Şekil 5. EDVÖ algoritması ile öbikleme (σ=2.4)

Tablo 1. Sentetik yüzük veri setine ait öbikleme sonucu elde edilen hata oranları

Öbek Sayısı / Hata Oranı (%)	Öbikleme Yöntemi			
Cinsiyet	k- merkez	FCM	Hiyerarşik	*EDVÖ
K = 2 * $\sigma = 2.9$	50	50	50	50
K = 3 * $\sigma = 2.76$	25	25	25	25.5
K = 4 * $\sigma = 2.4$	2.5	2.5	0	0.5

3.2. Gerçek Biyomedikal Veri Seti

Gerçek dünya veri setleri çok boyutlu verilerden oluşmaktadır. Her bir boyutta gösterilen ölçümler farklı büyüklükteki değerler ile dolayısıyla farklı aralıklarda ifade edilmektedir. Örneğin, biyomedikal veri setlerinde, yaş özelliği 1-100 arasında değişebilen bir değere karşılık gelirken, kanda bulunan bazı maddelerin ölçüm değerleri 0-5 arası değerler ile ifade edilmektedir. Farklı aralıklarda olan verilerin sisteme doğrudan verilmesi optimizasyon aşamasında hataya neden olabilir. Bu sorundan kaçınmak için, veri öznitelik vektörleri üzerine ortalama, normalleştirme ve ölçekleme gibi işlemler uygulanarak veri örneklerinin benzer ölçekte (genellikle 0-1 aralığında) olması sağlanır. Ayrıca kategorik öznitelik vektörleri, her bir kategori için sadece o kategorik özelliğin 1, diğer kategorik özelliklerin 0'dan oluştuğu ayrı ayrı öznitelik vektörleri oluşturularak sisteme verilmelidir. Bu çalışmada, veri setlerinin hazırlanmasında söz konusu bu işlemlerin tamamı uygulanmıştır.

Hepatit veri seti, hepatit virüsüne sahip kişiler ile sağlıklı kişilerden oluşmaktadır. Dolayısıyla, veri seti sadece 2 öbek içerir. Bu durum ikili (binary) elemanlara sahip bir öznitelik vektörü ile ifade edilmektedir. Bundan dolayı, k-merkez ve FCM algoritmalarında önceden sisteme verilmesi gereken küme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. EDVÖ algoritmasında ise, sisteme önceden herhangi bir küme sayısı girilmediğinden, öbek sayısı iki olacak şekilde kernel parametresi belirlenmiş ve optimizasyon algoritması çalıştırılmıştır. Ayrıca, öbikleme algoritmaları, sınıflandırma algoritmalarının aksine, denetimsiz yaklaşımlar olduğundan bu öznitelik vektörü başta sisteme verilmemektedir.

Hepatit veri seti, 155 adet 19 boyutlu örnek içerir. Burada, 155 rakamı 155 farklı kişiden alınan verilerin kullanıldığını, 19 rakamı ise her bir kişiden alınan verinin 19 farklı ölçüme sahip olduğunu belirtir. Veri seti içerisinde ikili değere sahip 13 öz nitelik değeri bulunurken, değer aralığı 6 ile 8 arasında olan 6 ayrık (discrete) sayısal değerli öz nitelik vektörü bulunur. Hepatit veri setinde bulunan her bir öz niteliğe ait bilgiler Tablo 2’de ayrıntıları ile gösterilmektedir.

Tablo 2. Hepatit veri seti öz nitelikleri tablosu

Öznitelik İsmi	Öznitelik Değeri
Yaş	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80
Cinsiyet	Erkek, Kadın
Steroid	Hayır, Evet
Antivirals	Hayır, Evet
Fatigue	Hayır, Evet
Malaise	Hayır, Evet
Anorexia	Hayır, Evet
Liver big	Hayır, Evet
Liver firm	Hayır, Evet
Spleen Palpable	Hayır, Evet
Spiders	Hayır, Evet
Ascites	Hayır, Evet
Varices	Hayır, Evet
Bilirubin	0.39, 0.80, 1.20, 2.00, 3.00, 4.00
Alk Phosphate	33, 80, 120, 160, 200, 250
Sgot	13, 100, 200, 300, 400, 500
Albumin	2.1, 3.0, 3.8, 4.5, 5.0, 6.0
Protime	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90
Histology	Hayır, Evet

Önerilen EDVÖ algoritması ile literatürde yaygın olarak kullanılan k-merkez, hiyerarşik ve FCM algoritmalarının hepatit veri seti kullanılarak yapılan öbeleme sonuçlarına ait konfüzyon matrisleri sırasıyla Tablo 3, 4, 5 ve 6’da verilmiştir.

Tablo 3. Hepatit veri seti ile k-means kullanılarak yapılan öbeleme sonucu elde edilen konfüzyon matrisi

k-merkez	Pozitif işaretlenmiş	Negatif işaretlenmiş
Pozitif	5	14
Negatif	21	72

Tablo 4. Hepatit veri seti ile FCM kullanılarak yapılan öbeleme sonucu elde edilen konfüzyon matrisi

FCM	Pozitif işaretlenmiş	Negatif işaretlenmiş
Pozitif	6	13
Negatif	21	72

Tablo 5. Hepatit veri seti ile hiyerarşik algoritması kullanılarak yapılan öbeleme sonucu elde edilen konfüzyon matrisi

Hiyerarşik	Pozitif işaretlenmiş	Negatif işaretlenmiş
Pozitif	5	14
Negatif	21	72

Tablo 6. Hepatit veri seti ile EDVÖ kullanılarak yapılan öbeleme sonucu elde edilen konfüzyon matrisi

EDVÖ	Pozitif işaretlenmiş	Negatif işaretlenmiş
Pozitif	6	13
Negatif	9	84

Hepatit veri setinde uygulanan öbeleme algoritmalarından elde edilen konfüzyon matrislerine göre en iyi TN ve TP değerleri sırasıyla EDVÖ algoritması ile 84 ve 6 olarak elde edilmiştir (Tablo 6). Çalışmada kullanılan bir diğer veri seti ise parkinson hastalığına ait veri setidir. Oxford üniversitesinden Max Little tarafından, Kolorado eyaletinin başkenti Denver’de bulunan hastaların, konuşma sinyallerinin ulusal ses ve konuşma merkezinde kaydedilmesiyle oluşturulmuştur.

Tablo 7. Parkinson veri seti öz nitelikleri tablosu

Öznitelik İsmi	Öznitelik Açıklaması
MDVP:F0(Hz)	Ortalama Ses Frekansı
MDVP:Fhi(Hz)	En Yüksek Ses Frekansı
MDVP:Flo(Hz)	En Düşük Ses Frekansı
MDVP:Jitter(%), MDVP:Jitter(Abs), MDVP:RAP, MDVP:PPQ, Jitter:DDP	Frekans Değişimini Gösteren Bazı Ölçümler
MDVP:Shimmer, MDVP:Shimmer(dB), Shimmer:APQ3, Shimmer:APQ5, MDVP:APQ, Shimmer:DDA	Genlik Değişimini Gösteren Bazı Ölçümler
NHR,HNR	Ses tonuna ait bileşenler ile gürültü oranını belirten iki adet ölçüm
RPDE,D2	İki adet lineer olmayan karmaşıklık ölçüleri
DFA	Sinyal fraktal ölçeklendirme üssü
spread1, spread2, PPE	Temel frekans değişiminin üç doğrusal olmayan ölçümü

Söz konusu veri seti, Parkinson hastalığına sahip kişiler ile sağlıklı kişilerden alınan bir dizi biyomedikal ses ölçümü

içerir. Bundan dolayı, öbeikleme sonucu ulaşılması gereken öbek sayısı 2'dir. Parkinson veri seti 197 adet 22 boyutlu örnek içerir. Her bir öznitelik belirli bir ses ölçüsüdür ve her örnek 197 adet ses kaydına karşılık gelir. Tablo 7'de Parkinson veri setine ait öznitelikler ayrıntıları ile verilmiştir. Önerilen EDVÖ algoritması ile k-merkez, hiyerarşik ve FCM algoritmalarının Parkinson veri seti kullanılarak yapılan öbeikleme sonuçlarına ait konfüzyon matrisleri sırasıyla Tablo 8, 9, 10 ve 11'de verilmiştir.

Tablo 8. Parkinson veri seti ile k-merkez kullanılarak yapılan öbeikleme sonucu elde edilen konfüzyon matrisi

k-merkez	Pozitif işaretlenmiş	Negatif işaretlenmiş
Pozitif	74	73
Negatif	0	48

Tablo 9. Parkinson veri seti ile FCM kullanılarak yapılan öbeikleme sonucu elde edilen konfüzyon matrisi

FCM	Pozitif işaretlenmiş	Negatif işaretlenmiş
Pozitif	84	63
Negatif	1	47

Tablo 10. Parkinson veri seti ile hiyerarşik kullanılarak yapılan öbeikleme sonucu elde edilen konfüzyon matrisi

Hiyerarşik	Pozitif işaretlenmiş	Negatif işaretlenmiş
Pozitif	103	44
Negatif	48	0

Tablo 11. Parkinson veri seti ile EDVÖ kullanılarak yapılan öbeikleme sonucu elde edilen konfüzyon matrisi

EDVÖ	Pozitif işaretlenmiş	Negatif işaretlenmiş
Pozitif	144	3
Negatif	38	10

Parkinson veri setinde uygulanan öbeikleme algoritmalarından elde edilen konfüzyon matrislerine göre en iyi TP değeri 144 ile EDVÖ algoritmasından elde edilirken en iyi TN değeri ise 48 ile k-merkez algoritmasından elde edilmiştir. Tablo 12 ve 13'de EDVÖ algoritmasının uygulanmasından elde edilen hassasiyet, özgüllük ve hata oranı ile literatürde kullanılan geleneksel diğer öbeikleme yöntemlerinin (k-merkez, hiyerarşik ve FCM) uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Tablo 12. Hepatit veri seti ile yapılan deneyler sonucu performans karşılaştırması

Hepatit	k-merkez	FCM	Hiyerarşik	EDVÖ
Hassasiyet	0.26	0.32	0.26	0.32
Özgüllük	0.77	0.77	0.77	0.90
Hata Oranı(%)	31.25	30.35	31.25	19.6

Tablo 12'den görüleceği üzere, hepatit veri seti üzerinde en küçük hata oranı 19.6% en yüksek hassasiyet (0.32) ve özgüllük (0.9) değerleriyle EDVÖ algoritmasından elde edilmiştir.

Tablo 13. Parkinson veri seti ile yapılan deneyler sonucu performans karşılaştırması

Parkinson	k-merkez	FCM	Hiyerarşik	EDVÖ
Hassasiyet	0.5	0.57	0.7	0.98
Özgüllük	1	0.98	0	0.21
Hata Oranı(%)	37.43	32.82	47.18	21.02

Benzer şekilde Tablo 13'den görüleceği üzere, Parkinson veri setinde en küçük hata oranı 21.2% ve en yüksek hassasiyet 0.98 ile EDVÖ algoritmasından elde edilirken en yüksek özgüllük ise 1 ile k-merkez algoritmasından elde edilmiştir.

Bu sonuçlara göre önerilen EDVÖ algoritmasının gerçek biyomedikal veri setleri üzerindeki performansının diğer üç algoritmaya göre daha iyi olduğu anlaşılmaktadır.

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada, kernel tabanlı EDVÖ algoritmasının sentetik ve gerçek dünya veri setleri ile performans analizi yapılmıştır. EDVÖ, denetimsiz yaklaşım özelliğinden dolayı, sınıflandırma algoritmalarının aksine küme etiketlerinin bilinmesine gerek duymaması yönüyle oldukça dikkat çekmektedir. Ayrıca, kernel fonksiyonu parametresi sayesinde, algoritmanın çalıştırılabilmesi için önceden öbek sayısının belirtilmesine ihtiyaç duymaması ve farklı varyanslara sahip veri setlerine de başarı ile uygulanabilmesi için veriler arasında benzerlik metriği olarak mahalanobis uzaklığını kullanması gibi özellikleri ile son yıllarda diğer kümeleme algoritmalarından daha çok kullanım alanı bulmuştur. Hasta ve sağlıklı kişilerden alınarak oluşturulan gerçek hepatit ve Parkinson veri setleri kullanılarak gerçekleştirilen öbeikleme işlemlerine yönelik, literatürde, k-merkez, FCM, hiyerarşik gibi çeşitli öbeikleme algoritmaları önerilmesine karşın EDVÖ algoritması ile yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmamızda, EDVÖ yöntemi, sentetik yüzük veri seti ile hepatit ve parkinson veri setleri üzerinde uygulanmış ve yukarıda bahsi geçen yöntemlerle öbeikleme hata oranı cinsinden karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırma sonuçlarına göre Yüzük veri setinde en iyi sonuçlar k=4 alındığında elde edilmiştir. Burada k-merkez ve FCM algoritmaları %2.5, hiyerarşik öbeikleme algoritması %0 hata ile veriyi öbeklerken EDVÖ algoritması %0.5 hata ile veriyi öbeklemiştir. Hepatit veri seti üzerinde, önerilen EDVÖ algoritması ile %19.6 'lık en küçük hata oranı elde edilirken, benzer şekilde parkinson veri seti üzerinde de önerilen EDVÖ algoritması ile %21.02'lik en küçük hata oranı elde edilmiştir. Diğer bir ifadeyle, EDVÖ algoritması

ile hepatit veri seti %80.04 ve Parkinson veri seti %79.98 başarı oranı ile öbekleyebilmiştir. Ayrıca EDVÖ algoritması özgüllük açısından da diğer algoritmalarından daha başarılı sonuçlar vermiştir. Hassasiyet açısından EDVÖ algoritması Hepatit veri setinde en iyi değeri sağlarken Parkinson veri setinde en iyi değer k-merkez algoritması ile elde edilmiştir. Sonuç olarak önerilen EDVÖ algoritması, gelecek çalışmalar için diğer biyomedikal uygulamalarda da kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- [1].Fahad, Adil, et al. "A survey of clustering algorithms for big data: Taxonomy and empirical analysis", IEEE transactions on emerging topics in computing, 2(3):267-279, (2014).
- [2].Starczewski, Artur. "A new validity index for crisp clusters", Pattern Analysis and Applications, 20(3):687-700, 2017.
- [3].Xu, Rui, and Donald Wunsch, "Survey of clustering algorithms", IEEE Transactions on neural networks, 16(3):645-678, (2005).
- [4].Khanmohammadi, Sina, Naiier Adibeig, and Samaneh Shanehbandy, "An improved overlapping k-means clustering method for medical applications", Expert Systems with Applications, 67:12-18, (2017).
- [5].Rosati, Samanta, et al, "Muscle activation patterns during gait: A hierarchical clustering analysis", Biomedical Signal Processing and Control, 31:463-469, (2017).
- [6].Kumar, Dharendra, et al, "A modified intuitionistic fuzzy c-means clustering approach to segment human brain MRI image", Multimedia Tools and Applications, 1-25, (2018).
- [7].Velmurugan, T, "Performance based analysis between k-Means and Fuzzy C-Means clustering algorithms for connection oriented telecommunication data", Applied Soft Computing, 19:134-146, (2014).
- [8].Erken, Mücahit, "Comparing clustering algorithms on wisconsin data set", 24th. IEEE Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), 2016.
- [9].Sharma, Alok, et al, "Hierarchical maximum likelihood clustering approach", IEEE transactions on biomedical engineering, 64(1):112-122, (2017).
- [10]. Ben-Hur, Asa, et al, "Support vector clustering", Journal of machine learning research, 125-137, (2001).
- [11]. Dongiovanni, Danilo & Vaina, Lucia, "Select and Cluster: A Method for Finding Functional Networks of Clustered Voxels in fMRI", Computational Intelligence and Neuroscience, (7):1-19, (2016).
- [12]. Yin, Zhong, and Jianhua Zhang, "Identification of temporal variations in mental workload using locally-linear-embedding-based EEG feature reduction and support-vector-machine-based clustering and classification techniques", Computer methods and programs in biomedicine, 115(3): 119-134, (2014).
- [13]. Villazana, Sergio, César Seijas, and Antonino Caralli, "Lempel–Ziv complexity and Shannon entropy-based support vector clustering of ECG signals", 22(1):(2015).
- [14]. Yin, Zhong, and Jianhua Zhang, "Identifying changes in human operator mental workload by locally linear embedding and support vector clustering approaches", IFAC Proceedings Volumes 46(13):353-358, 2013.
- [15]. Lim, B., Li, X., Zhang, J. B., & Shi, D, Feature Discretization By Support Vector Clustering, "In Information Sciences", 797-803, (2007).
- [16]. Wang, Defeng, et al. "Ellipsoidal support vector clustering for functional MRI analysis", Pattern Recognition, 40(10):2685-2695, (2007).
- [17]. UCI Machine Learning Repository, URL: <http://archive.ics.uci.edu/ml> (Erişim Zamanı; Mart, 2018)
- [18]. J. Sturm, "Using sedumi 1.02, a matlab toolbox for optimization over symmetric cones, Optim. Methods Software", 11:625–653, (1999).
- [19]. CVX, Matlab software for disciplined convex programming, URL: <http://cvxr.com/cvx> (Erişim Zamanı; Mart, 2018).
- [20]. Kim, Dae-Won, et al. "A k-populations algorithm for clustering categorical data", Pattern Recognition 38(7): 1131-1134, (2005).

Kahramanmaraş-Andırın Yöresi Relikt Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) Ormanlarında Kırmızı Renkli Yapışkan Tuzaklarla Tespit Edilen Kabuk ve Ambrosya Böcekleri (Col.: Curculionidae: Scolytinae ve Platypodinae) Üzerine Notlar

*Oğuzhan Sarıkaya

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, oguzhansarikaya07@gmail.com, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 17.05.2018

Kabul Tarihi: 05.11.2018

Öz

Türkiye ormanlarının asli ağaç türlerinden olan, Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky), esas yayılışını kuzey bölgelerde yapmakla birlikte ülkemizin güney doğu bölümünde özellikle Adana, Osmaniye, Hatay ve Kahramanmaraş yörelerinde izole kalmış, relict Doğu kayını sahaları bulunmaktadır. Bu çalışmada, Andırın (Kahramanmaraş) Doğu kayını ormanlarında yayılış gösteren kabuk ve ambrosya böcekleri tespit edilmiştir. Arazi çalışmaları Andırın-Akifiye yöresinde (37° 44' K, 36° 22' D) 2015 ve 2016 yıllarında mart ayı başlarından itibaren ekim ayı sonuna kadar olan periyodu içerisinde alan süreçte yürütülmüştür. Bu amaçla, saha geneline Kırmızı renkli yapışkan tuzaklar (%96'lık etil alkol ve % 1 toluenden oluşan cezbedici karışım ile) tesis edilmiştir. Kontroller, ayda bir kez olacak şekilde gerçekleştirilmiş ve her kontrolde Kırmızı renkli yapışkan tuzaklar yenisiyle değiştirilmiştir. Elde edilen toplam 1245 adet bireyin incelenmesi sonucu Curculionidae familyasının Platypodinae alt familyasından 1 tür ve Scolytinae alt familyasının 3 farklı tribusuna bağlı 7 tür olmak üzere toplam 8 tür belirlenmiştir. Bu türler; *Platypus cylindrus* (Fabricius, 1792) (Col.: Curculionidae, Platypodinae), *Taphrorychus ramicola* (Reitter, 1894), *T. villifrons* (Dufour, 1843), *Scolytus intricatus* (Ratzeburg, 1837), *Anisandrus dispar* (Fabricius, 1792), *Trypodendron signatum* (Fabricius 1787), *Xyleborinus saxesenii* (Ratzeburg, 1837) ve *Xyleborus monographus* (Fabricius, 1792)'tur. Toplanan türler arasında *Xyleborinus saxesenii* en yoğun tür olarak tespit edilmiş, *X. saxesenii*'yi, sırasıyla *Anisandrus dispar*, *Taphrorychus ramicola* ve *Trypodendron signatum* takip etmiştir..

Anahtar kelimeler: *Fagus orientalis*, Kabuk ve ambrosya böcekleri, Kahramanmaraş-Andırın, Kırmızı kanatlı yapışkan tuzak

Notes on Bark and Ambrosia Beetles (Col.: Curculionidae: Scolytinae and Platypodinae) Determined By Red Winged Sticky Traps in Relict Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Forests of Kahramanmaraş-Andırın Province

*Oğuzhan Sarıkaya

Isparta University of Applied Sciences, oguzhansarikaya07@gmail.com

Abstract

The main distribution area of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) which is one of main tree species for Turkish forests, is in the northern region of Turkey. By the way, isolated relict oriental beech forest exists in south-eastern Turkey especially Adana, Osmaniye, Hatay, and Kahramanmaraş.

In this study, bark and ambrosia beetle species which distribute on oriental beech forests of Andırın (Kahramanmaraş) were determined. The survey was carried out in Andırın-Akifiye province (37° 44' N, 36° 22' E) in the south-eastern part of Turkey. Field studies were conducted from March to October in 2015 and 2016. For this aim, the red winged sticky traps (by mixed of ethyl alcohol 96% and toluen 1%) were set in stand. Checking was made monthly and traps were replaced with new ones at each controlling period. Based on the material collected from Oriental Beech forests in Andırın between 2015 and 2016 by red winged

* Sorumlu Yazar: Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, 32260, ISPARTA, oguzhansarikaya07@gmail.com

sticky traps and by examination on 1224 individuals during 2 years, a total of 8 bark and ambrosia beetle species belonging to Platypodinae and 6 genera of 3 tribe from Scolytinae were identified. These species are; *Platypus cylindrus* (Fabricius, 1792) (Col.: Curculionidae, Platypodinae), *Taphrorychus ramicola* (Reitter, 1894), *T. villifrons* (Dufour, 1843), *Scolytus intricatus* (Ratzeburg, 1837), *Anisandrus dispar* (Fabricius, 1792), *Trypodendron signatum* (Fabricius 1787), *Xyleborinus saxesenii* (Ratzeburg, 1837) and *Xyleborus monographus* (Fabricius, 1792). Among those, *X. saxesenii* was the more abundant species than the others. The species of *A. dispar*, *T. ramicola* and *T. signatum* were followed it respectively.

Keywords: *Fagus orientalis*, ambrosia and bark beetles, Kahramanmaraş-Andırın, Red winged sticky trap

1. GİRİŞ

Ormanlar ekolojik fonksiyonlarını, dünya üzerinde birçok önemli habitat tipini oluşturarak ve içerisinde barındırdığı biyolojik çeşitlilik ile yerine getirmektedir [1]. Ayrıca ormanlar, orman içi mera ve su ekosistemleri, odun ve odun dışı ürün ve hizmetleri ile sayısız ölçülen ve ölçülemeyen fayda ve fonksiyonlara sahiptir. Ekosistem bitki, toprak ve su kaynakları dengesinin, kırsal alandaki sosyal istikrarın, barajların uzun ömürlü olmasının ve gıda güvenliğinin temel sigortasıdır [2]. Orman ekosistemleri, sürdürülebilir kalkınma sürecinin odak noktasında bulunmaktadırlar. Bu sürecin temel ögesi orman olup, başta odun hammaddesi olmak üzere diğer bütün üretimler ve faydalar buna bağımlıdır. Sistemde; toprak, meralar, orman içi sular, rekreasyon alanları, yaban hayvanları, bitkiler, yeraltı madenleri vb. diğer öğeler de yer almaktadır.

Orman ağaçları genellikle, doğal seleksiyon sonucunda bulundukları yöreye en iyi uyum sağlayabilen ve o yörede en üstün yaşama özelliklerini gösteren bireylerdir [3].

Ülkemizdeki kayın türleri bulundukları yapraklı ormanlarda baskın tür olarak görülmektedir. Nitekim, ülkemiz ormanlarının 1.621.256,6 hektarı normal, 340.402,9 hektarı ise bozuk olmak üzere toplam 1.961.659,5 hektarını kayın ormanı oluşturmaktadır [4].

Ülkemizde yayılış gösteren türlerden Avrupa kayını (*Fagus sylvatica* L.) ve Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) birbirlerine çok benzemektedirler. Her ikisinde de gri renkli pürüzsüz bir gövde bulunurken, Doğu kayınının gövdesi biraz daha açık renktedir. Doğu kayınının yaprakları yumurta şeklinde ve lobsuz olup, Avrupa kayını ile Doğu kayını arasındaki en önemli fark kupula üzerindeki pullardır [5,6].

Anavatanı ülkemiz olan ve doğal yayılışının büyük bir kısmını ülkemizde gerçekleştiren doğu kayını (*Fagus orientalis*) dünya üzerinde Bulgaristan'dan başlayarak, Türkiye, Kafkasya ve İran'da doğal olarak yayılış göstermektedir. Ülkemizdeki en geniş yayılışını Demirköy'den Hopa'ya kadar Karadeniz sahiline paralel uzanan dağların orta ve yüksek kısımlarında ve özellikle kuzey bakılarda kurduğu saf ve karışık ormanlarda yapmaktadır. Doğu Akdeniz'de Adana'nın Pos

ormanlarında, Amanos Dağları'nda, Yozgat-Çekerek'te, Kahramanmaraş-Andırın yöresi ile Kütahya çevresinde ise lokal ve relik olarak bulunmaktadır. Doğu kayını rutubetçe zengin, yağışın dengeli olduğu ılıman iklimlerden hoşlanır [7,8].

Ülkemizde, kuzey bölgelerdeki yayılışının (150-200 m) aksine kayın sahaları güney bölgelerde 1000-2000 m arasında yer alan yüksek rakımlarda bulunmaktadır. Doğu Akdeniz'de yer alan Doğu kayını sahaları, kayının esas yayılış alanından uzak mesafede konumlanmış olup, relik ormanlar ve izole popülasyonlar olarak karakterize edilmektedir. Bu sahalar önemli gen kaynaklarıdır [9].

Türkiye ormanlarının sağlığını etkileyen çeşitli faktörler arasında böceklerin en başta geldiği kabul edilmektedir. Ülkemizde uygun iklim koşullarının ve dolayısıyla çok çeşitli bitki türlerinin bulunması, ormanlarda yıllarca varlığını hissettiren birçok böceğin yaşamlarını elverişli kılmıştır. Bugüne kadar Doğu Akdeniz'de yayılış gösteren ormanlarda zararlı böcek türleri ile ilgili çalışmalar olmakla birlikte Doğu kayını sahalarında çalışmalar yeterli değildir.

Scolytinae altfamilyası, kabukta üreyen kabuk böcekleri ve odunda üreyen kabuk böcekleri (ambrosya böcekleri) olmak üzere başlıca iki grupta incelenmektedir [10]. Kabukta üreyen kabuk böcekleri besince zengin floem ile kabuk içinde beslenirken, Ambrosya böcekleri galerilerini fizyolojik olarak zayıflayan bitkilerin özsuu akışı yüksek odun dokusu içinde açarak simbiyotik fungusu bulaştırır ve üzerinde beslenmektedirler [11].

Bu çalışmada, Kahramanmaraş-Andırın yöresinde relik Doğu kayını sahalarında yayılış gösteren kabuk ve ambrosya böcek türleri (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) tespit edilmiştir

2. MATERYAL VE METOD

Kahramanmaraş – Andırın yöresinde yayılış gösteren relik Doğu kayını sahalarında kabuk ve ambrosya böceklerini tespit etmek amacıyla arazi çalışmaları Akifiye mevkiinde (37° 44' K, 36° 22' D) (Şekil 1) 2015 ve 2016 yıllarında mart ayı başlarından itibaren ekim ayı sonuna kadar olan periyodu içerisinde alan süreçte yürütülmüştür.



Şekil 1. Akifiye Doğu kayını sahası

Saha genelinde kabuk ve ambrosya türlerinin tespiti amacıyla saha geneline Kırmızı renkli yapışkan Rebell Rosso tuzaklar (%96'lık etil alkol ve % 1 toluenden oluşan cezbedici karışım ile) tesis edilmiştir. Tuzaklar kırmızı renkte, iki adet 15x21 cm ebatlarında ve üzeri yapışkan madde ile kaplı plastik levhaların birbirine geçirilmesiyle oluşmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Kırmızı kanatlı yapışkan tuzak (Rebell Rosso)

Tuzaklar ağaçların dallarına, birbirine en az 80-100 m aralıklarla yerden 2-2.5 m yüksekliğe asılmıştır. Kontroller, ayda bir kez olacak şekilde gerçekleştirilmiş ve her kontrolde Kırmızı renkli yapışkan tuzaklar yenisiyle değiştirilmiştir. Arazide tuzak kontrollerine ergin yakalaması bitinceye kadar devam edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kahramanmaraş-Andırın yöresinde relik Doğu kayını (*Fagus orientalis*) sahalarında 2015 ve 2016 yıllarında kırmızı yapışkan tuzaklar kullanılarak yürütülen çalışmalarda, kabuk ve ambrosya böceklerinden toplam 8 tür belirlenmiştir.

Elde edilen toplam 1245 adet bireyin incelenmesi sonucu Curculionidae familyasının Platypodinae alt familyasından 1 tür ve Scolytinae alt familyasının 3 farklı tribusuna bağlı 7 tür olmak üzere toplam 8 tür elde edilmiştir. Türlerin, alt famiya, tribus ve cinslerin sıralamasında Faunaeur [12] ve Knížek [13]'den faydalanılmıştır. Elde edilen türler Tablo 1'de verilmiştir.

Akifiye Doğu kayını ormanlarında Kırmızı renkli yapışkan Rebell Rosso tuzaklar yardımıyla gerçekleştirilen çalışmalarda, 2015 yılında 591 birey, 2016 yılında ise 654 birey olmak üzere toplam 1245 adet birey elde edilmiştir. Toplanan türler arasında *Xyleborinus saxesenii* (%70.12) en yoğun tür olarak tespit edilmiş, *X. saxesenii*'yi, sırasıyla *Anisandrus dispar* (%14.62), *Taphrorychus ramicola* (%3.86) ve *Trypodendron signatum* (%3.69) takip etmiştir.

Tuzaklarda yapılan kontrollerde 2015 yılında 7 tür tespit edilirken, 2016 yılında 8 tür elde edilmiştir. Türlerden, *Scolytus intricatus* yalnızca 2016 yılında tespit edilebilmiştir.

Kahramanmaraş-Andırın yöresi Doğu kayını sahalarında tespit edilen kabuk ve Ambrosya böceklerinin ülkemizdeki yayılış ve konukçularına ilişkin daha önce gerçekleştirilen çalışmalardaki kayıtlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Kahramanmaraş-Andırın Doğu kayını sahalarında Kırmızı yapışkan tuzaklar yardımıyla tespit edilen Kabuk ve Ambrosya böcekleri ve yıllara göre elde edilen birey sayıları

Alt Familya	Tribus	Tür	Birey sayıları			Bulunma Oranı
			2015	2016	N	%
Platypodinae						
	Platypodini					
		<i>Platypus cylindrus</i> (Fabricius, 1792)	12	9	21	1.69
Scolytinae						
	Dryocoetini					
		<i>Taphrorychus ramicola</i> (Reitter, 1894)	21	27	48	3.86
		<i>Taphrorychus villifrons</i> (Dufour, 1843)	12	17	29	2.33
	Scolytini					
		<i>Scolytus intricatus</i> (Ratzeburg, 1837)	-	13	13	1.04
	Xyleborini					
		<i>Anisandrus dispar</i> (Fabricius, 1792)	98	84	182	14.62
		<i>Xyleborus monographus</i> (Fabricius, 1792)	18	15	33	2.65
		<i>Trypodendron signatum</i> (Fabricius 1787)	21	25	46	3.69
		<i>Xyleborinus saxesenii</i> (Ratzeburg, 1837)	409	464	873	70.12
Toplam			591	654	1245	100

Tablo 2. Elde edilen türlerin Türkiye'deki konukçu ve yayılışına ilişkin kayıtlar

Türler	Türlere İlişkin Kayıtlar	
	Konukçu Ağaç Türleri	Yayılış İlişkin Kayıtlar
Platypodinae		
<i>Platypus cylindrus</i>	<i>Fagus orientalis</i> , <i>Fraxinus ornus</i> , <i>Prunus avium</i> , <i>Quercus cerris</i> , <i>Q. frainetto</i> , <i>Q. robur</i>	Bursa, Düzce, Hatay, İstanbul, Sakarya
Scolytinae		
<i>Taphrorychus ramicola</i>	<i>Carpinus orientalis</i> , <i>Corylus avellana</i> , <i>Fagus orientalis</i> , <i>Quercus cerris</i>	Bartın, Hatay, Isparta, Sakarya, Trabzon
<i>Taphrorychus villifrons</i>	<i>Carpinus betulus</i> , <i>Fagus orientalis</i> , <i>Quercus cerris</i> , <i>Q. frainetto</i> , <i>Liquidambar orientalis</i>	Amasya, Ankara, Bolu, Bursa, Hatay, Isparta, İstanbul, Karabük, Sakarya, Sinop, Tokat
<i>Scolytus intricatus</i>	<i>Fagus orientalis</i> , <i>Ostrya carpinifolia</i> , <i>Quercus cerris</i> , <i>Q. frainetto</i> , <i>Q. petraea</i> , <i>Q. robur</i>	Düzce, Hatay, Isparta, İstanbul, Sinop
<i>Anisandrus dispar</i>	<i>Actinidia chinensis</i> , <i>Carpinus betulus</i> , <i>Castanea sativa</i> , <i>Corylus avellana</i> , <i>Malus</i>	Adana, Ankara, Artvin, Bartın, Bolu, Bursa, Çorum, Denizli, Giresun, Gümüşhane, Hatay, Isparta, İstanbul,

	<i>domestica</i> , <i>Populus nigra</i> , <i>Prunus cerasus</i> , <i>Quercus</i> sp., <i>Tilia</i> sp., <i>Ulmus</i> sp.	Karabük, Kastamonu, Muğla, Niğde, Ordu, Rize, Sakarya, Samsun, Trabzon, Zonguldak
<i>Xyleborus monographus</i>	<i>Castanea sativa</i> , <i>Fagus orientalis</i> , <i>Quercus frainetto</i>	Bursa, Hatay, İstanbul, Kocaeli
<i>Trypodendron signatum</i>	<i>Quercus</i> sp., <i>Fagus orientalis</i> , <i>Alnus</i> sp.	Bolu, Gümüşhane, Isparta, İstanbul, Karabük, Sakarya, Sinop, Trabzon
<i>Xyleborinus saxesenii</i>	<i>Abies cilicica</i> , <i>A. nordmanniana</i> subsp. <i>bornmuelleriana</i> , <i>Actinidia chinensis</i> , <i>Alnus</i> sp., <i>Cedrus libani</i> , <i>Corylus avellana</i> , <i>Fagus orientalis</i> , <i>Ficus carica</i> , <i>Fraxinus ornus</i> , <i>Juglans regia</i> , <i>Juniperus excelsa</i> , <i>Liquidambar orientalis</i> , <i>Pinus nigra</i> , <i>Prunus armeniaca</i> , <i>P. avium</i> , <i>Pyrus communis</i> , <i>Quercus cerris</i>	Amasya, Antalya, Artvin, Bolu, Düzce, Giresun, Hatay, Isparta, İstanbul, Kocaeli, Konya, Mersin, Muğla, Ordu, Rize, Sakarya, Samsun, Sinop, Trabzon, Zonguldak

* Türlerin Türkiye'deki konukçu ve yayılış bilgilerine ilişkin kayıtlar şöyledir: [10, 14-27]

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kahramanmaraş-Andırın yöresinde relikt Doğu kayını sahalarında kırmızı renkli yapışkan tuzaklar ile yürütülen arazi çalışmalarında, toplam 8 tür tespit edilmiş olup, belirlenen Kabuk ve Ambrosya türlerinin tamamı Kahramanmaraş yöresi için yeni kayıt niteliğindedir. Tespit edilen türlerden *Anisandrus dispar* ülkemizde Doğu Kayını (*Fagus orientalis*) üzerinde ilk kez tespit edilmektedir.

Türlerden, *Taphrorychus ramicola*, *Taphrorychus villifrons*, *Xyleborus monographus* ve *Scolytus intricatus*'un Doğu Akdeniz Bölgesinde Hatay-Hassa'daki Doğu kayını sahalarında daha önce yapılan çalışmalarda tespit edildiği bildirilmektedir [18,28,29]. Ancak, *Anisandrus dispar*, *Trypodendron signatum* ve *Xyleborinus saxesenii*'nin Doğu Akdeniz Bölgesi'ndeki relikt Doğu kayını sahalarında ilk kez bu çalışmayla tespit edildiği görülmektedir.

Doğu Akdeniz'de yer alan, relikt ormanlar ve izole popülasyonlar olarak görülen ve bu yönüyle önemli gen kaynakları olarak tasvir edilen bu sahalarda Kabuk ve Ambrosya böcekleri ile ilgili daha detaylı çalışmaların yürütülmesinin gerekliliği görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Veri, bilgi ve yöntemler, UNDP Türkiye tarafından Orman Genel Müdürlüğü işbirliğinde yürütülen GEF destekli "Entegre Orman Yönetimi" projesi kapsamında üretilmiştir. Bu kapsamda, UNDP Türkiye ve Orman Genel Müdürlüğüne teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- [1] W.D. Pearce and G.T.C. Pearce, The Value of Forest Ecosystems. A Report to The Secretariat Convention on Biological Diversity (2001).
- [2] M. Konukçu, Ormanlar Ve Ormancılığımız: Faydaları, İstatistiki Gerçekler, Anayasa, Kalkınma Planları, Hükümet Programları ve Yıllık Programlarda Ormancılık. Devlet Planlama Teşkilatı Yayınları, Ankara, (2001)

- [3] K. Işık, Biyolojik Çeşitlilik ve Orman Gen Kaynaklarımız. Orman Bakanlığı Yayın No. 13, Ankara, (1996).
- [4] Anonim, Orman Atlası. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, (2013).
- [5] Anonim, Kayın. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Ankara, (1985).
- [6] G. Kandemir and Z. Kaya, *Fagus orientalis*, Lipsky. Technical guidelines of EUFORGEN, (2009).
- [7] R. Anşın and Z.C. Özkan, Tohumlu Bitkiler. Odunsu Taksonlar. KTÜ Orman Fakültesi Yayınları, Trabzon, (1997)
- [8] İ. Atalay, Kayın Ormanlarının Ekolojisi Ve Tohum Transfer Yönünden Bölgelere Ayrılması. Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Müdürlüğü yayınları, Ankara, (1992).
- [9] M. Yılmaz, Is there a Future for the Isolated Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Forests in Southern Turkey. *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica* 6 : 111-114, (2010).
- [10] E. Selmi, Türkiye Kabuk Böcekleri ve Savaşı. İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, (1998).
- [11] R. Kushiyeve, O. Aker, and C. Tuncer, Ambrosya Böcekleri (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae ve Platypodinae) ile Ambrosya Fungusları Arasındaki Simbiyotik İlişkiler. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 21(2): 239-246, (2017).
- [12] Fauna Europaea, <https://fauna-eu.org/>, (accessed on: 05.01.2017).
- [13] M. Knížek, Scolytinae, In: Löbl, I. ve Smetana, A. (Eds), *Catalogue of Palaearctic Coleoptera*, Vol. 7., Apollo Books, Stenstrup, 86-87, 204-251, (2011).
- [14] E. Schimitschek, Fortinsekten der Turkei und ihre Umwelt. *Grundlagen der Türkischen Forstentomologie*, Prag, (1944).
- [15] B. Alkan, Kızılcahamam, Bolu (Abant) ve Düzce ormanlarında yapılan Entomolojik Araştırmalar. *Orman ve Av* 3: 112-119, (1946)
- [16] B. Alkan, Fındık Ağaçlarının Zararlıları ve Korunma Çareleri. *Türk Yüksek Ziraat Mühendisler Birliği Yayınları*, Ankara, (1948).

- [17] B. Alkan, Türkiye'nin bitki zararlısı kabuk böcekleri (Col., Scolytinae) faunası üzerine çalışmalar. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yıllığı. 14: 345-401, (1964).
- [18] K.E. Schedl, Borkenkäfer aus der Türkei, II. Mitteilung 190. Beitrag zur Morphologie and Systematik der Scolytoidea. 34: 184-188, (1961).
- [19] C. Chararas, Comportement de *Xyleborus saxeseni* Ratz., a l'égard de *Liquidambar orientalis* Mill., essence typique de l'Asie Mineure (Turquie). Comptes rendus de l'Académie des Sciences 260: 2313-2315, (1965).
- [20] M. Kaya, Studies on Population Fluctuations of Adults of *Xyleborus dispar* (F.) (Coleoptera: Scolytidae) on Different Fruits in Bursa Province. Yüzüncü Yıl University, Agriculture Faculty, Journal of Agriculture Sciences 14: 113-117, (2004).
- [21] H.H. Cebeci and H. Ayberk, Ambrosia beetles, hosts and distribution in Turkey with a study on the species of Istanbul province. African Journal of Agricultural Entomology 5: 1055-1059, (2010).
- [22] E. Selmi, Scolytinae of Turkey. <http://www.orman.istanbul.edu.tr/content/Scolytinae-turkey>, (accessed on: 19.01.2013).
- [23] İ. Saruhan and H. Akyol, Monitoring population density and fluctuations of *Anisandrus dispar* and *Xyleborinus saxesenii* (Coleoptera: Scolytinae, Curculionidae) in hazelnut orchards. African Journal of Biotechnology 11: 4202-4207, (2012).
- [24] Y. Yıldız, Bartın Ve Karabük Ormanlarının Scolytidae Faunası ve Bazı Önemli Türlerin Biyolojilerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın, (2012).
- [25] O. Sarıkaya, Notes on Bark and wood-boring beetles (Coleoptera: Bostrichidae; Curculionidae: Platypodinae and Scolytinae) of the Sweetgum (*Liquidambar orientalis* Mill.) Forest Nature Protection Area, with a new record for Turkish fauna. Journal of Food, Agriculture and Environment 11: 2178-2185, (2013).
- [26] O. Sarıkaya and H. Sayın, Use of the red winged sticky traps for collecting bark and ambrosia beetles [Scolytinae (Coleoptera: Curculionidae)] on deciduous trees of Kasnak oak nature protection area in Isparta, Turkey. Research Journal of Biotechnology 11(9): 79-85, (2016).
- [27] C. Tuncer, M. Knížek and J. Hulcr, Scolytinae in hazelnut orchards of Turkey: clarification of species and identification key (Coleoptera: Curculionidae). ZooKeys 710: 65-76, (2017).
- [28] K.E. Schedl, Borkenkäfer aus der Türkei, III. Mitteilung 41:21-4, (1968).
- [29] F.S. Bodenheimer, Türkiye'de Ziraata ve Ağaçlara Zararlı Olan Böcekler ve Bunlarla Savaş Hakkında Bir Etüd. Bayur Matbaası, Ankara, (1958).

Çokdeğişkenli Ampirik Mod Ayırıştırımı ile İçsel Bağlantı Ağları Kestirimi

*¹ Adil Deniz Duru

¹Marmara Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, İstanbul/Türkiye
deniz.duru@marmara.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 04.09.2018

Kabul Tarihi: 22.10.2018

Öz

Beyin fonksiyonlarının haritalanması, elektriksel aktivite ve hemodinamik bilgiler ışığında gerçekleştirilebilmektedir. Kanın oksijenlenmesine bağlı (BOLD) sinyali girişimsel olmayacak şekilde fonksiyonel manyetik rezonans görüntülemesi (fMRG) ile elde edilebilmektedir. Herhangi bir mental görev gerçekleştirilmediği esnada bile beyin bölgelerinde aktivasyonlar izlenebilmektedir. Bu aktivasyon izgelerine dinlenim durumu beyin ağları adı verilmektedir. Bu çalışmanın amacı, BOLD zaman serilerinin doğrudan kendilerini kullanmak yerine, dekompoze edilmesi ile elde edilen alt zaman serilerinin birbirleri arasındaki koherans bilgisine dayanarak haritalama işlemi yapmaktır. Ayırıştırma işlemi için çokdeğişkenli ampirik mod dekompozisyonu kullanılmıştır (MEMD). Beyin dokusunda sınırlı sayıda düğüm bölgesi anatomik şablonlar yardımı ile belirlenmiştir. Belirlenen anatomik bölgelere ait zaman serileri girdi olarak kullanılmıştır. Her düğüm alt zaman serisinin diğer düğümlerin alt zaman serileri arasındaki koherans bilgisi hesaplanarak, frekans alanında korelasyonlar belirlenmiştir. Böylece, herhangi bir ön bilgi empoze edilmeden BOLD zaman serisinin alt bileşenlerinin spektral özelliklerinin incelenmesi sağlanmıştır. 19 gönüllüden alınan dinlenim durumu fMRG verisi ön işleme tekniklerinin uygulanmasından sonra analiz edilerek spektral özellikleri incelenmiştir. Elde edilen dört farklı bileşenin zaman serilerinin spektral özellikleri 0.007, 0.014, 0.03 ve 0.064 Hz frekanslarında tepe değerler almıştır. Birinci bileşende işitsel fonksiyonların ve görsel işlevlerin yürütülmesinde rol oynayan süperiyor temporal gyrus ve oksipital bağlantılar, ikinci bileşende varsayılan kip ağının önemli bileşenleri olan posteriyor ve anterior singulat izlenmiştir. Üçüncü bileşende 0.03 Hz ile 0.06 Hz civarında dikkat ağının düğümleri gözlenmiştir. Dördüncü bileşende ise süperiyor temporal gyrus bağlantıları baskın olarak izlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Ampirik Mod Dekompozisyonu, BOLD, fonksiyonel beyin ağları, Koherans

Estimation of Intrinsic Connectivity Networks by Multivariate Empirical Mode Decomposition

¹Adil Deniz Duru

¹Marmara University, Faculty of Sport Sciences, Department of Sports Coaching Education, İstanbul/Turkey
deniz.duru@marmara.edu.tr

Abstract

Functional brain mapping is based on electrical and haemodynamic changes occurred in the brain. Blood oxygenated level dependency (BOLD) signal can be non-invasively collected through the use of functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI). Brain functional activity can also be observed in the absence of a given task. These activation patterns are named as brain resting state networks. The aim of this study is, to perform functional brain mapping using the coherence metrics between the decomposed BOLD time series insted of using the raw BOLD time series. Multivariate Empirical mode decomposition procedure is applied for the BOLD series decomposition. Limited number of anatomical locations are selected for node positions using anatomical templates. Further each subseries are used to compute the correlations in frequency domain as coherence values between the node points. By this way, spectral properties of subseries are investigated without imposing any a priori information. FMRI data were collected from 19 volunteers and the preprocessing steps are applied prior to analysis of spectral properties. Four subcomponents whose spectral peaks are determined at 0.007 Hz, 0.014 Hz, 0.03 Hz and 0.064 Hz were determined. In the first component, superior temporal gyrus and occipital lobe connections were exhibited which contribute to the functionality of

*Sorumlu yazar: Marmara Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, İstanbul/Türkiye

Doi: 10.21541/apjes.457360

the auditory and visual networks. Posterior and anterior cingulate areas that are the major parts of the default mode network were found to be present in the second component. In the third component, nodes of the attention network were observed with a center frequency of 0.03 Hz to 0.06 Hz. Additionally, connections of superior temporal gyrus were observed in the fourth component.

Keywords: Empirical Mode Decomposition, BOLD, functional brain network, Coherence

1. GİRİŞ

Beyin, çok sayıda fonksiyonel olarak farklılaşmış bölgelerin birbirleri ile bilgi aktarımı gerçekleştirilmesi ile karmaşık bilişsel işlevleri icra eder. Birbirleri ile etkileşimde olan beyin bölgeleri genellikle benzer zamansal nöronal aktivasyonlara sahiptirler. Bu zamansal korelasyona sahip bölgeler ağ olarak adlandırılırlar ve bu ağı oluşturan bölgeler fonksiyonel bağlantılı olarak tanımlanmaktadır [1].

Anatomik beyin görüntülemesinde Manyetik Rezonans Görüntüleme altın standart modalite olarak kabul edilirken, son onlu yıllarda beyin fonksiyonlarının izlenmesinde de sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Venöz kanda paramanyetik özelliğe sahip deoksihemoglobin değişiklikler non-invasiv olarak beyin dokusunda kontrast yaratmaya olanak vermektedir [2]. Yüksek uzaysal çözünürlükle beyin dokusunda kanın oksijenlenmeye bağlı (BOLD) değişimlerinin ölçülmesinden yola çıkılarak, beyin aktivasyonlarının tespit edilmesine yönelik araştırmalar gerek klinikte gereksede temel bilim çalışmalarında yer almaktadır. Verilen bir ödev esnasında gerçekleştirilen BOLD ölçümlerinin dinlenme durumuna göre değişikliğinden yola çıkılarak, icra edilen zihinsel görevin beyin hangi bölgelerinden kaynaklandığı izlemek, veri güdümlü veya parametrik analiz metodların uygulanmasıyla mümkün olmaktadır.

Beyin aktivitesinin sürekli olduğu temelinde, herhangi bir ödevin icra edilmediği süreçte, beyin fonksiyonların izlenmesi araştırmacılara önemli bilgiler sunmaktadır. Ödev icra edilmediği süreçte, benzer zamansal süreçlere sahip nöronal grupların oluşturduğu gruplara dinlenme durumu beyin ağları adı verilmektedir.

Yapılan öncül fonksiyonel bağlantısallık çalışmalarında, dinlenme durumundaki BOLD ölçümlerinden yola çıkılarak, sağ ve sol birincil motor bölgenin fonksiyonel bağlantısallığı Biswal ve ark. [3] tarafından gösterilmiştir. Dinlenme durumu içsel bağlantı ağları araştırmalarında, yaşlanma, herhangi bir konuda uzmanlaşma ve klinik rahatsızlık durumlarını beyin fonksiyonel ağları ile ilişkilendiren çok sayıda çalışma yapılmıştır. Fonksiyonel ağların uzaysal genişliklerinin yanısıra, zamansal örüntülerinin frekans spektrumlarında incelenmiştir.

Yaşlanma ile dinlenme durumu bağlantısallık haritalarında uzaysal genişlik ve düşük frekans gücünün ters ilintili olduğu gösterilmiştir [4]. Diğer bir çalışmada yaşlanmaya bağlı olarak korpus kollosum dejenereasyonun beyin aktivasyonunda oluşturduğu artışın hemisferler arasındaki

bağlantısallık üzerindeki etkileri Langan ve ark. tarafından basit bir motor test ile fonksiyonel aktivite ve dinlenme durumu bağlantısallığı ile test edilmiş, ilerleyen yaş ile birlikte korpus kollosum alanının azaldığı ve reaksiyon süresi ile ilintili olarak gençlere göre daha fazla ipsilateral birincil motor korteks aktivasyonları rapor edilmiştir [5].

Dinlenme durumu bağlantısallık çalışmalarının klinikteki uygulamaları ise, Alzheimer, MCI, ALS, ve bunama gibi hastalıklar üzerinde yoğunlaşmıştır. Alzheimer, MCI hastalarında varsayılan kip ağını (VKA) oluşturan bölgeler arasında korelasyon azalması ile VKA ve diğer ağlar arasındaki ters korelasyonda azalma izlenmiştir [6]. ALS hastaları üzerinde yapılan bir çalışmada ise VKA oluşturan bölgeler arasında ve somatomotor ağ içi korelasyon düşüşü görülmüştür [7]. Yapılan klinik çalışmaların genelinde VKA bileşeninde değişiklikler rapor edilmiştir.

Eğitim veya tecrübe ile oluşan beyin fonksiyonel farklılıkları incelendiği bir çalışmada ise profesyonel şekilde badminton sporunu gerçekleştiren atletler ve kontrol denekleri karşılaştırılmış ve badminton uzmanlarının kontrol deneklerinden fronto-pariyetal bağlantılarının farklılıklar içerdiği ortaya konmuştur [8].

Dinlenme durumu ölçümlerinin gerek klinik, gereksede araştırma uygulamaları ve bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar, dinlenme durumu fonksiyonel beyin sinyallerinin işlenmesine yönelik algoritma ve yöntemlerin araştırılması ve geliştirilmesi için motivasyon yaratmaktadır.

Dinlenme durumu beyin ağları veya içsel bağlantı ağları (İBA), veri güdümlü veya tohum temelli yaklaşımlar ile hesaplanabilmektedir. Tohum temelli yaklaşımlarda birim hacim elemanı (voksel) seviyesindeki fMRG zaman serileri arasındaki korelasyon katsayısının (Pearson korelasyon katsayısı) hesaplanması sonrası Fisher $r \rightarrow z$ dönüşümü ile vokseller arasındaki bağlantılara ulaşılmaktadır [9]. Buna karşın veri güdümlü yaklaşımlarda ise sıklıkla bağımsız bileşen analizi (Independent Component Analysis, ICA) yöntemi uygulanarak, BOLD uzay-zaman serisini birbirinden istatistiksel olarak bağımsız olan bileşenlere ayırmak hedeflenmektedir. ICA ilk olarak McKeown ve ark. tarafından fMRG verisine uygulanmıştır [10]. Voksellerden ölçülen zaman serisinin ayrıştırılması (dekompozisyon), birbirinden istatistiksel olarak bağımsız, geometrik olarak bağımsız veya frekans alanında farklı bilgiler içeren zaman serilerinin elde edilmesine olanak vermektedir. Bunun yanında, biyomedikal görüntü serileri veya zaman serileri üzerinde gerçekleştirilen sınıflandırma çalışmaları farklı

durumlarda toplanan verilerin veya farklı hastalıkların belirlenmesinde önemli role sahiptir [15].

Doğrusal ve durağan olmayan sinyallerin zaman-frekans analizinde ise veri güdümlü bir metod olarak ampirik mod dekompozisyonu (Empirical Mode Decomposition, EMD) 2000 li yıllara doğru yaygınlaşarak uygulama alanı bulmuştur. EMD metodunun çok değişkenli versiyonu olan çokdeğişkenli ampirik mod ayrıştırımı (Multivariate Empirical Mode Decomposition, MEMD), çok noktadan ölçülen fizyolojik sinyallerin ayrıştırımında kullanılmıştır [11].

Bu çalışma kapsamında, MEMD tekniği ile gerçekleştirilen ayrıştırma sonucunda elde edilen zaman serileri arasındaki koherans metriklerinin kullanıcı tarafından belirlenebilen bir eşik değeri ile süzgeçlenerek, frekans alanında yüksek korelasyon gösteren düğüm noktaları arasındaki bağlantısalığın haritalanması hedeflenmiştir. Beyin dokusunda seçilen tüm düğüm noktalarının arasındaki koherans bilgisi hesaplanarak, her noktanın olası bağlantısallığı araştırılmaya çalışılmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. FMRG Ölçümü

Çalışma kapsamında 19 gönüllüden İstanbul Üniversitesi Hulusi Behçet Yaşam Bilimleri merkezinde kurulu olan 3Tesla Philips MR cihazında EPI sekansı ile TR=2s, 2x2x2 mm birim hacim elemanı boyutlarıyla 6 dakika gözler kapalı şekilde ölçüm gerçekleştirildi. Ölçümleme öncesi katılımcılara gerçekleştirilen görüntüleme tekniği hakkında bilgi verildi ve yazılı onam formu okutuldu. Çalışma Marmara Üniversitesi, Klinik Araştırmalar Etik Kurulu, 09.2016.414 protokolu kodu ile onaylandı.

Standart olarak, yeniden hizalama, çakıştırma, normalizasyon ve yumuşatma işlemleri Matlab ortamında çalışan SPM8 aracıyla gerçekleştirildi [12]. Yumuşatılmış hacim serileri üzerinde MEMD uygulamasının ardından elde edilen zaman serilerinden Koherans bilgisi incelendi.

FMRG ile elde edilen görüntülerde uzaysal çözünürlük milimetre hasasiyetine ulaşmaktadır. Tüm beyin hacim elemanlarının analizlerde işleme alınması yüksek hesaplama maliyeti oluşturmaktadır. Bu nedenle, literatürde az sayıda düğüm noktasının ölçümlerinin analizi sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında, fonksiyonel olarak özelleşmiş alanları gösteren anatomik beyin atlasından yola çıkılarak, 84 adet bölge esas alınmıştır. Şekil 1'de görüldüğü üzere, 84 bölge atlas üzerinden seçilerek, önileme adımları sonrasında atlasla çakıştırılmış fMRG verileri (84 hacim elemanı x 214 ölçüm serisi) az sayıda değişkeni içerecek şekilde hesaplanmıştır.

2.2. Çok değişkenli ampirik mod ayrıştırımı ve koherans

EMD metodu, girdi zaman serisini, çeşitli sayıda içsel mod fonksiyonlarının (Intrinsic Mod Function, IMF) toplamı şeklinde açıklamaya çalışmaktadır. (1) numaralı formülde

$y(t)$, t zamanındaki ölçülen veriyi, n IMF sayısını, $I_i(t)$, t zamanındaki i . IMF fonksiyonunun değerini ve $r_n(t)$ ise t zamanındaki kalan (residual) bilgiyi göstermektedir.

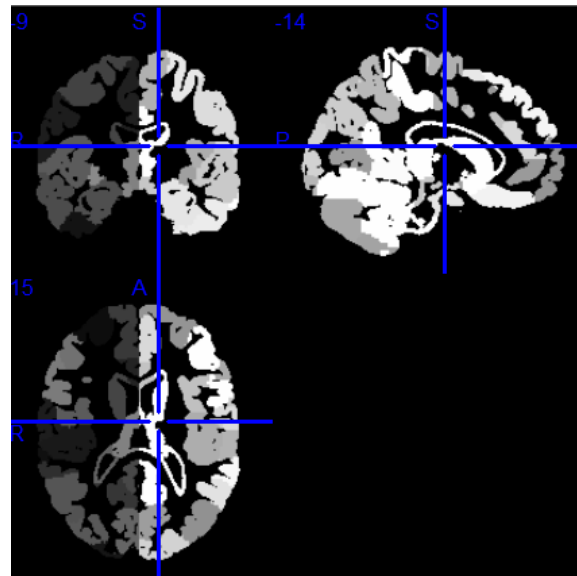
$$y(t) = \sum_{i=1}^n I_i(t) + r_n(t) \quad (1)$$

EMD metodunda, sinyalin yerel minimum ve yerel maksimumlarından elde edilen noktaların interpolate edilmesi ile sinyalin zarfına ulaşılır. Interpolasyon ile elde edilen üst ve alt eğrilerin ortalaması alınarak I_i ifadesine ulaşılır. Bu ifade girdi verisinden çıkartılarak osilatör kip elde edilir. Elde edilen osilatör ifade algoritmanın sonlanma kriterine uygun olursa, osilatör veri son içsel mod olarak atanır aksi halde osilatör ifade girdi olarak kullanılarak dekompozisyon işlemi sürdürülür.

MEMD metodunda ise çok değişkenli sinyallerin zarfları hesaplanıp, değişkenler üzerinden ortalaması alınarak yerel ortalamanın bir kestirimi gerçekleştirilir. Elde edilen I_i ifadesi, girdi ölçümünden çıkartılarak geriye kalan veri üzerinde zarf hesaplama işlemi tekrarlanır. Yinelemeli şekilde süren işlem sonucunda durma kriteri sağlanana kadar süreç devam eder. Bu işlem sonrasında elde edilen zaman serileri arasındaki ilinti araştırılmıştır.

Zamansal alanda iki sinyalin arasındaki doğrusal ilinti korelasyon ile temsil edilirken, frekans alanında korelasyon koherans metriği ile gösterilmektedir. (2) numaralı denklemde $C_{ij}(w)$, w frekasında i . ve j . sinyaller arasındaki ilintiyi temsil etmektedir. P_{ii} ve P_{jj} i ve j sinyallerinin güç spektrumunu, P_{ij} ise çarpaz güç spektrumunu ifade etmektedir. Her w frekası için ayrı bir koherans değeri hesap edilmektedir.

$$C_{ij}(w) = \frac{P_{ij}(w)}{\sqrt{P_{ii}(w)+P_{jj}(w)}} \quad (2)$$



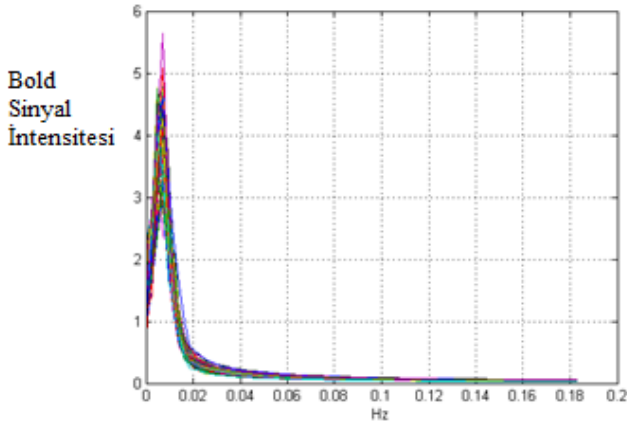
Şekil 1. Beyin dokusunun fonksiyonel bölütlenmesi sonucu elde edilmiş, gri renk ile kodlanmış atlas imgesinin, sagittal, axial ve koronal örnek görüntüsü.

MEMD uygulaması sonrasında 0.007 Hz, 0.009-0.016 Hz aralığı, 0.027-0.032 Hz ve 0.06-0.069 Hz bantlarındaki düğümler arası koherans bilgisi hesaplanmış ve denekler üzerinde olası tüm bağlantılar arasındaki koherans değerinin istatistiksel anlamlılık değeri permutasyon t-istatistiği ile araştırılmıştır.

Tek örneklem t-testine benzer olarak permutasyon t-istatistiği temelli ortalamanın karşılaştırılması yöntemi, test edilen verinin Gauss dağılımına uygun olmadığı durumlarda da kullanılmaktadır. Çok değişkenli istatistik aynı anda gerçekleştirilerek, çoklu karşılaştırma düzeltmesi tmax yöntemi ile gerçekleştirilmiştir [13]. Permutasyon metodu, değişkenler arası korelasyon olduğu durumda, Bonferroni düzeltmesinden daha güçlü sonuçlar vermektedir. Bu çalışma kapsamında çoklu karşılaştırma düzeltmesi ile $p < 0.05$ anlamlılık değeri uygulanmıştır. 10000 permutasyon ve 3486 değişken için kritik t-eşik değeri 5.87 olarak seçilmiştir.

3. SONUÇ

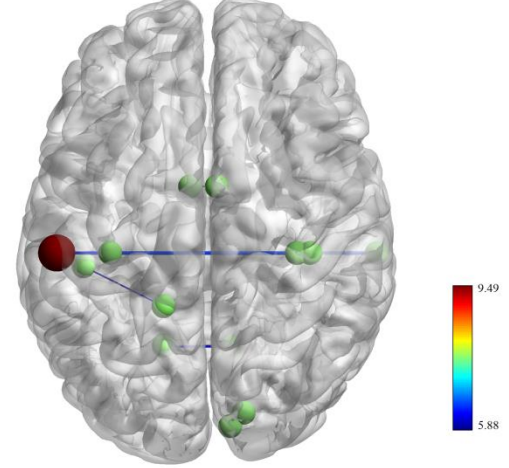
Elde edilen alt zaman serilerinin her düğüm noktası için ayrı zaman bilgisi kullanılarak hesaplanan güç izgeleri Şekil 2, 4 ve 8'de resim edilmiştir. 84 adet lokasyona ait zaman serileri 19 denek üzerinden ortalanarak elde edilen frekans spektrum izgelerine göre, bileşenlerdeki tepe frekanslar sırasıyla, 0.007, 0.014, 0.03 ve 0.064 Hz civarında gözlenmiştir. Denekler üzerinden elde edilen ortalama tepe değerlerinin sırasıyla %95 güven aralığı sınırları ise, 0.006-0.008, 0.011-0.017, 0.023-0.037 ve 0.054-0.074 Hz şeklinde gözlenmiştir.



Şekil 2. Analiz sonucu elde edilen birinci bileşenin, belirlenen 84 noktadaki frekans spektrumlarının tüm denekler üzerinden ortalaması farklı renk serileri ile temsil edilmiştir.

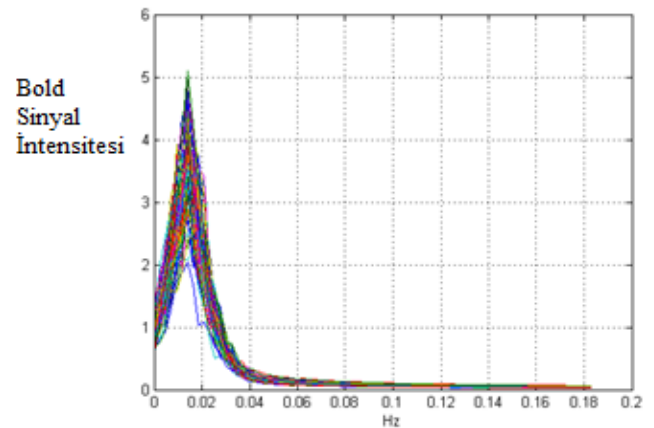
Birinci bileşende istatistiksel anlamlı olan bağlantılar, oksipital lob lingual girus (BA17), limbik lob posteriyor singulat (BA30) ile oksipital lob Cuneus (BA30), temporal lob superiyor temporal girus (BA42) ile Pariyetal lob

postsantral girus (BA2), limbik lob singulat girus (BA24), pariyetal lob postsantral girus (BA2) ile frontal lob parasantral lob (BA5), pariyetal lob postsantral girus (BA2) ile frontal lob presantral girus (BA4) ve pariyetal lob postsantral girus (BA3) şeklinde gözlenmiştir. Bağlantılar Şekil 3'de kortikal yüzey üzerinde görselleştirilmiştir.

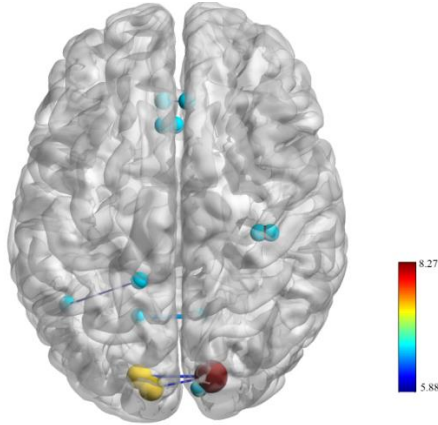


Şekil 3. MEMD yöntemi ile elde edilen birinci bileşenin tüm bağlantıların ortalamasından anlamlı ($p < 0.05$) derecede yüksek bağlantıya sahip düğümler ve bağlantıları. Düğümlerin büyüklükleri, noktadan çıkan bağlantı sayıları ile belirtilmiştir. Bağlantıların renkleri ve büyüklükleri, düğüme gelen anlamlı bağlantı sayısına göre değer almaktadır (renk kodları t-istatistik değerlerini göstermektedir).

İkinci bileşende ise, temporal lob fusiform girus (BA37) ile frontal lob parasantral girus (BA5), oksipital lob lingual girus (BA17), limbik lob posteriyor singulat (BA30) ile oksipital lob Cuneus (BA30), limbik lob anterior singulat (BA33, BA24) ve pariyetal lob postsantral girus (BA3) bölgelerindeki bağlantısalılık izlenmiştir. İkinci bileşene dair bağlantısalılık haritası Şekil 5'te gösterilmiştir.

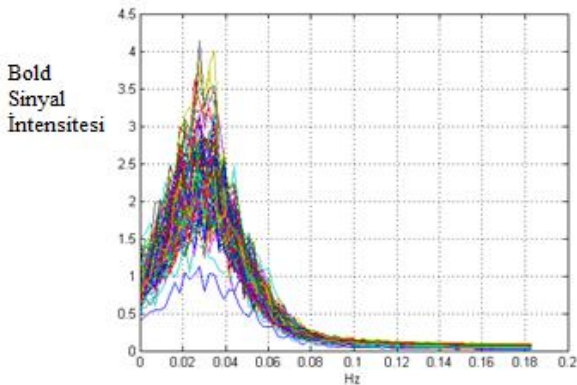


Şekil 4. Analiz sonucu elde edilen ikinci bileşenin, belirlenen 84 noktadaki frekans spektrumlarının tüm denekler üzerinden ortalaması farklı renk serileri ile temsil edilmiştir.

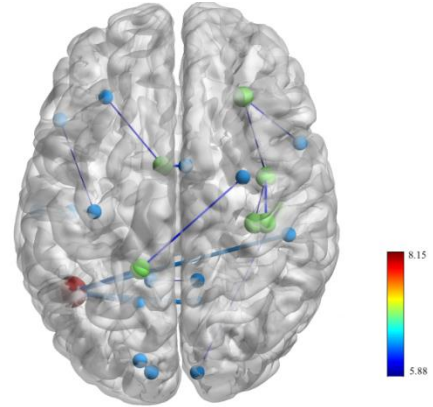


Şekil 5. MEMD yöntemi ile elde edilen ikinci bileşenin tüm bağlantıların ortalamasından anlamlı ($p < 0.05$) derecede yüksek bağlantıya sahip düğümler ve bağlantıları.

Düğümün büyüklükleri, noktadan çıkan bağlantı sayıları ile belirtilmiştir. Bağlantıların renkleri ve büyüklükleri, düğüme gelen anlamlı bağlantı sayısına göre değer almaktadır (renk kodları t-istatistik değerlerini göstermektedir). Tepe frekansı 0.014 Hz civarında olan üçüncü bileşende ise, temporal lob fusiform girus (BA20) ile temporal lob orta temporal girus (BA21), temporal lob fusiform girus (BA20) ile oksipital lob lingual girus (BA17), temporal lob fusiform girus (BA20) ile frontal lob orta frontal girus (BA9), temporal lob fusiform girus (BA37) ile limbik lob posteriyor singulat (BA30), temporal lob fusiform girus (BA37) ile oksipital lob cuneus (BA30), temporal lob fusiform girus (BA37) ile parietal lob inferiyor parietal lobule (BA40), temporal lob fusiform girus (BA37) ile frontal lob parasantral lobule (BA5), insula ile postsantral girus, precuneus (BA31), limbik lob singulat girus, frontal lob inferiyor frontal girus (BA45) ile frontal lob presantral girus (BA4), frontal lob presantral girus (BA44) ile frontal lob orta frontal girus (BA9), frontal lob orta frontal girus (BA9) ile limbik lob singulat girus (BA24) ve frontal lob orta frontal girus ile parasantral lobule arası bağlantılara ulaşılmış olup, bu bağlantılar Şekil 7’ de gösterilmiştir.

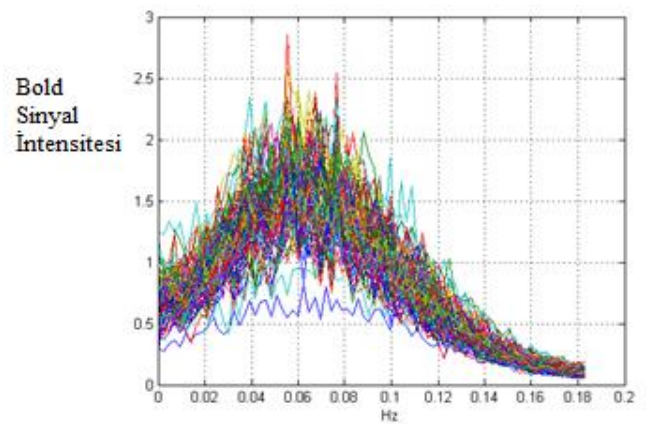


Şekil 6. Analiz sonucu elde edilen üçüncü bileşenin, belirlenen 84 noktadaki frekans spektrumlarının tüm denekler üzerinden ortalaması farklı renk serileri ile temsil edilmiştir.

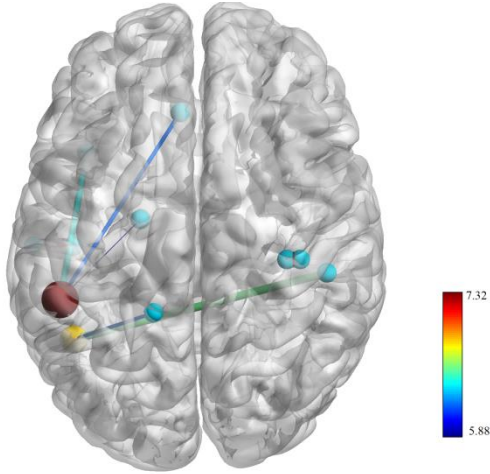


Şekil 7. MEMD yöntemi ile elde edilen üçüncü bileşenin tüm bağlantıların ortalamasından anlamlı ($p < 0.05$) derecede yüksek bağlantıya sahip düğümler ve bağlantıları. Düğümlerin büyüklükleri, noktadan çıkan bağlantı sayıları ile belirtilmiştir. Bağlantıların renkleri ve büyüklükleri, düğüme gelen anlamlı bağlantı sayısına göre değer almaktadır (renk kodları t-istatistik değerlerini göstermektedir).

Dördüncü bileşenin tepe frekansı 0.064 Hz civarında Şekil 8’de izlenmektedir. Anlamlı bağlantılar ise Şekil 9’da gösterilmiştir. Temporal lob fusiform girus (BA20) ile temporal lob orta temporal girus (BA21), temporal lob superiyor temporal girus (BA38) ile parietal lob inferiyor parietal lobule (BA40), limbik lobe parahipokampal girus (BA28) ile parietal lob inferiyor parietal lob (BA40), temporal lob fusiform girus (BA37) ile parietal lob inferiyor parietal lobule (BA40), temporal lob fusiform girus (BA37) ile frontal lob parasantral lob (BA5), limbik lob anterior singulat (BA24) ile parietal lob inferiyor parietal lobule (BA40) ve parietal post santral girus (BA3) bağlantıları izlenmiştir.



Şekil 8. Analiz sonucu elde edilen dördüncü bileşenin, belirlenen 84 noktadaki frekans spektrumlarının tüm denekler üzerinden ortalaması farklı renk serileri ile temsil edilmiştir.



Şekil 9. MEMD yöntemi ile elde edilen dördüncü bileşenin tüm bağlantıların ortalamasından anlamlı ($p < 0.05$) derecede yüksek bağlantıya sahip düğümler ve bağlantıları.

Düğümlerin büyüklükleri, noktadan çıkan bağlantı sayıları ile belirtilmiştir. Bağlantıların renkleri ve büyüklükleri, düğüme gelen anlamlı bağlantı sayısına göre değer almaktadır (renk kodları t-istatistik değerlerini göstermektedir).

4. DEĞERLENDİRME

Dinlenim durumu içsel bağlantı ağları frekans spektrumu 0.01 ile 0.15 arası değerler aldığı düşünüldüğünde, fMRG ölçümlerinin örnekleme frekansını 0.5 Hz olarak belirlemek ($TR=2s$), bileşenlerin izlenmesine olanak vermektedir. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada fMRG örnekleme frekansını 1.5 Hz seviyesine çıkaran araştırmacılar, dinlenim durumu içsel bağlantı ağlarının özellikle VKA, fronto-pariyetal, dorsal dikkat ve görsel ağından birinden fazla frekans bandında gözlemlendiğini ortaya koymuşlardır.

Tohum noktası ve ilişkili kontralateral nokta arasında hemisferler arası bağlantısallığın tüm frekans bantlarında gözlemlendiği halde, tohum temelli korelasyon haritalarının uzaysal genişliğinin 0.198-0.5 Hz ve 0.5-0.75 Hz bantlarında azaldığı ortaya konmuştur [13]. Bu çalışma kapsamında, dinlenim durumu BOLD sinyali 0.25 Hz frekansına kadar bilgi içerebilmektedir ve düşük frekans bileşenlerinde bilateral bağlantılar MEMD analizi sonrasında gözlemlenmiştir. Beklendiği üzere dinlenim durumu fonksiyonel kanlanma aktivitesi 0 ile 0.08 Hz frekans aralığında yüksek, 0.08-0.16 Hz aralığında ise görece daha düşük olarak görülmektedir.

Yapılan analiz sonucunda elde edilen birinci bileşende, görsel ağ ve işitsel fonksiyonların yürütülmesinde rol oynayan süperiyor temporal girus bağlantıları izlenmiştir. Anteriyor singulat ve posteriyor singulat bölgelerindeki ikinci bileşen için gözlenen yüksek koherans, ikinci bileşenin VKA'nın bir parçası olduğunu desteklemektedir. Ayrıca ikinci bileşende güçlü bir görsel ağ bağlantı mekanizmasında izlenmiştir.

Literatürde 0.12 Hz -0.2 Hz frekans aralığını VKA ile ilişkilendiren çalışmalar mevcuttur [14]. MEMD uygulaması sonrasında elde edilen bileşenlerin birinci ve ikincisinde VKA bağlantı ağına önemli bileşenlerine ulaşılmıştır.

İkinci bileşene benzer olarak, üçüncü bileşende VKA posteriyor bağlantılarını ortaya koymaktadır.

Üçüncü bileşende, ek olarak bilateral pariyetal ve sol frontal ve sağ frontal bağlantıların varlığı, bu bileşenin sağ fronto pariyetal dikkat ve sol fronto pariyetal dikkat ağını temsil ettiğini düşündürmektedir. Gohel ve Biswal (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmaya uyumlu olarak [13], bu çalışmada üçüncü bileşene tekabül eden dikkat ağına frekans spektrumu 0.03 Hz de tepe yapmaktadır ve 0.06 Hz e kadar ulaşmaktadır. Üçüncü bileşende gözlenen posterior singulatin, VKA'nın önemli bir düğümü olarak Zhang ve ark. çalışmasında elde ettikleri frekans spektrumu ile uyumluluk göstermiştir [11].

Superiyor temporal girus bağlantıları frekans spektrumu açısından literatürle uyumlu olarak en yüksek frekans spektrumuna ait dördüncü bileşende gözlemlenmiştir [14].

MEMD metodu ile elde edilen zaman serilerinin koherans metriği ile gruplanması ve incelenmesi, aynı uzaysal bölgelerin farklı spektral bantlarda kurduğu bağlantıları incelemek adına önem taşımaktadır. Ölçülen zaman serilerine öncül bir bilgi sunmadan, veri güdümlü olarak zaman serisi ayrışımı ile yansız bir dekompozisyon elde edilebilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Kalkınma Bakanlığı proje no 2010K120330 desteğiyle gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] K.J. Friston, C.D. Frith, P.F. Liddle, R.S.J. Frackowiak, "Functional connectivity: the principal component analysis of large (PET) data sets." J. Cereb. Blood Flow Metab. 13, 5-14, 1993.
- [2] S. Ogawa, T. M. Lee, A. R. Kay ve D. W. Tank, "Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation." Proc. Natl. Acad. Sci., 87(1990), 9868-9872.
- [3] B. Biswal, F. Zerrin Yetkin, V.M. Haughton ve J.S. Hyde, "Functional connectivity in the motor cortex of resting human brain using echo-planar MRI." Magn. Reson. Med. 34, 537-541, 1995.
- [4] H. Littow, A. A. Elseoud, M. Haapea, M. Isohanni, I. Moilanen, K. Mankinen, J. Nikkinen, J. Rahko, H. Rantala, J. Remes, T. Starck, O. Tervonen, J. Veijola, C. Beckmann ve Vesa J. Kiviniemi, "Agerelated differences in functional nodes of the brain cortex – a high model order group ICA study." Frontiers in Systems Neuroscience 4(32) 2010
- [5] J. Langan, S. J. Peltier, J. Bo, B. W. Fling, R. C. Welsh ve R. D. Seidler, "Functional implications of age differences in motor system connectivity." Frontiers in Systems Neuroscience, 4(17)June 2010

- [6] S. J. Li, Z. Li, G. Wu, M. J. Zhang, M. Franczak ve P. G. Antuono. "Alzheimer disease: evaluation of a functional MR imaging index as a marker." *Radiology* 225, 253–259. , 2002.
- [7] B. Mohammadi, K. Kollwe, A. Samii, K. Krampfl, R. Dengler ve T. F. Munte,. "Changes of resting state brain networks in amyotrophic lateral sclerosis." *Exp. Neurol.* 217, 147–153, 2009.
- [8] X. Di, S. Zhu, H. Kin, P. Wang, Z. Ye, K. Zhou, Y. Zhuo ve H. Rao "Altered Resting Brain Function and Structure in Professional Badminton Players", 2(4), *Brain Connectivity*, 2012
- [9] S. Whitfield-Gabrieli ve A. Nieto-Castanon, "Conn: A Functional Connectivity Toolbox for Correlatedand Anticorrelated Brain Networks", *Brain Connectivity*, Vol 2, No 3, 2012, DOI: 10.1089/brain.2012.0073, 2012.
- [10] M.J. McKeown, S. Makeig, G.G. Brown, T.P. Jung, S.S. Kindermann, A.J. Bell, T.J. Sejnowski. "Analysis of fMRI data by blind separation into independent spatial components." *Human Brain Mapp.* 1998; 6(3):160-88.
- [11] T. Zhang, P. Xu, L. Guo, R Chen, R. Zhang, H. He, Q. Xie, T. Liu, C. Luo ve D. Yao. "Multivariate empirical mode decomposition based sub-frequency bands analysis of the default mode network: a restingstate fMRI data study." *Applied Informatics* 2015 2(2) DOI: 10.1186/s40535-014-0005-z,
- [12] K.J. Friston, J. Ashburner, C.D. Frith, J.B. Poline, J. D. Heather, R.S. Frackowiak. "Spatial registration and normalization of images.", *Human Brain Mapping.* 1995;3:165-18,
- [13] R.C. Blair ve W. Karniski, "An alternative method for significance testing of waveform difference potentials. " *Psychophysiology*, (1993)
- [14] S. R. Gohel ve B. B. Biswal. "Functional Integration Between Brain Regions at Rest Occurs in Multiple-Frequency Bands." *Brain Connectivity*, 5(2015), 23-34.
- [15] K. Akyol. "Meme Kanseri Tanısı İçin Özniteliklerin Öneminin Değerlendirilmesi Üzerine Bir Çalışma". *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* 6 / 2 (Ağustos 2018): 109-115. <http://dx.doi.org/10.21541/apjes.323336>



Havucun Boy ve Çap Verileri Kullanılarak Hacminin Hesaplanması için Matematiksel Model Geliştirilmesi

*¹ Mustafa Nevzat Örnek, ² Humar Kahramanlı Örnek

¹Konya Teknik Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Tarım Makinaları Programı/Konya, nevzat@selcuk.edu.tr

²Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Konya, hkahramanlı@selcuk.edu.tr,

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 17.04.2018

Kabul Tarihi: 28.09.2018

Öz

Havuç, dünyada patatesten sonra en çok üretimi yapılan sebzedir. Türkiye’de havucun en çok yetiştirildiği bölge Konya iline bağlı Kaşınhanı’dır. Bu nedenle çalışmada uygulama amacı ile Kaşınhanı’nda üretilen havuçlar seçilmiştir. Toplam 464 adet Nantes türü havuç kullanılmıştır. Havuçların boyu, 5 santimetre ara ile çapları ve hacimleri ölçülmüştür. Daha sonra sunulan yöntem ile havuçların hacimleri hesaplanmış ve gerçek hacimlerle karşılaştırılmıştır. Tüm havuçlar için hesaplanan hacim ile ölçülen hacim arasındaki R^2 değeri 0,9 olarak bulunmuştur. Ölçülen ve hesaplanan değerler arasında korelasyon doğrusunun eğimi 1,06 olmuştur ki, bu da ideal değere çok yakındır.

Anahtar kelimeler: Havuç, Fiziksel Özellikler, En Küçük Kareler Yöntemi, Matematiksel Model.

Developing of the Mathematical Model to Calculate the Carrot Volume Using the Length and Diameter Data

*¹ Mustafa Nevzat Örnek, ² Humar Kahramanlı Örnek

¹ Konya Technical University Vocational School of Technical Sciences Agricultural Machinery Program / Konya
nevat@selcuk.edu.tr

² Selçuk University Faculty of Technology Computer Engineering Department / Konya
hkahramanlı@selcuk.edu.tr

Abstract

Carrot is the second most produced vegetable in the world after the potato. Most carrots grown in Turkey are grown in the Kaşınhanı of Konya province. For this reason, in this study, carrots produced in Kaşınhanı were chosen for the application purpose. A total of 464 Nantes carrots were used. The length, volume and diameters by 5 cm intervals of the carrots were measured. Then the volume of the carrots was calculated by the presented method and compared with the actual volumes. The R^2 value between the calculated volume and the measured volume for all carrots was found as 0.9. The correlation line between the measured and calculated values has a slope as 1.06 which is very close to the ideal value.

Keywords: Carrot, Physical Properties, Least Squares Method, Mathematical Model.

1. GİRİŞ

Havuç, dünyada en çok yetiştirilen ve tüketilen kök sebzelerden biridir [1, 2]. B1, B2, B6, B12 ve C vitamini gibi besin maddelerinin yüksek olması nedeniyle insan beslenmesinde en yaygın kullanılan sebzeler arasındadır [1,3,4]. Havuç, vitamin A’nın yanında, yüksek β -karoten içeriğine sahip olduğu için insan tüketimi için özel bir

sebzedir[1,5,6]. Anlık çorbalar, güveç, soslar, bebek maması, hazır yemekler ve sağlıklı aperatifler gibi çeşitli gıda ürünlerinde sıklıkla kullanıldığı için son yıllarda kuru havuçlar daha fazla tercih edilmektedirler [7].

Dünya nüfusunun artışıyla pazara sunulan tarım ürünlerinin sınıflandırılması ve paketlenmesi önem kazanmaya başlamıştır. Ürünün tarladan paketlenme işlemi yapılacak

*¹ Konya Teknik Üniversitesi TBMYO Tarım Makinaları Programı, Konya, nevat@selcuk.edu.tr, 0532.726 46 61

tesislere taşınmasından sonra ürünlerin kendi özelliklerine göre sınıflandırılması gerekmektedir. Tesislerde farklı özellik gösteren birçok ürünün standartlara uygun olarak işlenmesi mümkündür. Bu tesislerde ayırma, sınıflandırma, yıkama, paketleme ve depolama gibi işlemler gerçekleştirilmektedir. Ürünün boy, çap, şekil, renk gibi özelliklerine göre sınıflandırılması, paketlenmesi ürünün piyasa değerini artırmakta, ürün kayıplarını azaltmakta, zedelenmiş ürünler ayrıldığı için raf ömürleri artmaktadır. Bu şekilde tarımsal ürünlerin belli standartlara uygunluğu sağlanmaktadır. Böylece elde edilen standart ürünün fiyat ve satış üstünlüğü artmış olur.

Yaş sebze meyve paketleme tesislerinde, yatırım maliyeti en yüksek olan işlemleri sınıflandırma aşaması oluşturmaktadır. Özellikle elektronik sınıflandırma yapılan paketleme tesislerinde hat sayısı arttıkça, yatırım maliyetleri de o oranda yükselmektedir. Paketleme tesisine sahip olan birçok firma yüksek yatırım maliyetlerinden dolayı mekanik tip sınıflandırma ünitelerini (roller tip, piyano tip, pantolon tip, tamburlu tip ve paralel yerleştirilmiş silindir tip) kullanmaktadır. Bu tip sınıflandırma üniteleri sadece boyut özelliklerine göre sınıflandırma yapabilmekte ve bu durum istenen standartları yakalamada yetersiz kalmaktadır. Ayrıca, ürünlerde oluşan mekanik hasar riski ve yeterli kapasiteye ulaşılamaması, mekanik sınıflandırma ünitelerinin olumsuzlukları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle de ülkemizde meyve ve sebzelerin ambalajlanması ve sınıflandırılmasında ileri teknolojik seviye yakalanamamakta ve bunun sonucu olarak piyasa koşullarının gerektirdiği rekabet gücü oluşamamaktadır [8].

Konya Kaşınhanı bölgesinde havuç üretimi yapan tarımsal işletmelerin bazılarında kendi yıkama ve paketleme tesisi bulunmaktadır. Yıkamadan sonra havuçlar paketleme bölümüne gelmekte ve tamamen insan iş gücü kullanılarak sınıflandırma ve paketleme işlemi yapılmaktadır. Bazı tesislerde ise mekanik sınıflandırma makineleri bulunmaktadır. Bu makinelerden geçirilen havuçlar sınıflandırılmakta ve daha sonra bu havuçların işçiler tarafından tekrar gözle kontrolleri yapılarak çaplarına veya uzunluklarına göre paketlenerek yerleştirilmektedirler. Bu paketlemeler, genellikle 5, 10 ve 15 kg şeklinde yapılmakta, kırık, çatallanmış, küçük boyutlu (çıtır) ve büyük boyutlu (takoz) olanlar ayrılarak paketlenmektedir. Şekil 1'de bir paketleme tesisinde yapılan işlemler görülmektedir [8].

Meyve ve sebzelerin sınıflandırılması için üretilen makineler gün geçtikçe artmaktadır. Bu makinelerin bazılarında sınıflandırma amacı ile görüntü işleme kullanılmaktadır. Kameralar sebzelerin görüntüsünü iki boyutlu olarak almaktadır. Bu görüntülerden, ürünlerin uzunluğu ve çapı tespit edilirken hacim ve ağırlık gibi özellikler için ek bir donanıma gerek duyulmaktadır. Bu çalışmada görüntü işleme ile elde edilecek boy ve çap özellikleri kullanılarak ek bir donanıma gerek duymadan havuç sebzelerinin hacminin tespitini sağlayacak matematiksel modelin elde edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 1. Yıkama ve taşıyıcı bant (a), dağıtıcı fırça (b), işçilerin havuçları seçerek paketlenmesi (c, d) [8]

Aydın, Karadeniz bölgesinde yetiştirilen fındıkların fiziksel özellikleri ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, fındık ve fındık içinin neme bağlı fiziksel özelliklerini, yani doğrusal boyutlar, birim kütle ve hacim, yuvarlaklık, yoğunluk, gözeneklilik, kopma mukavemeti ve statik katsayısı incelenmiştir [9].

Özgüven ve Vursavuş sınıflandırma aşaması için ürünlerin ebatlarının önemli olduğunu dikkate alarak, yer fıstığı için üç temel çap, geometrik çap, kütle, yuvarlaklık, yüzey alanı istatistiklerini araştırmışlardır [10].

Vursavuş ve ark. üç kiraz çeşidi olan Van, Noir De Guben ve 0-900 Ziraat'a ait uzunluk, genişlik, kalınlık, hacim, yüzey alanı, geometrik ortalama çap, meyve kütlesi, yuvarlaklık gibi çeşitli fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri üzerine çalışmışlar. Üç çeşit kiraz için kütle tahmin etmek amacı ile çoklu doğrusal modeller geliştirmişlerdir. Kiraz çeşitleri için ekipman tasarımı ve hasat sonrası teknolojide mühendisler yararlı veriler sağlayan üç kiraz çeşidinin tüm özellikleri istatistiksel anlamda genel olarak farklı bulunmuştur. Araştırmacılar bu farklılığın bu çeşitlerin bireysel özelliklerinden, çevresel ve büyüme koşullarından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Kiraz kütlesi ve uzunluk, genişlik, kalınlık ve geometrik ortalama çapı gibi boyut özellikleri arasındaki ilişkiyi araştırmak için deneysel verilere çoklu doğrusal bir regresyon modeli uydurulmuştur. Adımlı regresyon analizinin sonucuna göre, en iyi uyum modelinde üç tatlı kiraz çeşidi için R^2 değerleri %89 ile %91 arasında bulunmuştur [11].

Bustos-Vanegas ve ark. izotermal kavurma koşullarında kahve çekirdeğinin fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişimi değerlendirip, kahve çekirdeği için ısı ve kütle transfer modelleri geliştirmişler. Araştırmacılar kavurma sıcaklığının kahve çekirdeğinin fiziksel özellikleri üzerinde etkisi olduğunu, kahve nemine bağlı olarak çekirdek yoğunluğunun doğrusal olarak azaldığını belirtmişler. Kahve çekirdeği hacim ve yüzey genişleme oranlarını modellemek için nem içeriğinin bir fonksiyonunu sunmuşlardır [12].

Munder ve ark. ayçiçeği tohumlarının farklı kalite sınıflarına hızlı ve hassas bir şekilde ayrılmasını sağlayan bir sistem oluşturdu. Bu amaçla ay çekirdeğinin fiziksel özelliklerini

incelemiş, tohum kütlesi ile çekirdek kütlesi arasında yüksek bir pozitif korelasyon olduğunu belirlemişler. Ayrıca tohum uzunluğu, genişliği, kalınlığı ve kütlesi arasında önemsiz korelasyonlar olduğunu belirtmişlerdir [13].

Al-Garni ve ark. hava durumu verileri, güneş radyasyonu, nüfus ve kişi başına düşen gayri safi milli hasıla verilerine dayanarak Suudi Arabistan'ın doğusunda elektrik enerjisi tüketimi için bir model geliştirmişlerdir. Modeli üretmek için en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır [14].

Alfares ve Nazeeruddin bir yıl için günlük maksimum yük tahminini yapmak amacı ile en küçük kareler yöntemini kullandılar. Çalışma sadece iş günlerini değil, tatilleri de kapsamaktadır. Farklı mevsimlerde yükü etkileyen faktörleri de göz önüne almak için yaz mevsiminde kullanılan açıklayıcı değişkenlere ek olarak, kış mevsiminde ortalama rüzgar soğuma faktörü açıklayıcı bir değişken olarak eklenmiştir [15].

Reeder ve ark. çok nokta Dixon yağ-su ayrımı için yeni bir yaklaşım sunmuştur. Su ve yağ görüntüsünü ayırtıran yinelenmeli bir lineer en küçük kareler yöntemi kullanılarak, yüksek bir sinyal-gürültü oranı ve su ile yağın üniform ayrılması elde edilmiştir [16]. Beauducel ve Herzberg doğrulayıcı faktör analizi için en küçük kareler yöntemi kullanmışlar. Çalışma dört farklı numune boyutu için (250, 500, 750, 1000), dört farklı değişken sayısı (5, 10, 20 ve 40 ile 1, 2, 4, ve sırasıyla 8 latent faktör) ve değişkenlerdeki beş sayı kategorisi (2, 3, 4, 5 ve 6) üzerinde yapılmıştır [17].

2. MATERYAL METOD

2.1. Materyal

Araştırmada, Konya Kaşınhanı Bölgesinde yaygın olarak üretimi yapılan Nantes (*Daucus carota* L.) çeşidi havuçlar kullanılmıştır. Örnek olarak 2017 Eylül ayı içinde toplam 500 adet havuç rasgele olarak alınmıştır.

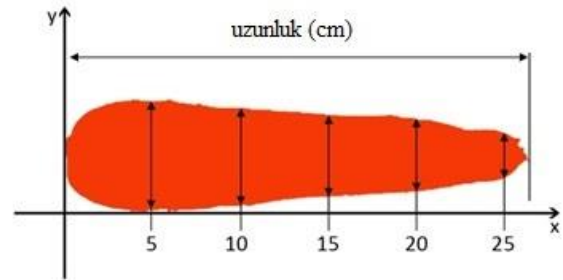
Havuç, yaklaşık %86-93 (yaş baz) su muhtevasına sahip yüksek nemli bir gıda çeşididir. Bu nedenle nem kaybı havucun fiziksel özelliklerinin kaybına sebep olur ve taze görünümünü kaybetmesi gerçekleşir. Kalite kaybını azaltmak için, havuç uygun bir sıcaklık ve neme sahip bir ortamda saklanmalı veya uygun kurutma yöntemleriyle dehidrate edilmelidir [3].

Bu nedenle çalışmada tüm ölçümler 24°C'lik bir oda sıcaklığında ve aynı gün içinde gerçekleştirilmiştir. Alınan havuçlardan ezilen, çürük, bozuk, kırık olanlar değerlendirme dışı bırakılmıştır. Toplam 464 adet havuç için aynı gün içinde ve aynı ortamda ölçümler yapılmıştır. Havucun fiziksel özelliklerini belirlemek için sırası ile;

- Uzunluğu ölçmek için 50 cm boyunda 1 mm hassasiyetinde çelik cetvel (=boyu mm);

- Çapı ölçmek için 0,1 mm'lik bir hassasiyete sahip Stainless Hardere marka dijital kumpas (=çap mm);
- Kütlesini ölçmek için 0,001 g hassasiyette hassas bir elektronik terazi;
- Hacimleri ölçmek için 100 ml ve 200 ml lik dereceli silindirler kullanılmıştır.

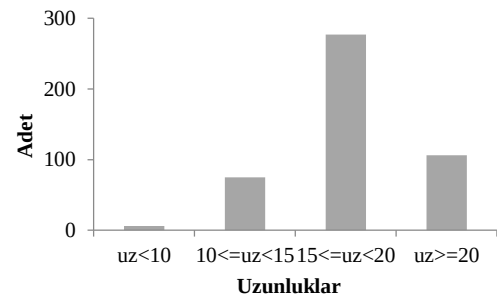
Önce havuçlar sıra ile düz bir zemine konulup çelik cetvel ile boyu, cetvel üzerindeki işaretli 50 mm aralıklarla ölçülmüştür (Şekil 2). Havucun çapını ölçmek için kumpas kullanılmıştır. Elde edilen fiziksel özelliklere ait verilerle ilgili istatistiki değerler Çizelge 1'de, frekans dağılım grafiği Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 2. Yıkama ve taşıyıcı bant (a), dağıtıcı fırça (b), işçilerin havuçları seçerek paketlemesi (c, d) [8]

Çizelge 1. İncelenen havuçların fiziksel özellikleri ile ilgili istatistiki değerler

	0 cm'de yarıça p (cm)	5 cm'de yarıça p (cm)	10 cm'de yarıça p (cm)	15 cm'de yarıça p (cm)	20 cm'de yarıça p (cm)	Boy (cm)	Hacim (ml)
Minimum	1,04	0,66	0	0	0	7	11
Maksimum	2,44	2,41	1,95	1,62	1,42	24	247
Ortalama	1,62	1,51	1,19	0,81	0,17	17,6	89,6
St. sapma	0,26	0,27	0,29	0,44	0,34	2,85	36,4
							5



Şekil 3. Havuç uzunluklarının frekans dağılımı
Verilen havuçlarda istatistiklere ek olarak uzunluğu 10 cm'nin üstünde 458 adet, 15 cm'den fazla 383 adet, 20 cm'den fazla 106 adet havuç bulunmaktadır.

2.2. Yöntem

Havucun hacminin matematiksel yöntemlerle hesaplanabilmesi için en küçük kareler yaklaşımı ve dönele

cismin hacminin hesaplanması için integral yöntemi kullanılmıştır.

a. Polinom için en küçük kareler yaklaşımı

k. dereceden polinom genel olarak;

$$y = \sum_{i=0}^n a_i x^i = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n \quad (1)$$

biçimindedir. n . dereceden eğri uydurma problemini çözmek, $(n+1)$ adet a_i , $i = 0, 1, \dots, n$ katsayısı bulmak demektir. Eğri uydurma probleminde her nokta için hata

$$h_k = y_k - \sum_{i=0}^n a_i x_k^i \quad (2)$$

hatanın karesi ise;

$$h_k^2 = [y_k - \sum_{i=0}^n a_i x_k^i]^2 \quad (3)$$

ile hesaplanır.

Hataların kareleri toplamı ise aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$H = \sum_{k=1}^N h_k^2 \quad (4)$$

Burada, N noktaların sayısıdır. Hataların kareleri toplamı H 'nin kısmi türevleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} \frac{\partial(H)}{\partial a_0} &= -2 \sum_{k=1}^N h_k = -2 \sum_{k=1}^N \left(y_k - \sum_{i=0}^n a_i x_k^i \right) \\ \frac{\partial(H)}{\partial a_1} &= -2x \sum_{k=1}^N h_k = -2x \sum_{k=1}^N \left(y_k - \sum_{i=0}^n a_i x_k^i \right) \\ &\vdots \\ &\vdots \end{aligned} \quad (5)$$

$$\frac{\partial(H)}{\partial a_n} = -2x^n \sum_{k=1}^N h_k = -2x^n \sum_{k=1}^N \left(y_k - \sum_{i=0}^n a_i x_k^i \right)$$

En küçük kareler yaklaşımında hataların minimum olması için hataların karelerinin sıfıra eşitlenmesi gerekir. Bunun sonucu olarak aşağıdaki denklem sistemi elde edilir.

$$\begin{aligned} a_0 N + a_1 \sum_{i=1}^N x_i + \dots + a_n \sum_{i=1}^N x_i^n &= \sum_{i=1}^N y_i \\ a_0 \sum_{i=1}^N x_i + a_1 \sum_{i=1}^N x_i^2 + \dots + a_n \sum_{i=1}^N x_i^{n+1} &= \sum_{i=1}^N x_i y_i \\ &\vdots \\ &\vdots \end{aligned} \quad (6)$$

$$a_0 \sum_{i=1}^N x_i^n + a_1 \sum_{i=1}^N x_i^{n+1} + \dots + a_n \sum_{i=1}^N x_i^{2n} = \sum_{i=1}^N x_i^n y_i$$

Bu sistem Vandermonde matrisi biçiminde ifade edilirse,

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 & \dots & x_1^n \\ 1 & x_2 & \dots & x_2^n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_N & \dots & x_N^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix} \quad (7)$$

elde edilir. Bu denklemler çözüldüğünde elde edilen a_i , $i = 0, 1, \dots, n$ değerleri (1) denkleminde yerine yazılırsa eğri denklemi elde edilmiş olur.

b. Hacim hesaplama

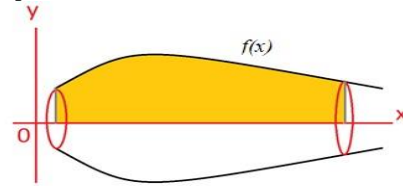
$y = f(x)$ eğrisinin x eksenini etrafında 360° döndürülmesi ve $x = a$ ve $x = b$ doğruları arasında oluşan cismin hacmi;

$$y = \pi \int_a^b [f(x)]^2 dx \quad (8)$$

ile hesaplanır (Şekil 4). (1) denklemi burada yazılırsa;

$$y = \pi \int_0^b [\sum_{i=0}^n a_i x^i]^2 dx \quad (9)$$

elde edilir. Son elde edilen formül kullanılarak bir havucun hacmi hesaplanabilir.



Şekil 4. Eğrinin x eksenini etrafında dönmesi sonucu elde edilen cisim

3. BULGULAR

Çalışmanın amacı kesit yarıçapları ve uzunluğu belli olan havucun hacminin hesaplanmasıdır. Bu amaçla havucun koordinat sistemine oturtulduğu varsayılarak önce en küçük kareler yöntemi uygulanmış ve havucun kenarı için eğri denklemi oluşturulmuştur. Eğri olarak üçüncü dereceden polinom fonksiyonu tercih edilmiştir. Oluşturulan eğri (9) denkleminde uygulanarak havucun yaklaşık hacmi hesaplanmıştır.

Örnek olarak 254 numaralı havucun ölçülen bilgileri Çizelge 2'nin 1. satırında görülmektedir.

Çizelge 2. Örnek olarak seçilen bir havucun fiziksel özellikleri.

	Ölçülen	Hesaplanan
0 cm'de yarıçap (cm)	1,7325	1,740786
5 cm'de yarıçap (cm)	1,68	1,646857
10 cm'de yarıçap (cm)	1,3125	1,362214
15 cm'de yarıçap (cm)	1,0765	1,043357
20 cm'de yarıçap (cm)	0,8385	0,846786
Uzunluk (cm)	21,1	
Hacim (ml)	120	121,14

Bu havucun yarıçaplarına göre eğri uydurulduğunda (10) fonksiyonu elde edilmiştir.

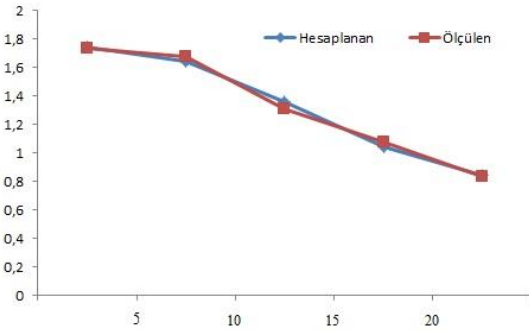
$$f(x) = 0,000209 * x^3 - 0,00694 * x^2 + 0,010719 * x + 1,740786 \quad (10)$$

(10) fonksiyonu uygulandığında örnek havuç için elde edilen yarıçaplar Çizelge 2'nin 2. satırında görülmektedir. Şekil 5.

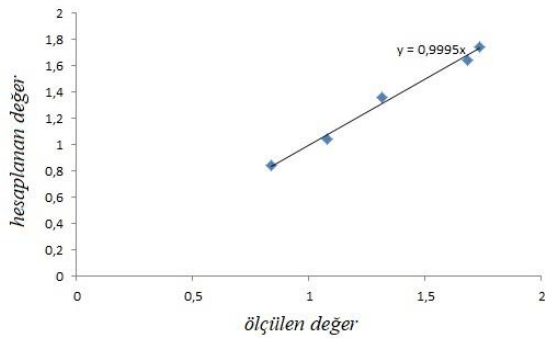
ve Şekil 6. incelendiğinde elde edilen eğrinin havucu başarılı bir biçimde temsil ettiği görülmektedir. (10) fonksiyonu (9)'a uygulandığında;

$$y = \pi \int_0^{21,1} [0,000209 * x^3 - 0,00694 * x^2 + 0,010719 * x + 1,740786]^2 dx \quad (11)$$

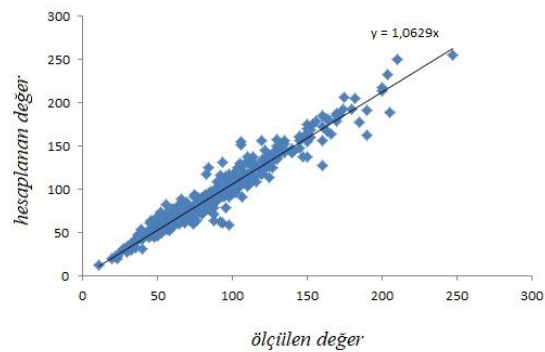
elde edilir. Gerekli işlemler yapıldıktan sonra örnek havucun hacmi 121,14 cm³ olarak hesaplanmıştır ki, bu da havucun hacminin %0.05 hata ile hesaplanmış olduğu anlamına gelmektedir.



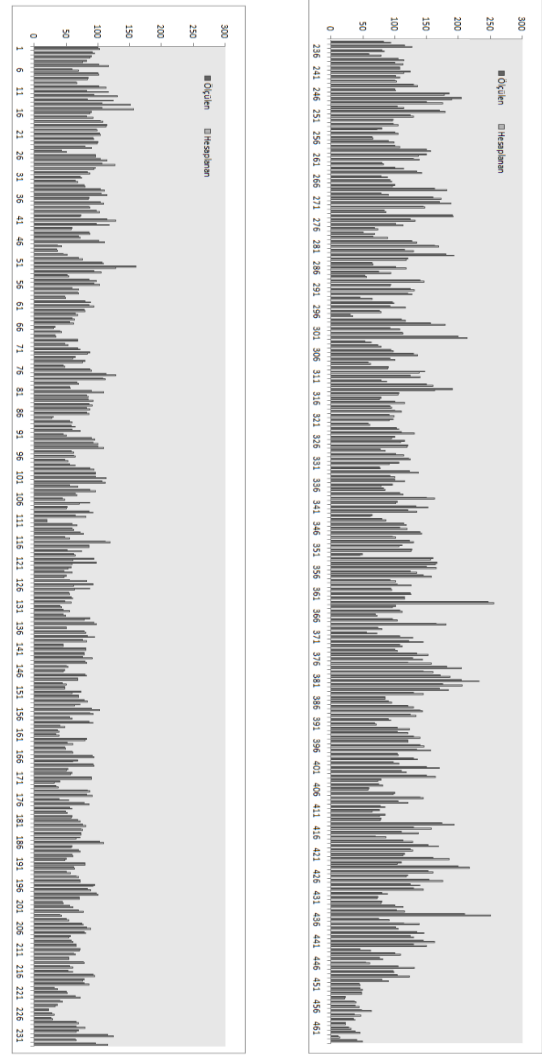
Şekil 5. Örnek havuç için ölçülen ve hesaplanan değerlerin karşılaştırılması



Şekil 6. Örnek havuç için ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki korelasyon



Şekil 7. Tüm havuçlar için ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki korelasyon



(a) ilk 232 havuç

(b) diğer 232 havuç

Şekil 8. Tüm havuçlar için ölçülen ve hesaplanan değerlerin karşılaştırılması

Tüm havuçlar için elde edilen sonuçlar incelendiğinde (Şekil 7) (9) denkleminin başarılı sonuçlar ürettiği görülmektedir. İdeal tahminde R² değerinin ve korelasyon doğrusu eğiminin 1 olması gerekir. Çalışmada tüm havuçlar için hesaplanan hacim ile ölçülen hacim arasındaki R² değeri 0,9 olarak bulunmuştur. Şekil 8'den de görüldüğü gibi ölçülen ve hesaplanan değerler arasında korelasyon doğrusunun eğimi 1,06 olmuştur ki, bu da ideal değere çok yakındır.

4. SONUÇLAR

Çalışmada kesit yarıçapları ve uzunluğu bilinen bir havucun hacminin hesaplanması amaçlanmıştır. Bunun için 464 havuç üzerinde çalışma yapılmıştır. Sonuç olarak önerilen yöntemin havuçların hacmini hesaplama konusunda başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma görüntü işleme ile havuç

sınıflandırma çalışmalarının ilk adımı olarak yapılmıştır. Önerilen yöntem kullanılarak görüntüsü alınan bir havucun ek bir cihaza gerek duymadan hacminin hesaplanabileceği gösterilmiştir. Ayrıca yöntemin salatalık, domates, patates, elma, armut, şeftali gibi meyve ve sebzelere de uygulanabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

[1] W.G. Lin, B. Xu, B. Wei, R. Zeng, “Low frequency ultrasound pretreatment of carrot slices: Effect on the moisture migration and quality attributes by intermediate-wave infrared radiation drying”, *Ultrasonics-Sonochemistry*, vol. 40, pp. 619–628, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.08.005>.

[2] Z.G. Chen, X.Y. Guo, T. Wu, “A novel dehydration technique for carrot slices implementing ultrasound and vacuum drying methods *Ultrason. Sonochem*”, vol.3, pp. 28–34, 2016.

[3] J. Frias, E. Peñas, M. Ullate, C. Vidal-Valverde, “Influence of drying by convective air dryer or power ultrasound on the vitamin C and beta-carotene content of carrots”, *J. Agric. Food Chem.*, vol. 58, pp:10539-10544, 2010.

[4] K. Gornicki, A. Kaleta, “Drying curve modelling of blanched carrot cubes under natural convection condition”, *Journal Food Engineer*, vol. 82, pp.160-170, 2007.

[5] B. Bao, K.C. Chang, “Carrot juice color, carotenoids, and nonstarchy polysaccharides as affected by processing conditions” *Journal of Food Science*, vol.59, pp.1155-1158,1995.

[6] J.L. Bureau, R.J. Bushway, “HPLC determination of carotenoids in fruits and vegetables in the United States”, *Journal of Food Science*, vol. 51(1), pp.128-130, 1986.

[7] M. Nowacka, M. Wedzik, “Effect of ultrasound treatment on microstructure, colour and carotenoid content in fresh and dried carrot tissue”, *Applied Acoustics* vol. 103, pp.163–171, 2016.

[8] M.N. Örnek, “Havuç Sınıflandırmada Gerçek Zamanlı Görüntü İşleme Makinası Tasarımı ve Bazı Mekanik Sınıflandırma Makinaları ile boylama etkinliklerinin karşılaştırılması”, *Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen*

Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Konya,2014.

[9] C. Aydin, “Physical Properties of Hazel Nuts, *Biosystems Engineering*”, vol. 82(3), pp. 297-303,2002.

[10] F. Özgüven, K. Vursavuş, “Some physical, mechanical and aerodynamic properties of pine (*Pinus pinea*) nuts”, *Journal of Food Engineering*, vol. 68, pp.191–196, 2005.

[11] K. Vursavuş, H. Kelebek, S. Selli, “A study on some chemical and physico-mechanic properties of three sweet cherry varieties (*Prunus avium* L.) in Turkey”, *Journal of Food Engineering*, vol.74(4), pp.568-575, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.059>

[12] J.D. Bustos-Vanegas, P.C. Corrêa, M.A. Martins, F.M. Baptestini, R.C. Campos, G.H.H. Oliveira, E.H.M. Nunes, “Developing predictive models for determining physical properties of coffee beans during the roasting process, *Industrial Crops and Products*”, *Industrial Crops and Products*, 2017. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.015>

[13] S. Munder, D. Argyropoulos, J. Muller, “Class-based physical properties of air-classified sunflower seeds and kernels”, *Biosystems Engineering*, vol.164, pp.124-134, 2017.

[14] A. Z. Al-Garni, Z. Ahmed, Y. N. Al-Nassar, S. M. Zubair and A. AL-Shehri, “Model for electric energy consumption in Eastern Saudi Arabia”. *Energy Sources*, vol. 19, pp. 325-334, 1997.

[15] H.K. Alfares, M. Nazeeruddin, “Regression-based methodology for daily peak load forecasting”. *Proceedings of the 2nd International Conference on Operations and Quantitative Management*, Ahmedabad, India, pp. 468-471, 1999.

[16] S.B. Reeder, Z. Wen, H. Yu, A.R. Pineda, G.E. Gold, M. Markl, N. J. Pelc, “Multicoil Dixon chemical species separation with an iterative least-squares estimation method, *Magnetic Resonance in Medicine*”, vol. 51(1), pp. 35–45, 2004.

[17] A. Beauducel, P.Y. Herzberg, “On the Performance of Maximum Likelihood Versus Means and Variance Adjusted Weighted Least Squares Estimation in CFA, *Structural Equation Modeling*”, vol. 13(2), pp. 186–203, 2006.

Design of a New Parallel-Plate Capacitor to Increase the Capacity Value

*Turgut Ozturk

*Department of Electrical-Electronics Engineering, Bursa Technical University, Bursa, Turkey
turgut.ozturk@btu.edu.tr, 

Research Paper

Received Date: 17.05.2018

Accepted Date: 04.01.2019

Abstract

The demand for dielectric materials has increased rapidly since the energy storage systems have an important place in many areas such as medical, defense, military, telecommunication and aerospace applications. The interaction of the electromagnetic waves with matter provides valuable information about the stored energy by material. Hence, the capacitor as an example of energy applications, which owes its energy storage capability to the internal dielectric material, is designed by using Ansys Maxwell software program to indicate the dependence of the capacitance on the dielectric constant and different design. The relationship between energy storage capacity and different design is shown by using different structures which are parallel plate and multi layered models. Furthermore, a new model has been designed and analyzed to increase the performance of capacitance value of capacitor. It is aimed to increase the interaction between surface area of dielectric material and conductive pipes/wires with this operation.

Keywords: Ansys maxwell, complex permittivity, capacitor design, dielectric materials, energy.

1. INTRODUCTION

Energy and energy production costs have a crucial factor on the development and sustainability the countries [1]. Hence, the alternative energy sources are important to reduce the unfavorable effects of fossil fuel energy sources. Therefore, research on wind, solar, and thermal energies are increasing rapidly. However, the storage and supply of the generated electricity become an important issue [2]. The energy storage devices are generally divided into two groups as short and long term. The capacitor is short term one, while the battery is long term.

The dielectric materials have a key function for capacitors to expand the performance of capacity value. Therefore, a new dielectric material should be developed for high performance of capacitance value and capacitance.

Researchers are working on this to design for more efficient energy storage devices. But, there are some requirements which are sorted as low dielectric loss, high-level dielectric constant of insulator, and wide range of temperature for applying. Shortly, when the material has a very high dielectric constant, its tangent loss should be very low that means close to zero [2-4].

The capacitance is defined as energy stored ability of capacitor. This parameter depends on the permittivity of the dielectric materials and dimension of conductors. It shows

that the capacitance does not depend on the potential difference between conductors and total charge. The permittivity of materials is a dielectric property which determines the interaction of material and electromagnetic radiation and defines density of charge under an applied electric field [2,5].

The capacitor can be defined as a device which stored the electric energy. It can be used in many areas such as radar systems, electric cars, aerospace, security, military, renewable energy system, medical test and scan equipment [2]. Furthermore, they can be used in integrated circuits as memory storage, circuit element, and coupling circuitry. In addition, it has a great importance in energy harvesting applications. It should not be forgotten; the capacitor is environment friendly as well as abundant.

The dielectric capacitors, which are currently available electrical energy storage devices have highest power density since their fast charge/discharge capability [6,7]. Therefore, many capacitors were designed by developers to show the features of capacitor. One of them is 3D capacitor design that the parameters of capacitor have been evaluated to enhance the capacitor capacitance to focused on the close relationship between manufacturing and design process [6]. Bilayer ceramic capacitor was designed for improving the coefficient of temperature which effects the performance of capacitor applications [8]. Furthermore, a novel BMN-based transparent tunable capacitor was designed with an average

optical transmittance [9]. Moreover, it is possible to obtain a new material with high dielectric constant by mixing up two different materials which have lower dielectric constant [4].

The capacitor was used for RF filter and EMI filter depending on recent rapid development on technology [7,10]. Tunable capacitors of RF MEMS have great prospects for many RF applications as sorted tuning filters, voltage-controlled oscillators, and matching circuits due to their low insertion loss, large tuning ratio, and high-quality factor, [11]. Herewith, the electromagnetic property of capacitor was carefully studied using 3-D electromagnetic simulation software CST [12].

Frequency response, which is one of the important factors for application area of capacitor, evaluation can be supplied with a capacitor from 100kHz to 1 GHz [12]. A capacitor bank was designed for size optimizing the switched capacitor array to increase the equivalent capacitance value [14]. Besides, the correlation between dielectric constant and band gap was showed that the band gap increases while the dielectric constant of insulator decreases with decreasing solid size [15]. In addition, the capacitor is used for noise suppression techniques from 40MHz to 5GHz to enhance the performance of split power bus [16]. Although, the illuminated capacitor array can be used as a source for tunable THz radiation [17]. Moreover, the new design capacitor was used a novel THz source: Miniature Photoconductive Capacitor Array (MPCA) [18].

By examine existing capacitor designs, it is considered which different type design might be more useful to increase the capacitance value. Two different improvements are predicted for high capacity of capacitor: production of a new material with high dielectric constant or optimization of existing geometric structure. Therefore, a classical parallel plate capacitor is designed to calculate the capacitance of it for use as a reference as well as cylindrical capacitor. Thereby, it has been aimed to improve energy storage capacity by making changes on reference capacitor. A new conductor plate or pipes are inserted into dielectric material by keeping fix the distance (d) between the conductor plates to increase capacitance value. Furthermore, the large conductive plate is replaced by piece of conductive material (pipes) to make light the capacitor. As a result of the analysis of the new design by Ansys Maxwell, an increase in capacity value has been achieved. This increase is about six times the value of the reference capacitor. However, it is expected that the energy intensity will decrease while the capacity increases against the heating problem. Meanwhile, the importance of being cheap has also been noted in terms of materials used.

2. Complex Permittivity and Capacitors

The capacitance of capacitors changes with increasing frequency. Because, the dielectric constant of materials decreases as frequency increases since the dielectric properties depend on frequency bands [7]. Therefore, the

dielectric materials used in capacitor should be selected to increase the capacitance. Besides, the variable temperature, low loss and more energy capability properties are required for energy storage performance [4]. Dielectric materials are used in capacitors to store the energy which are placed between two conducting plates. The dielectric materials should offer some advantages for capacitor such as high breakdown strength, light weight, facile process ability, and scalability to store high energy [19]. A solid dielectric material with high dielectric constant is preferred for capacitor to increase the capacitance value. The complex permittivity of a dielectric material can be expressed as follows:

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (1)$$

where ε' is real part of complex permittivity while ε'' is imaginary part. These parameters depend on the frequency of applied electric field. This is related by Kramers-Kronig relation as shown below:

$$\varepsilon'(\omega) = \varepsilon_0 + \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{u\varepsilon''(u)}{u^2 - \omega^2} du \quad (2)$$

The real part of complex permittivity is given as follows:

$$\varepsilon' = \varepsilon_0 \varepsilon_r \quad (3)$$

where ε_0 is the permittivity of vacuum ($8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$) and ε_r is called dielectric constant of a material. The magnitude of dielectric constant indicates the capability of stored energy from the electric field. When a parallel plate capacitor is considered with area (A) and thickness (the distance between two plates or thickness of dielectric material, d), the capacitance of capacitor given by

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r A / d \quad (4)$$

The calculation of capacitance is different in cylindrical and spherical capacitors. However, all capacitor types depend on geometrical design of it [2]. The conductor area can be increased with multilayer shape design. Hence, the overall capacitance of the capacitor can be increased, while its size is small and in a single body.

The dielectric strength is an important parameter for capacitor design. This parameter can be a disadvantage for dielectric material as it has a limit on maximum voltage setting. All materials have an upper voltage limit that is called breakdown voltage. For example, the air is an insulator until the emergence of lightning. Therefore, the maximum rated voltage of a capacitor is not exceeded to prevent damage.

The energy is stored in capacitor by applying voltage (V , potential difference) to capacitor plates. The lower-case q represents the charge amount on the capacitor plate. Using

$C = Q/V$ equation, the stored energy amount can be expressed as follows:

$$U = \frac{1}{2} QV \text{ or } U = \frac{1}{2} CV^2 \quad (5)$$

U represents the energy stored in the capacitor. V represents the voltage across the capacitor. The upper-case Q represents the amount of the final charge amount. When this equation is examined, the type of dielectric material being used affects the capacitance of the capacitor.

Moreover, the capacitance of capacitor will decrease at high frequency applications. As mentioned above, the small size effects the capacitance due to capacitor area (A). In addition, there are some factors to select the more proper capacitor in applications such as size, maximum voltage, leakage current, tolerance. The types of capacitor can be classified as ceramic, film, paper, mica aluminum and tantalum electrolytic. The using dielectric materials can be made from insulating materials glass, paper, mylar, ceramic, rubber or plastic etc. Furthermore, the conductor plates are made from a conductive material silver, tantalum, and aluminum etc.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The aim of the study is to increase the C capacity value associated with equation 4. For this reason, the importance of capacity value is emphasized. Firstly, a classical parallel plate capacitor was designed as shown in **Fig. 1a**. The dimensions of capacitor are 120 mm and 120 mm as square plate. The distance between the conductor plates was chosen as 4 mm. The conductive material can be selected as Aluminum, Tantalum, Silver etc. It is sufficient that this material is a good conductor. The capacitance of capacitor will be not depended on choosing of conductive material types, therefore, the thickness of conductive plate can be changed, and it was not given here.

The Teflon was preferred as dielectric material since it is easily available, and its dielectric constant is close the dielectric constant of air. The capacitance of capacitor changes due to **Eq. 4**. Therefore, the air and polyimide were used as a dielectric material to show its dependence on the dielectric constant.

The voltage was applied as 5 V to conductive plates. The capacity values were obtained by finite element analysis as 33.8 pF, 66.93 pF and 111.56 pF for air, Teflon and polyimide dielectric materials, respectively. Furthermore, the different dielectric materials, which are RO3003, Ultralam 3850HT and L1000HF, can be chosen as good dielectric materials. While lightness is an advantage of these materials, their costliness may prevent them from being preferred. Therefore, the dielectric material to be treated should be both cheap and polarized.

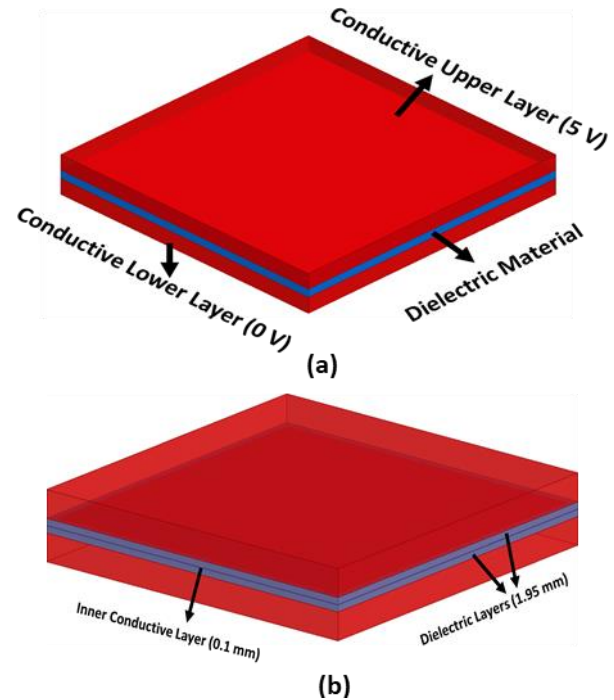


Fig. 1. a) A classical parallel plate capacitor b) The new design of capacitor with very thin inner conductive layer

To increase capacitance value of capacitor, a new plate was inserted between two dielectric plate as shown in **Fig. 1b**. The distance (d) was divided as two dielectric layers (1.95 mm) and one conductive layer (0.1 mm). After analysis, the capacity was obtained as 68.65 pF. Furthermore, the distance (d) was divided into three equal pieces and its capacitance value was obtained as 100.41 pF. Moreover, the distance (d) was divided into three parts as two dielectric layers (1 mm) and one conductive plate (2 mm). Hence, the capacitance value has increased, and it was obtained as 133.88 pF. Although the ferromagnetic material (M36) was used as inner plate instead of conductive material for same design, the capacity value has not changed, and it was obtained as 133.88 pF.

A voltage was not applied to the inner conductive plate for new designs. That is, there is no connection between the outer conductive plate and inner conductive plate which was placed in dielectric material. The multilayered design has patents as seen in ref [20]. However, the inner conductive plates were connected the conductive materials. Furthermore, there is no any information about the ratio of inner conductive layer thickness to dielectric layer thickness. As shown in **Fig. 2**, by changing the thickness of dielectric and inner conductive plates, it has been shown that the value of capacitor can be increased about four times when the thickness of dielectric plates and conductive plate are 0.5 and 3 mm (total 4 mm), respectively. By this way, the capacitance was obtained as 267.42 pF. Moreover, it is possible to increase the capacity value further by reducing the thickness of dielectric plate with the technological possibilities.

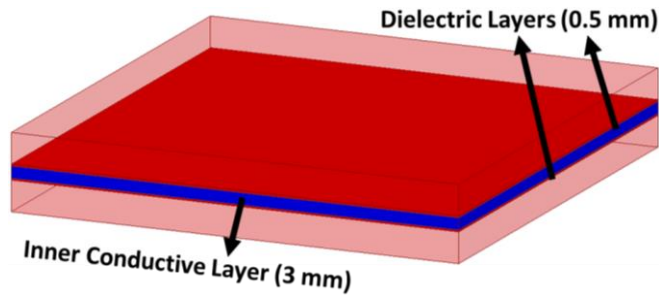


Fig. 2. The new capacitor design with energy density in volume

A new capacitor was designed to show the change in capacitance of capacitor. Here, the distance ($d=4\text{mm}$) was divided into five equal pieces as three dielectric plates ($0.8 \times 3\text{ mm}$) and two conductive ($0.8 \times 2\text{ mm}$) plates. Hence, two inner conductive layers were placed between three dielectric layers. However, the expected increase amount has not become in last design.

The theoretical calculations were made by **Eq. 4** since the designed capacitors can behave like a parallel connected capacitor. Thereupon, the theoretical and simulation results were compared to understand the difference between them. Although the capacity has shown a great increase for only one inner conductive layer (3 mm), the capacitance of capacitor, which has 0.5 mm dielectric layer, is obtained as 535.44 pF under same conditions. Therefore, it would not make much sense to prefer this. Nevertheless, this design can be an alternative solution due to it has high capacitance when a system requires only one capacitor.

Meanwhile, a potential difference (voltage) has occurred on inner conductive layers that are not connected to the conductive terminals due to the polarization on dielectric materials. This voltage value can become between 2-2.5 V in one inner conductive layer. If there are two inner conductive layers, the potential differences are 3.3 V on the upper side and 1.7 V on the lower side. Therefore, a novel capacitor was designed using 8 cylindrical conductive materials in dielectric layer (4 mm) as shown in **Fig. 3a**. The capacity increase is also higher than the previous designs.

The capacitance of novel capacitor was obtained as 349.32 pF and this value is about six times the initial design. However, the simulation time was very long due to geometrical structure. To decrease the simulation time, the conductive materials were designed as pipes instead of cylindrical materials as shown in **Fig. 3b**. Hence, the simulation time was short when compared to the other. But the capacitance value has decreased very few and it was obtained as 347.53 pF. Besides, the capacitance value was obtained as 91.16 pF, when three pipes were used in same design. In addition, the analysis of energy density is shown in dielectric layer with red color in **Fig. 3c**.

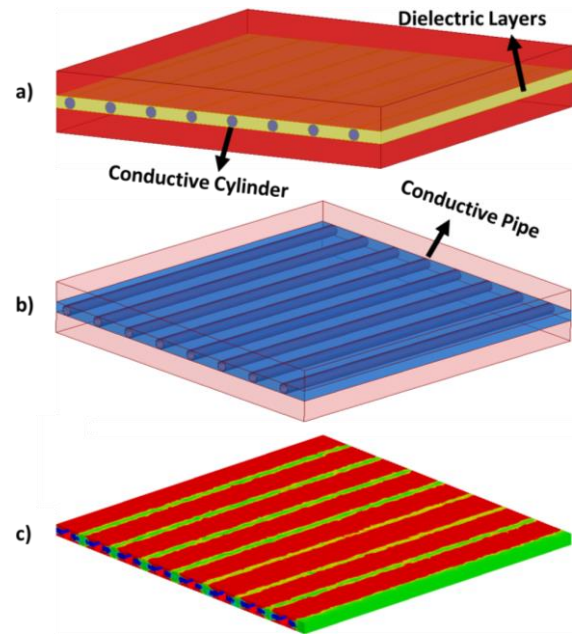


Fig. 3. A new parallel-plate capacitor design, a) using conductive cylinder b) using conductive pipe c) energy density in dielectric layer (4 mm) for 4b.

As shown in **Fig. 4**, the cylindrical capacitor is designed unlike the parallel capacitor. In this design, a cylindrical capacitor analysis was performed as 0.5 mm inner radius and 1.8 mm outer radius, and 30 mm height. The Teflon sample was selected as dielectric material. The conductive pipes with 0.4 mm radius were placed between the inner and outer conductors. The capacitance value was 3.20 pF before placing the conductive pipes, however, the capacitance value was obtained 7.34 pF after the conductive pipes were placed.



Fig. 4. A new cylindrical capacitor design

The placement of conductive pipes into insulating material (layer) increases the capacity value for both parallel and cylindrical capacitors. It is considered that the capacity value can be increased when the design of **Fig. 4** is developed. In addition to this design, a smaller size parallel plate capacitor is designed and conductive materials with different geometric shapes are placed into it. The capacity value was measured as 0.46 pF before any conductive material was placed. As shown in **Fig. 5**, instead of the conductive pipes, rectangle prism ($4.5 \times 2 \times 1.85\text{ mm}$) and cylinder (1.5 mm radius and 3.5 height) were used to enhance the capacitance value.

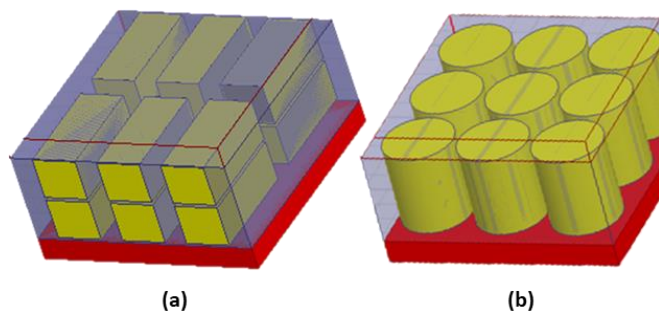


Fig. 5. A new parallel-plate capacitor design a) rectangle prism b) cylinder

The capacitance value of rectangle prism type capacitor was obtained 4.24 pF, while this value was obtained 3.18 pF for the cylindrical type. Hence, the increase value at the capacitor was determined as about 10 times. Some results obtained for parallel plate capacitor are given in **Table 1** where DL is Dielectric Layer, CL is conductive layer, CP is conductive pipe, CR is conductive rectangle prism, and CC is conductive cylinder. The initial values given in the table consisting of two parts are both theoretical and simulation results. As a result, the high capacitance values were obtained by **Fig. 2**, **Fig. 3** and **Fig. 5** designs. Furthermore, the amount of dielectric material used is reduced by adding a cheap conductor into it. This can be an advantage for inexpensive capacitor design. This design is much more valuable since it is not important which conductive material is used in the dielectric layer.

Table 1. The Capacitance Value of Designed Parallel-Plate Capacitors

Features		Capacitance (pF)
Dimensions 120*120 mm	DL=4 mm (without additional part)	66.93
	2 DL=0.5 mm and CL=3 mm	267.42
	1 CP	73.44
	3 CP	91.16
	8 CP	347.53
	8 CC	349.32
Dimensions 10*10 mm	DL=4 mm (without additional part)	0.46
	9 CC	3.18
	12 CR	4.24

4. CONCLUSIONS

The capacitor can be made more useful for many applications by increasing the storage capacity. Furthermore, the dielectric constant can be enhanced to increase the

performance of energy storage in dielectric materials. However, it has been shown that the capacitance was increased by geometric optimization made on the dielectric material part. The capacitance value of the capacitor has been successfully increased about six times by using new designs. In addition, the cost and lightness parameters were re-evaluated for each design. The proposed novel design can be useful for nano-dimension applications. Thus, new designs should be considered in accordance with nanotechnology. In addition, the high-value capacitors will be more efficient for energy harvesting and battery technologies. It should be mentioned that the effect of temperature and breakdown voltage did not analyzed for different capacitor designs.

REFERENCES

- [1] E. Kayabasi, H. Kurt, E. Celik, "Determination of micro sized texturing and nano sized etching procedure to enhance optical properties of n-type single crystalline silicon wafer", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 28, no. 18, pp. 14085–14090, 2017.
- [2] X. Hao, "A review on the dielectric materials for high energy-storage application," *J. Adv. Dielectr.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–14, Jan. 2013.
- [3] P. Barber et al., "Polymer Composite and Nanocomposite Dielectric Materials for Pulse Power Energy Storage," *Materials (Basel)*, vol. 2, no. 4, pp. 1697–1733, Oct. 2009.
- [4] Y. Thakur et al., "Generating high dielectric constant blends from lower dielectric constant dipolar polymers using nanostructure engineering," *Nano Energy*, vol. 32, no. September 2016, pp. 73–79, Feb. 2017.
- [5] K. Tanabe, H. Taniguchi, F. Nakamura, and I. Terasaki, "Giant inductance in non-ohmic conductor," *Appl. Phys. Express*, vol. 10, no. 8, p. 81801, Aug. 2017.
- [6] M. Nongaillard, F. Lallemand, and B. Allard, "Design for manufacturing of 3D capacitors," *Microelectronics J.*, vol. 41, no. 12, pp. 845–850, Dec. 2010.
- [7] Y. Yamada, T. Yamanaka, T. Furutsuka, and K. Suzuki, "1–5 GHz monolithic multifrequency-variable band elimination filter utilizing fluid microelectromechanical system variable capacitors," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 53, no. 6S, p. 06JM04, Jun. 2014.
- [8] P. Y. Foeller, J. S. Dean, I. M. Reaney, and D. C. Sinclair, "Design of a bilayer ceramic capacitor with low temperature coefficient of capacitance," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 109, no. 8, p. 82904, Aug. 2016.
- [9] S. Yu, L. Li, and H. Zheng, "BMN-based transparent capacitors with high dielectric tunability," *J. Alloys Compd.*, vol. 699, pp. 68–72, Mar. 2017.
- [10] Chuang-Yuan Lee, Shih-Jui Chen, Derrick Chi, Hongyu Yu, and Eun Sok Kim, "Surface micromachined GHz tunable capacitor with 14:1 continuous tuning range," in *IEEE 21st International Conference on Micro Electro Mechanical Systems*, 2008, pp. 1008–1011.
- [11] A. Asmanis, G. Asmanis, D. Stepins, and L. Ribickis, "High-frequency modelling of EMI filters considering parasitic mutual couplings," in *2016 ESA*

Workshop on Aerospace EMC (Aerospace EMC), 2016, vol. 2016, no. May, pp. 1–6.

[12] T. Yao, “Electromagnetic Property of Capacitor Based on ADS and CST Simulation,” in *Proceedings of the 5th International Conference on Machinery, Materials and Computing Technology (ICMMCT)*, 2017, vol. 126, no. Icmmt, pp. 366–370.

[13] H. Togo, D. Moreno-Dominguez, and N. Kukutsu, “Frequency Response and Applications of Optical Electric-Field Sensor at Frequencies from 20 kHz to 180 GHz,” *IEICE Trans. Electron.*, vol. E96.C, no. 2, pp. 227–234, 2013.

[14] B. Sadhu and R. Harjani, “Capacitor bank design for wide tuning range LC VCOs: 850MHz-7.1GHz” in *Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2010, no. July 2010, pp. 1975–1978.

[15] H. Lu and X. Meng, “Correlation between band gap, dielectric constant, Young’s modulus and melting temperature of GaN nanocrystals and their size and shape dependences,” *Sci. Rep.*, vol. 5, no. 1, p. 16939, Dec. 2015.

[16] Youchul Jeong et al., “Analysis of noise suppression techniques using embedded capacitor on split power bus in multi-layer package,” in *International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, 2004, vol. 1, no. September, pp. 215–220.

[17] D. Hashimshony, A. Zigler, and K. Papadopoulos, “Miniature photoconducting capacitor array as a source for tunable THz radiation,” *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 71, no. 6, pp. 2380–2385, Jun. 2000.

[18] K. . Z. A. Papadopoulos, “Tunable THz Generation by the Interaction of a Super-luminous Laser Pulse with Biased Semiconductor Plasma,” in *AIP Conference Proceedings*, 2006, vol. 807, no. December 2013, pp. 379–389.

[19] Q. Li et al., “Sandwich-structured polymer nanocomposites with high energy density and great charge–discharge efficiency at elevated temperatures,” *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 113, no. 36, pp. 9995–10000, Sep. 2016.

[20] E. J. Dowgiallo, “High performance capacitor with high dielectric constant material,” U.S. Patent 11 291 987, Sept. 23, 2008.